

LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE : DEMARCHE D'OPTIMISATION DES STRATEGIES MAINTENANCE, ETUDE DE CAS D'UNE PME MAROCAINE

B. HERROU*, S. ELFEZAZI**, B. ELKIHHEL***, M. ELGHORBA****, M. ABOUSSALEH*****

Résumé. - Cet article présente le développement d'outils d'aide à la décision pour l'établissement de la politique maintenance. La MBF a montré qu'elle est un outil d'aide à la décision pour l'optimisation des stratégies de maintenance. Pour se faire elle se base sur trois outils à savoir la matrice de criticité, la grille AMDEC et le logigramme de décision. Mais malheureusement la méthode ne permet pas de déterminer les causes d'origine de la défaillance. Cette communication traite une méthode d'optimisation de la maintenance qui est basée essentiellement sur la MBF à laquelle on a ajouté d'autres outils qui permettent de remonter jusqu'aux causes initiales de l'anomalie ou de dysfonctionnement tout en déterminant les entités critiques qui nécessitent un plan de maintenance optimal. La finalité de la démarche est de cibler les actions de maintenance à mettre en place en vue d'une rentabilité optimale. Pour concrétiser la méthode, nous l'avons appliquée pour une ligne de production d'une PME marocaine. Ce qui a permis d'identifier les éléments critiques et ensuite de définir un plan d'action maintenance optimal. La méthode a conduit à la réduction des coûts de maintenance tout en visant directement le gisement économique potentiel de l'entreprise.

Mots-clés : Démarche d'optimisation, Maintenance, MBF, Plan d'action maintenance

* Ecole Supérieure de technologie Fes, Maroc.

** Ecole Supérieure de technologie Safi, Maroc.

*** Ecole Nationale des sciences appliquées Oujda, Maroc.

**** Ecole nationale supérieure d'électricité et de mécanique Casablanca.

***** Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers Marjane Meknes.

1. Introduction

Peu d'entreprises pensent encore aujourd'hui que « la maintenance est un mal nécessaire ». Cependant, peu d'entre elles réalisent que le moindre accroc dans l'efficacité ou la pertinence de la maintenance peut avoir des conséquences indirectes extrêmement préjudiciables pour d'autres fonctions de l'entreprise. Un manque de fiabilité d'un équipement peut générer : des retards de livraison, des pertes de clients, des stocks de produits finis plus importants, des difficultés de trésorerie, des heures supplémentaires, de la fatigue inutile voire même des problèmes de sécurité. La connaissance du matériel, de ses faiblesses, dégradations et dérives, complétées jour après jour, permet des corrections, des améliorations et sur le plan économique, des optimisations ayant pour objet la réduction des coûts de maintenance. La maintenance basée sur la fiabilité (MBF), comme procédé pour identifier des conditions de l'entretien préventif des systèmes complexes, a été identifiée et acceptée dans beaucoup de domaines industriels, comme l'usine sidérurgique, aviation, réseau ferroviaire [Car2003]. La maintenance est ainsi perçue comme une structure finalisée, centrée sur trois sortes de fonctions.

On traite dans cet article l'optimisation de la maintenance par la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) puis on la complète tout en proposant une démarche d'optimisation qui a pour finalité de rendre le champ d'action de la méthode plus efficace et plus efficiente. En suite on applique l'étude à une ligne de production qui présente des problèmes de fiabilité au sein d'une PME marocaine.

2. Généralités et objectifs de la MBF

La maintenance basée sur la fiabilité a pour but :

- ⇒ L'élaboration d'un programme de maintenance préventive optimisé, ayant pour but la sûreté de fonctionnement et la sécurité des moyens de production, en tenant compte des aspects économiques.
- ⇒ L'amélioration de l'organisation de la maintenance, ceci malgré le manque de ressources générales observées. C'est la marche initiale nécessaire pour aller vers la certification de l'entreprise.

La conservation des données de maintenance et de production (base de données pour le retour d'expérience) est également un objectif non négligeable de cette méthode. Il est très important que le programme de maintenance préventive s'approche d'un niveau optimal afin de minimiser les risques de défaillance, tout en conservant une capacité de service maximale des moyens de production et en dégagant des facteurs de gains dans les entreprises. Cette

optimisation doit donc s'appuyer sur une optimisation technique (obtention du plan de maintenance technique (PMT)) suivie d'une évolution économique tenant compte des contraintes organisationnelles et conduisant à un plan de maintenance optimisé (PMO) ; la mise en œuvre de cette étape pourra conduire très souvent à une diminution des coûts de maintenance à performance égale [Ric96].

La modification des équipements dans le temps, le vieillissement des installations et des matériels, induisent un besoin complémentaire de définition des plans de maintenance rendant caduque les préconisations des constructeurs.

Le but de chacun est l'obtention d'un outil de production sûr à un coût raisonnable. La MBF entre tout naturellement dans la partie « logistique de maintenance » de la notion de la sûreté de fonctionnement. C'est pourquoi la MBF s'appuie sur une méthodologie d'élaboration d'un programme de maintenance préventive pour les équipements (en exploitation) au moyen d'une approche logique, structurée, pragmatique et sûre.

Un certain nombre d'apports de la démarche MBF peuvent être évoqués dès à présent. Ils sont souvent difficiles à quantifier et sont évidemment fonction du type d'industrie et des moyens mis en œuvre pour mettre en place la MBF. La maintenance peut être vue sous les trois aspects organisationnels, techniques et humains. Les bénéfices attendus se décomposent selon ces trois aspects.

La mise en place d'un plan de maintenance optimisé dans l'entreprise qui s'appuie sur la démarche MBF provoque souvent une diminution du nombre de tâches de maintenance préventives qui sont supprimées ou remplacées par de la maintenance corrective ; la maintenance conditionnelle augmente ; le besoin en pièces détachées diminue et le remplacement est mieux justifié. Une remise en cause de certaines solutions de conception peut aussi être recommandée. La MBF est un outil de justification en conception et en exploitation.

2.1 Les outils de la MBF

Cette approche MBF utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues telles que la matrice de criticité, les grilles d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) et le logigramme de décision [Ric96]. La matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité. La grille AMDEC définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets. Le logigramme de décision sert en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre.

L'application de la MBF nécessite une bonne connaissance des équipements ainsi que de leurs défaillances, de même que l'impact de ces défaillances. C'est pourquoi l'implication de l'ensemble des opérateurs, techniciens et experts de l'entreprise est indispensable pour obtenir des résultats souhaités et souhaitables tant au niveau de la sûreté de fonctionnement, de la sécurité que des coûts globaux.

2.2 Les étapes de la méthode

La mise en place d'un programme de maintenance planifiée se fait en 4 étapes. Ces étapes utilisent un bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. A travers ces différentes étapes les groupes impliqués doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases. La première étape (figure 1) correspond à l'étude de l'ensemble des différents équipements de production de l'entreprise. Elle a pour but de déterminer quels sont les sites à prendre en compte et les équipements à privilégier pour l'étude.

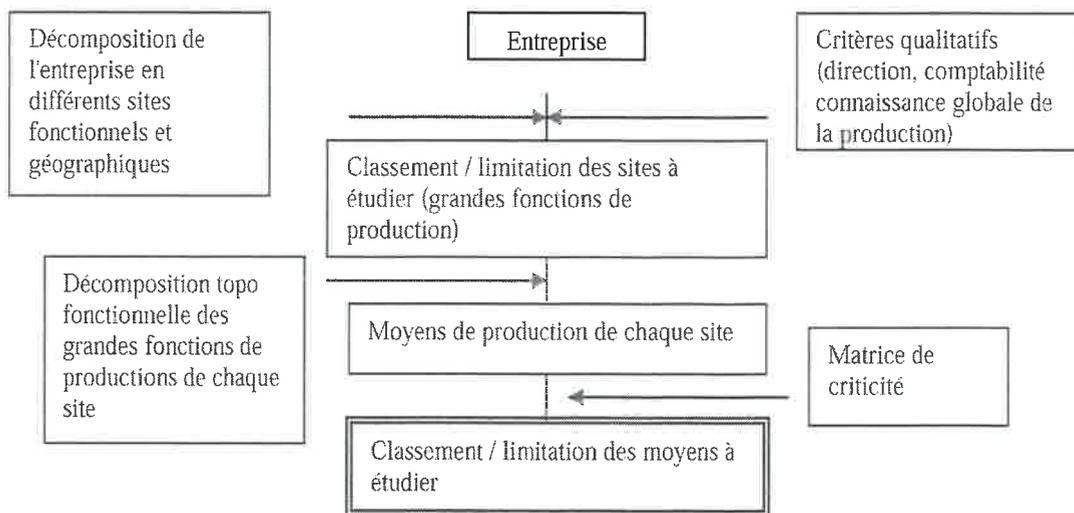


Figure 1 : Etape 1- le choix des équipements à étudier.

La seconde étape (figure 2) permet une analyse des défaillances des différents équipements étudiés. Les défaillances fonctionnelles sont étudiées et reliées aux défaillances des différents équipements qui les composent au point de vue mode de défaillance, de ses causes possibles et de ses effets sur les différentes fonctions de l'équipement.

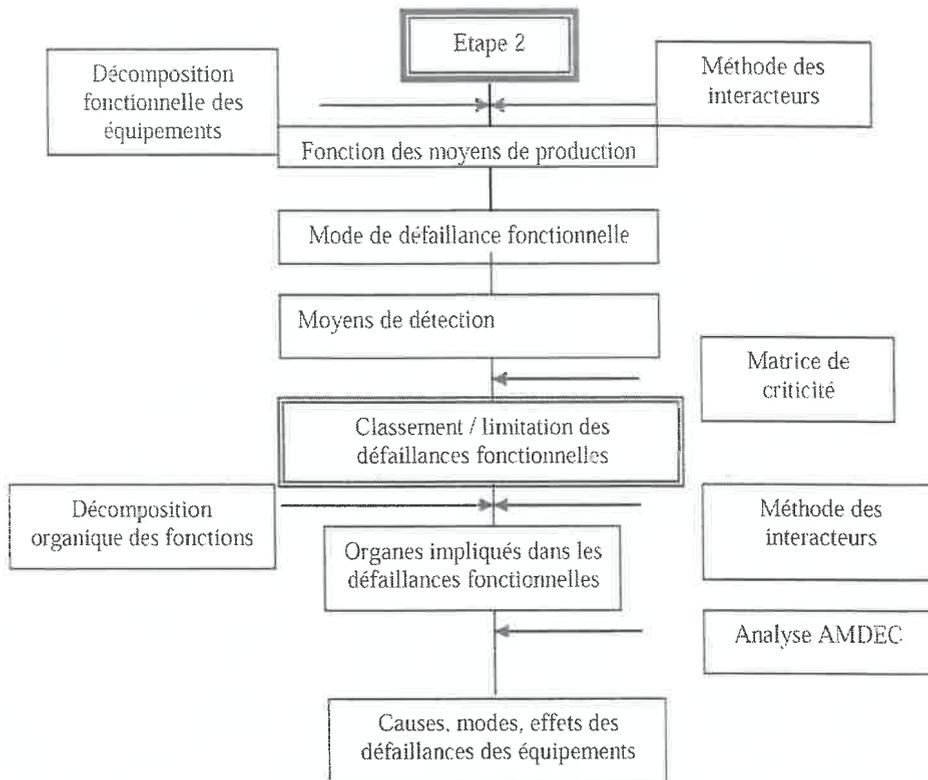


Figure 2 : AMDEC des équipements.

La troisième étape (figure 3) permet de définir le type d'action qu'il faut mettre en place pour améliorer la sûreté de fonctionnement des équipements. Ceci conduit à l'élaboration d'un planning et à la personnalisation des différentes tâches de maintenance.

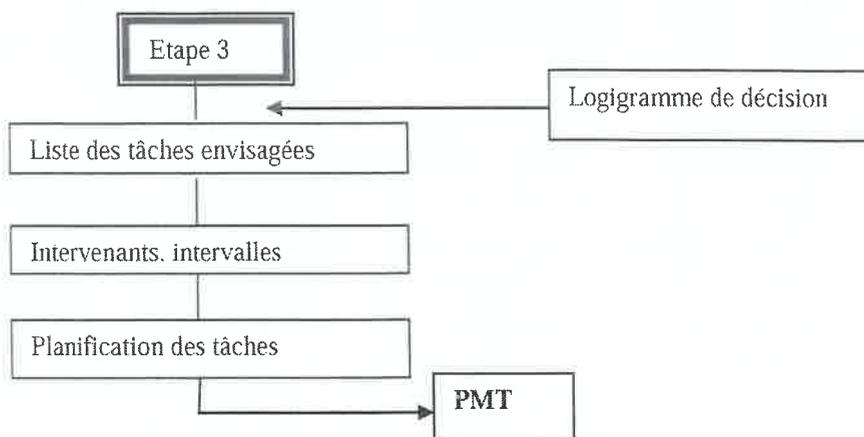


Figure 3 : Etape 3 - décision des tâches de maintenance.

L'étape 4 consiste en l'optimisation du plan de maintenance, retour d'expérience (figure 4). La MBF consiste à déterminer les sites et équipements à étudier puis analyser les défaillances fonctionnelles. Ensuite elle s'intéresse à réaliser l'étude AMDEC puis établir un plan de maintenance optimal (figure 5).

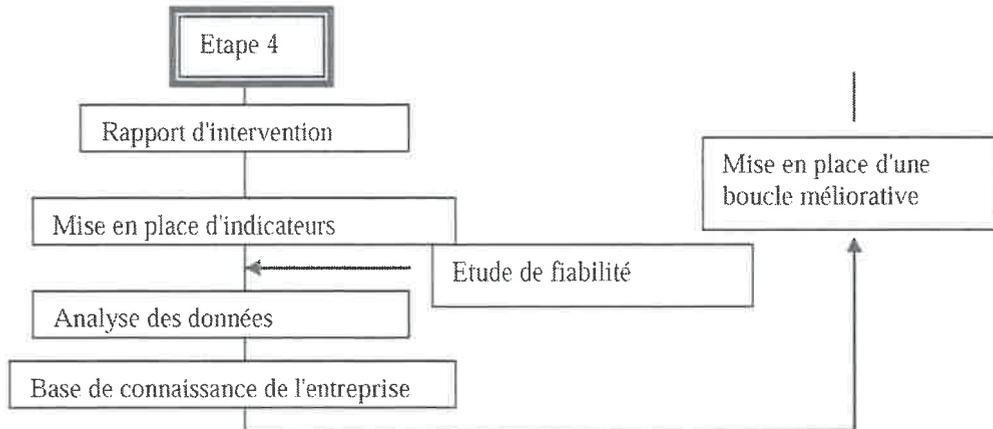


Figure 4 : Étape 4 - étape interactive de la MBF.

Les principes de base de la MBF sont comme suit [Zho2007]:

- ⇒ si les dispositifs de structure, la fonction et l'environnement d'application des équipements sont les mêmes ou semblables, plus leurs modes de défaillance et de mesure sont habituellement étroits ou semblables.
- ⇒ quand les analystes conduisent l'analyse de MBF sur les équipements spécifiques, ils se réfèrent souvent aux fichiers historiques de l'analyse de MBF sur les articles semblables, et réalisent les résultats satisfaisants par l'adaptation des cas semblables.
- ⇒ là sont habituellement les structures semblables dans la même catégorie d'équipement, et quelques pièces communes et mécanisme dans l'équipement différent de catégories. Par l'adaptation des cas d'analyse de MBF de ces articles, l'analyse répétée est réduite et l'efficacité d'analyse de MBF peut être améliorée.
- ⇒ raisonnement cas-basé peut faciliter pour accomplir la récupération, l'adaptation et l'étude intelligente de l'analyse semblable.

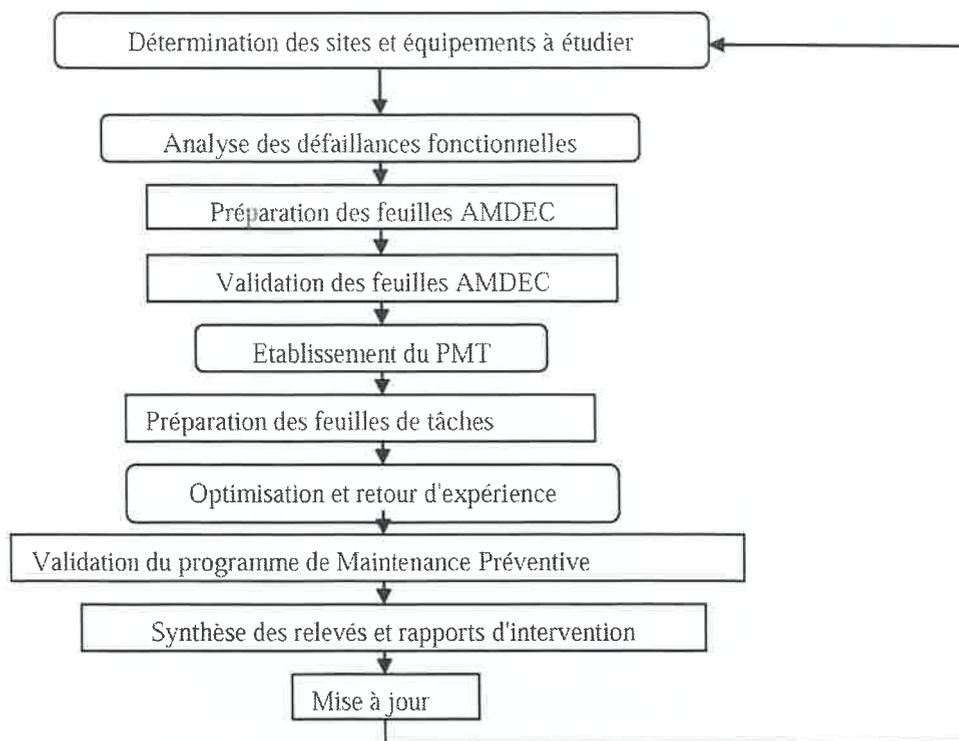


Figure 5 : Les 4 étapes principales de la démarche MBF.

3. La méthode d'optimisation de la maintenance

3.1 La démarche proposée

La démarche consiste à utiliser dans une première étape l'analyse de Pareto, puis le Pareto de Pareto pour localiser les sites et les équipements à étudier comme première étape de la démarche. Dans une deuxième étape, après la grille AMDEC, on utilise la ronde des pourquoi qui permet de remonter à la cause d'origine (*root cause*). Dans ce cas on va profiter de retour d'expérience pour faire l'étude. Inversement les résultats trouvés doivent être archivés pour servir de retour d'expérience pour les prochaines études.

Le choix est trop large sur quelle machine sur quelle défaillance il faut agir. Les agents de maintenance ne peuvent en aucun cas traiter tous les problèmes. Ils doivent connaître et interpréter quelles sont les priorités de production [Cot97]. L'analyse de Pareto et le Pareto de Pareto répondent dans la démarche proposée à cette question.

La démarche d'optimisation du plan d'action maintenance [Her05] permet de focaliser les efforts sur la minorité des causes des défaillances qui est responsable sur la majorité des effets

nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité. Par ailleurs cette méthode permet de proposer un plan d'action de maintenance optimale tout en remontant jusqu'aux causes initiales. De ce fait elles sont complémentaires. La démarche proposée (figure 6) est constituée d'outils suivants :

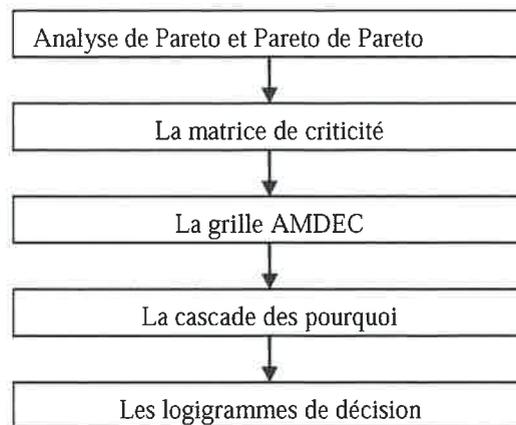


Figure 6 : Démarche proposée.

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillance qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction [Zwi 92]. Cette démarche doit rassembler le maximum d'acteurs qui appartiennent au corps des métiers concernés. Le responsable maintenance et le responsable production doivent piloter le travail. Ils sont tenus d'identifier les objectifs et les moyens à mettre en œuvre. Le groupe management, pilote et système doivent être constitués au début de l'analyse [Ric96]. Beaucoup de stratégies optimales de maintenance ont été développées et mises en application pour améliorer la fiabilité de système, empêcher des échecs de système et réduire des coûts d'entretien [Zhoua2006]. Beaucoup de chercheurs supposent habituellement que la surveillance n'est pas continue et puis n'essaient pas de trouver les intervalles optimaux d'inspection pour sauver le coût de surveillance [Hon96 - Gra02]. D'autre part, beaucoup de modèles de maintenance préventive conditionnelle supposent que l'entretien (correctif ou préventif) est toujours parfait et il peut reconstituer le système aussi bon que nouveau après une maintenance préventive [Wan00, Rue97, Die03]. Ce n'est pas pratique en réalité. Le problème de la minimisation totale de coût d'investissement, sujet aux contraintes de fiabilité, est bien connu comme problème d'optimisation de redondance (dispositif de protection en cas de renversement). C'est un problème combinatoire d'optimisation où le but de conception est réalisé par des choix discrets faits à partir d'un ensemble de composants disponibles sur le marché. Le dispositif de protection en cas de renversement classique est prolongé à la trouvaille, sous des contraintes de fiabilité, à la configuration minimale et aux coûts d'entretien d'un système série-parallèle pour lequel le nombre d'équipes d'entretien est moins que le nombre de

composants réparables [Nou06]. En fait la méthode qu'on propose permet d'améliorer la fiabilité du système étudié sans redondance des équipements.

3.2 Analyse de Pareto

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets. On peut alors faire un plan d'action sélectif qui s'attaque aux éléments essentiels. On optimise ainsi l'action en ne s'intéressant pas aux nombreux éléments qui ne sont responsables que d'une très petite minorité d'effets à éliminer. On peut, grâce à elle, déterminer, par exemple:

- ⇒ La minorité des équipements responsables de la majorité des coûts de maintenance.
- ⇒ La minorité des défaillances responsables de la majorité des arrêts de production.
- ⇒ La minorité des rechanges responsables de la majorité des coûts de possession en stocks.

La démarche de la méthode de Pareto se décline en 10 étapes principales :

- ⇒ Définition des éléments à classer : équipements, rechanges, défaillances...
- ⇒ Définition du critère de classement : coût, temps, nombre d'heures d'arrêt...
- ⇒ Collecte des valeurs du critère pour les éléments à classer.
- ⇒ Classement des éléments par ordre décroissant de leur valeur respective du critère.
- ⇒ Affectation d'un rang à chacun des éléments ainsi classés.
- ⇒ Cumul des éléments à classer d'une part et de leurs valeurs du critère, d'autre part.
- ⇒ Calcul du pourcentage des valeurs cumulées par rapport au total.
- ⇒ Pour chacun de ces pourcentages déterminer le pourcentage des éléments qui en sont responsables.
- ⇒ Tracé de la courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables (figure 8).

La détermination des seuils des classes A, B et C se fait comme suit :

- ⇒ La classe A est celle de la minorité d'éléments (en général 20 %) responsable de la majorité des effets (en général 80 %).

- ⇒ La classe C est celle de la majorité d'éléments (en général 50 %) responsable de la minorité des effets (en général 20 %).
- ⇒ La classe B est intermédiaire. Elle est composée généralement des 30 % d'éléments responsable de 15 % d'effets.

La méthode de Pareto est appelée aussi pour les raisons précitées : méthode des 20/80 ou encore méthode ABC. Elle peut être utilisée en cascade pour déterminer d'abord les processus critiques ensuite les activités ou équipements critiques des processus critiques et enfin les défaillances critiques de ces activités ou équipements critiques. On parle alors de Pareto de Pareto. Il est à noter cependant que cette méthode nécessite pour son application de disposer de données chiffrées du critère de classement adopté afin de pouvoir classer les éléments à étudier. Dans certaines entreprises, ces données n'existent pas ou elles sont insuffisantes à telle enseigne qu'elles ne sont pas exploitables. Dans ce cas, nous proposons l'utilisation d'une autre méthode : la matrice multicritères qui, elle, exploite la mémoire et l'évaluation des exploitants et des mainteneurs pour ce qui concerne les éléments à classer.

3.3 Cascade des pourquoi

Plusieurs causes peuvent être responsables d'une défaillance. Il convient d'identifier celle qui est la première conduisant à l'anomalie, la cause radicale (*root cause*). En effet, une cause ne peut être qu'une conséquence d'une autre. Il ne faut donc pas s'arrêter à la cause intermédiaire et l'éradiquer car on risque ainsi d'éliminer qu'un effet et que la cause première continue à se manifester [Bou03]. Pour cela, une bonne méthode consiste à poser la question pourquoi successivement jusqu'à se rendre compte qu'on ne peut plus trouver de cause antérieure (figure 7).

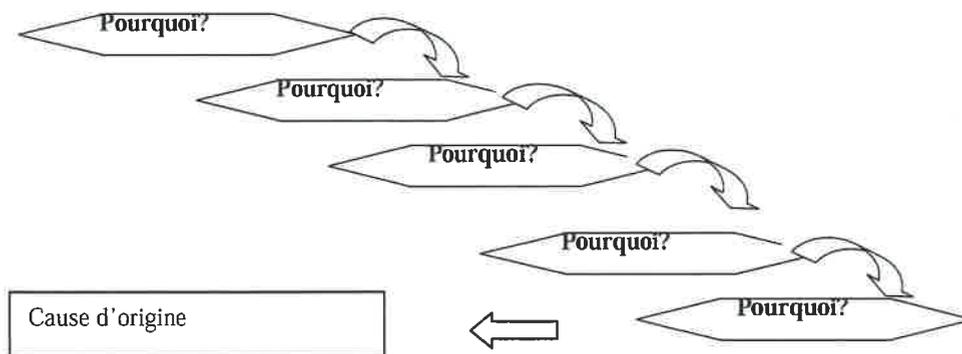


Figure 7 : Cascade des pourquoi.

4. Etude de cas

L'entreprise dispose de 3 processus de fabrication qui présentent tous des problèmes de maintenance d'indisponibilité et de qualité. Dans une première approche on va identifier le processus qui pénalise le plus la production en ciblant le minimum des entités qui génèrent un maximum d'effets. Pour ce faire on a recensé pendant une semaine l'indisponibilité des trois processus. Ensuite on a fait une étude de Pareto. Les données sont regroupées dans le tableau 1 ci-dessous :

Processus	Indisponibilité en heure	Le pourcentage	Le pourcentage cumulé
Processus 1	12	76,19 %	76,19 %
Processus 2	2,5	15,87 %	92,06 %
Processus 3	1,25	7,94 %	100 %
Total	15,75	100 %	

Tableau 1 : Disponibilité en heures.

Le tracé de la courbe de Pareto est donné dans la figure 8.

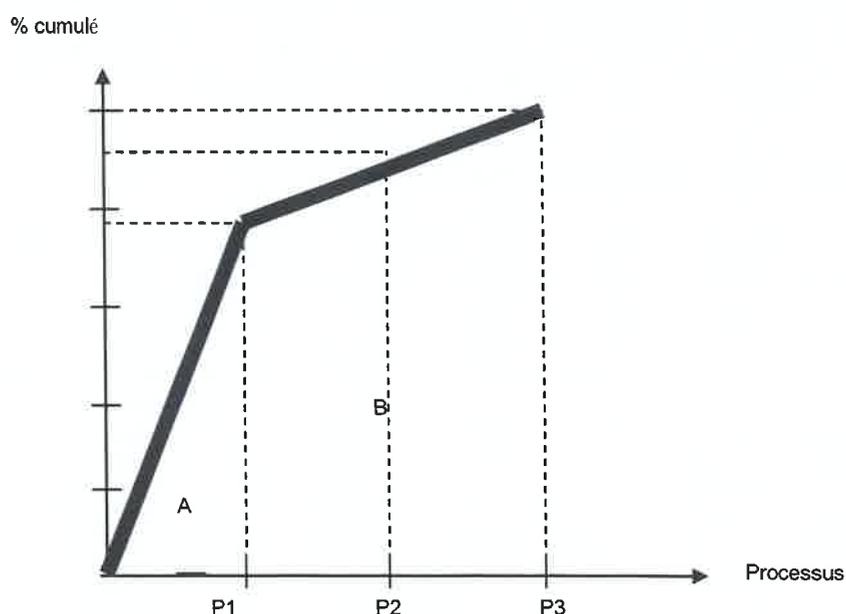


Figure 8 : Courbe de Pareto relative aux processus.

Le processus 1 est le processus qui présente 76,19 % des coûts d'indisponibilité, alors qu'il représente 33,33 % de l'ensemble des processus. C'est sur ce processus qu'on va focaliser les efforts dans la suite de l'analyse.

La suite de l'étude consiste à l'optimisation de la maintenance de processus de production n° 1 qui est composé de trois machines en appliquant la méthode MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité). Les trois machines sont :

- ⇒ Cercleuse : c'est une machine d'emballage qui exécute un cerclage rapide et automatique avec un feillard.
- ⇒ Empileuse : un système d'éjecteurs / empileurs pourvoit à trier le produit qui arrive du banc de triage, après avoir été sélectionné. Avec rapidité et précision, les plaques sont divisées en colonnes de différentes qualités, empilées, comptées et transportées vers la conditionneuse.
- ⇒ Conditionneuse : la conditionneuse reçoit le produit de l'empileuse, le compacte ultérieurement, l'aligne, le conditionne selon la typologie de carton choisi auparavant et imprime sur les cotés les informations nécessaires pour l'expédition. Le format de l'emballage est programmable, le choix de la typologie d'impression est totalement libre. Une fois emballé, le produit est envoyé au palettiseur qui pourvoit à subdiviser le produit sur les différentes palettes selon le format présent.

4.1 La matrice de criticité de ces 3 machines

L'état de ces trois machines est donné dans le tableau ci-dessous (tableau 2) suivant les critères : indisponibilité, la qualité et les coûts de maintenance.

Machine	Indisponibilité en heure	La non qualité	Coûts de maintenance par semaine
Empileuse	1	300	3000 DH
Conditionneuse	1	50	2000 DH
Cercleuse	4	200	6000 DH

Tableau 2 : L'état des 3 machines pendant une semaine.

La machine critique est la machine dont le fonctionnement joue un rôle déterminant sur le comportement global de la ligne de production qu'elle intègre.

Pour déterminer l'équipement le plus critique au niveau du poste d'emballage, nous avons défini la criticité de chaque machine dans la grille du tableau 3. Pour cela nous avons déterminé

la note pour chaque critère, puis nous avons attribué à chaque paramètre (indisponibilité (U) ; coûts de la maintenance (CM) ; la non qualité (NQ)) un coefficient (C) selon son importance pour l'entreprise.

Machine	C	NQ	C.NQ	C	U	C.U	CM DH	C	C.CM	CR
Empileuse	2	300	600	4	1	4	3000	8	24000	24604
Conditionneuse	2	50	100	4	1	4	2000	8	16000	16104
Cercluse	2	200	400	4	4	16	6000	8	48000	48416

Tableau 3 : La matrice de criticité.

On peut conclure alors que l'équipement le plus critique est la cercluse.

4.2 La grille AMDEC de la cercluse

Les principaux composants de la machine sont présentés en figure 9.

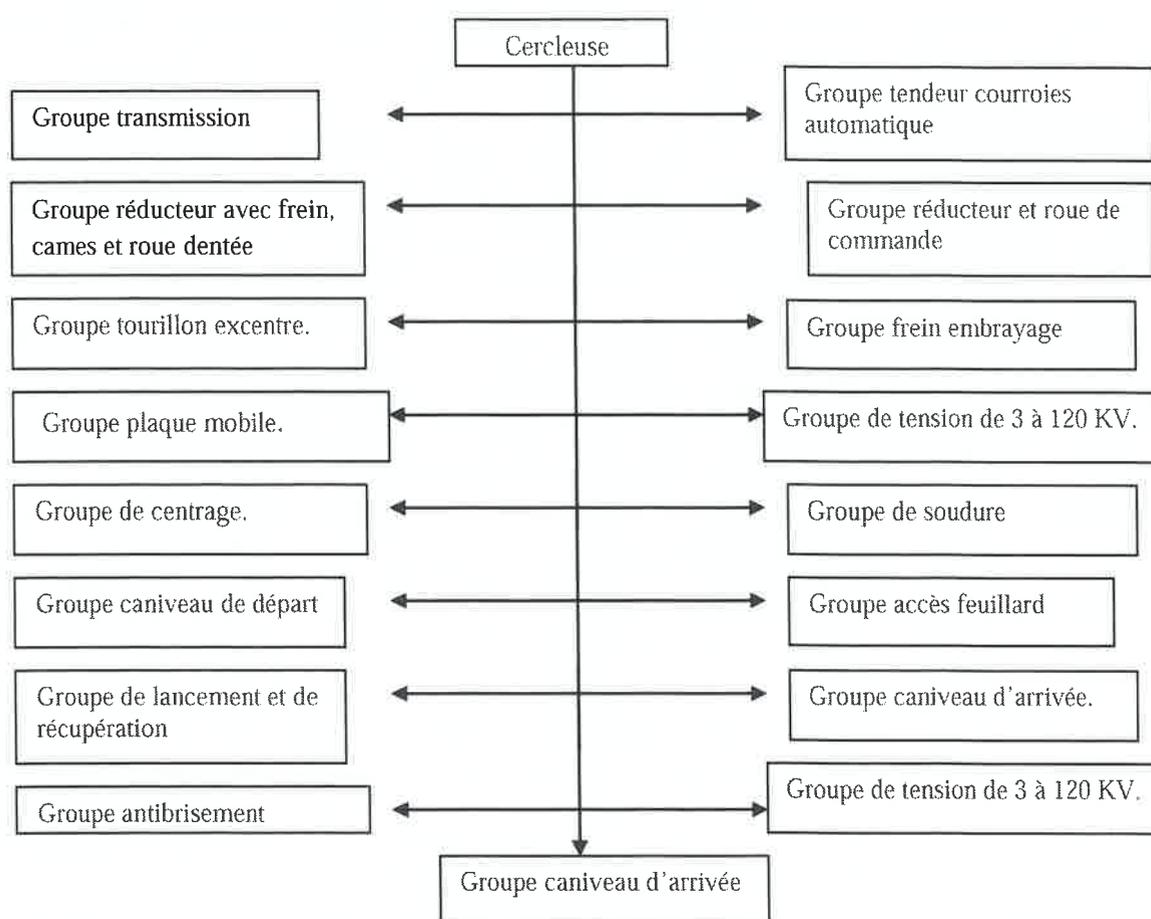


Figure 9 : Les principaux composants de la cercluse.

4.2.1 Analyse des défaillances : grille AMDEC

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillance qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction. Puis on effectue une décomposition organique des fonctions pour distinguer les éléments impliqués dans les défaillances fonctionnelles. L'élaboration de la liste des causes est réalisée par une AMDEC simplifiée (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité).

Selon l'AFNOR, l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticités est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système [Afnor].

L'évaluation de la criticité de chaque combinaison cause, mode, effet se fait par des critères de cotation [BHer05] : la fréquence d'apparition de la défaillance ; la gravité de la défaillance ; la probabilité de non détection de la défaillance. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation :

$$\text{Criticité} = F * G * N$$

Les critères de cotation sont donnés dans les tableaux 4, 5 et 6. Par ailleurs l'étude AMDEC de la cercluse est illustrée dans le tableau 6.

Fréquence d'occurrence		Définition
Très faible	1	Défaillance rare : moins d'une défaillance par an
Faible	2	Défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre
Moyenne	3	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par mois
Forte	4	Défaillance très fréquente : moins d'une défaillance par semaine

Tableau 4 : Fréquence d'occurrence.

Niveau de non détection		Définition
Détection évidente	1	Défaillance détectable à 100 % Détection certaine de la défaillance Signe évident d'une dégradation Dispositif de détection automatique (alarme)
Détection possible	2	Défaillance détectable Signe de la défaillance facilement détectable mais nécessite une action particulière (visite...).
Détection improbable	3	Défaillance facilement détectable Signe de la défaillance Difficilement détectable peu exploitable ou nécessitant Une action ou des moyens complexes (démontage...)
Détection impossible	4	Défaillance indétectable Aucun signe de la défaillance

Tableau 5 : Probabilité de non détection.

Éléments	Fonctions	Modes de défaillance	Causes de défaillance	Effets de défaillance	Modes de détection	Criticité			
						G	D	F	C
Groupe de transmission	Transmission du mouvement à tout l'arbre	Vitesse de lancement insuffisante et récupération et tension difficiles	Courroies relâchées	Mauvais cerclage	Les actions de la machine ne sont pas synchronisées et récupération difficile	2	1	3	6
		Pré lancement court ou incomplet	Courroies relâchées		Les actions de la machine ne sont pas synchronisées et récupération difficile	2	1	3	6
Groupe de tension	Réglage de la tension du feuillard	Vitesse de lancement insuffisante et récupération et tension difficiles	Ressort d'augmentation n'est pas suffisamment chargé pour maintenir le rouleau de pressage en gomme appuyé contre le feuillard	Mauvais cerclage	Vérification du groupe de tension	3	2	3	1 2
Groupe de tension : Ressorts de tension	Réglage de la tension du feuillard	Mauvais réglage de tension du feuillard	Pendant la phase de récupération du feuillard dans le groupe de lancement peut exciter MS5, en interrompant le cycle à récupération incomplète en faisant quand même la soudure	Tension de cerclage inacceptable	Fin de course s'excite	2	2	2	8
Groupe de lancement et de récupération	Lancement du feuillard	Vitesse de lancement insuffisante et récupération et tension difficile	Mauvais réglage du jeu entre la plaque postérieure et le rouleau presseur	Mauvais cerclage	Les actions de la machine ne sont pas synchronisées Récupération difficile	2	2	4	1 6

Groupe de lancement et de récupération : rouleau de pressage	Lancement et récupération du feuillard	Tension insuffisante par rapport au réglage fait	Le rouleau de pressage glisse sur le feuillard	Tension de cerclage inacceptable	Observation de la tension du feuillard	2	2	3	1 2
			Usure du rouleau presseur	Mauvais cerclage	Les actions de la machine ne sont pas synchronisées Récupération difficile	3	2	2	1 2
Moteur électrique	La source de la puissance pour la cercluse	Moteur ne tourne pas et le lancement n'a pas lieu	Le relais thermique a fonctionné ou le fusible F2 est grillé	Pas de cerclage	Arrêt du moteur	2	2	2	8
Groupe réducteur - Embrayage IN2		Le lancement n'a pas lieu	Fusible du circuit d'alimentation embrayages frein et frictions est grillé	Pas de cerclage	Pas de courant dans le circuit d'alimentation embrayages frein et frictions	2	2	2	8
			Embrayage cassé		Friction IN2 est insérée, la roue de lancement est libre mais ne tourne pas	3	3	2	1 8
Fin de course MS1		Cycle incomplet	MS1 n'a pas été excitée par le feuillard. Pour des problèmes d'efficacité ou de connexion	Pas de cerclage	Le cycle s'arrête à la fin du lancement MS1 n'est pas connecté	1	2	3	6
Groupe plaques mobiles : plaque porte micro	Supporte le micro	Cycle incomplet	Problèmes "mécaniques"	Pas de cerclage	Difficulté de mouvement de la plaque	2	3	2	1 2
Groupe frein embrayage : -embrayage IN3		Cycle incomplet	Embrayage cassé	Pas de cerclage	Cames s'arrêtent	4	3	2	2 4
Fin course MS2		Cycle incomplet	Problèmes d'efficacité ou de connexion	Pas de cerclage	Cames ne tournent pas	1	2	3	6
Fin course MS6		Cycle incomplet	Problèmes d'efficacité ou de connexion	Pas de cerclage	Cames ne tournent pas	1	2	3	6

Fin de course MS4		Récupération lente de feuillard	Montage faux en fin de course	Tension de cerclage inacceptable	Usage anormal dans la phase de récupération	2	2	2	8
Groupe des pinces : pinces et plateaux	Soudage du feuillard	Soudure courte	Un des bouts du feuillard semble avoir glissé sur l'autre pendant la soudure, à cause des impuretés dans les pinces et les plateaux	Pas de cerclage	Soudure n'est pas efficace Temps de soudage court	2	1	3	6
		La coupe du feuillard est défectueuse	Existence d'un jeu latérale des pinces	Pas de cerclage	Soudure n'est pas efficace	2	1	3	6
Groupe de soudure : lame soudante	Soudage du feuillard	Soudure n'est pas complète	Lame soudante est cassée Couverte de dépôts Lame soudante trouve des obstacles quand elle entre dans le groupe de soudure	Pas de cerclage	Soudure n'est pas efficace Observation des impuretés	2	2	3	1 2
Groupe de soudure : thermorégulateur	Réglage de la température de la lame soudante	Soudure n'a pas lieu	Le courant n'arrive pas	Pas de cerclage	Lame froide - Lampe du régulateur est éteinte	3	1	3	9
Groupe de soudure : Résistance soudante	Chauffage de la lame soudante	Soudure n'a pas lieu	Résistance ne chauffe pas	Pas de cerclage	Lame froide Résistance ne marche pas	2	2	3	1 2

Tableau. 6 : Étude AMDEC de la cerceuse.

On conclut que les organes critiques sont :

- ⇒ Groupe frein embrayage IN3 ;
- ⇒ Groupe réducteur embrayage IN2 ;
- ⇒ Groupe de lancement et de récupération ;

- ⇒ Groupe de tension ;
- ⇒ Groupe plaques mobiles - plaque porte micro ;
- ⇒ Groupe de soudure - lame soudante – thermorégulateur - Résistance soudante.

4.3 Exemple de la ronde des pourquoi utilisée

Pourquoi le groupe frein embrayage est défaillant ? Parce que le ressort d'embrayage est relâché. Pourquoi le ressort est relâché ? Parce que les efforts exercés combinés avec le nombre de cycle fatiguent le ressort. Pourquoi les efforts exercés combinés avec le nombre de cycle fatiguent le ressort ? Parce que le ressort est moins endurant. Pourquoi le ressort est moins endurant ? Parce que la conception de ressort ne lui attribue pas une meilleure endurance

Conclusion : chercher un ressort avec une haute endurance et vérifier son montage et son fonctionnement chaque 5 jours.

4.4 Elaboration d'un plan de maintenance optimale

Cette étape conduit à déterminer les tâches de maintenance préventive (tableau 7). Il est à noter que le choix de la périodicité se fait de manière empirique (la plupart du temps aucune valeur de référence précise n'est connue). Néanmoins, pour la sélection des tâches, trois critères sont pris en compte : le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité. Pour chaque tâche, il est indiqué la fréquence, le temps alloué, la personne responsable et les pièces de rechange associées.

Eléments	Tâches proposées	Intervalle	Fait par	Pièces de rechange
Groupe frein embrayage - embrayage IN3	Vérification du montage de l'embrayage Changement de l'embrayage	5 jours Usure remarquable Généralement 45 jours	Opérateur Mécanicien	Embrayage V24, vis.
Groupe réducteur - Embrayage IN2	Vérification du montage de l'embrayage Changement de l'embrayage	3 jours Usure remarquable Généralement 30 jours	Opérateur Mécanicien	Embrayage V24, vis.
Groupe de lancement et de récupération	Vérification du contact feuillard /rouleau presseur Usure du rouleau presseur	-Après chaque changement de bobine -Changement de rouleau presseur chaque 15 jours	Opérateur Mécanicien	Rouleau presseur

Éléments	Tâches proposées	Intervalle	Fait par	Pièces de rechange
Groupe de tension	Vérification du serrage d'écrou et contre écrou de réglage du ressort	3 jours	Mécanicien	Ressort, amortisseur.
	Remplacer les ressorts de tension.	45 jours		
Groupe plaques mobiles - plaque porte micro	Vérifier s'il y a des problèmes "mécaniques" à la complète sortie de la plaque	3 jours	Opérateur	Nettoyer les deux surfaces de la lame soudante.
	Graissage de guide de plaque.	5 jours	Opérateur	
Groupe de soudure - lame soudante - thermorégulateur - Résistance soudante	Nettoyage du groupe de soudage par l'air comprimé Nettoyer les deux surfaces de la lame soudante Lame soudante doit être remplacée Remplacer le thermorégulateur	1 jour	Electricien	Vérifier l'intégrité des câbles flexibles et des chaînes portes - câbles.
Courroies	Tendre les courroies et vérifier leur usure.	7 jours	Opérateur	Courroies Poulies Tendeur
Câblages	Vérifier l'intégrité des câbles flexibles et des chaînes portes - câbles	3 jours	Electricien	Câbles

Tableau 7 : Plan d'action maintenance.

5. Conclusion

La méthode proposée permet non seulement de fournir un plan de maintenance optimal mais aussi de remonter aux causes initiales des défaillances en utilisant le retour d'expérience des opérateurs. Ce qui permet en fin de compte de mieux maîtriser les équipements, les défaillances, leurs modes, leurs causes, leurs effets et leurs détections, d'une part et de construire une base de données pour les futures études. Cette capitalisation des connaissances servira comme retour d'expérience pour les opérateurs de maintenance pour les futures interventions. En effet la démarche a pour finalité de cibler d'une manière efficace les actions de maintenance à mettre en œuvre. Le travail mène à évaluer les entités et les plans d'actions correspondants. Ce type d'analyse permet d'assurer un bon niveau de rendement des

équipements. L'application a mis l'accent sur les quatre étapes de la maintenance basée sur la fiabilité d'une ligne de production. On a pu localiser les entités critiques puis dégager un plan de maintenance optimal. En outre elle a l'avantage de suivre la performance de processus de fabrication grâce au retour d'expérience qu'on a capitalisé. Il suffit d'identifier un indicateur de performance pour le suivi. Le support de la méthode sert comme une base de données de référence. Il constitue une capitalisation d'analyse et d'expérience pour l'entreprise.

6. Bibliographie

- [B.Her05] B. Herrou, M. Elghorba, L'AMDEC un outil puissant d'Optimisation de la Maintenance, CPI'2005.
- [Bou03] D. Bouami, B. Herrou, Optimisation de la Démarche d'Optimisation de la Maintenance, CPI'2003.
- [Car2003] Carretero J., Perez JM, Garcia-Carballeira F, et al. Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. *Reliab Eng Syst Safety* 2003 ; 3(82) :257-73.
- [Die03] Dieulle L., Berenguer C., Grall A., Roussignol M. Sequential condition-based maintenance scheduling for a deteriorating system. *Eur J Oper Res* 2003;150(3):451-61.
- [Gra02] Grall A., Berenguer C., Dieulle L. A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems. *Reliab Eng Syst Saf* 2002;76(2):167-80.
- [Her05] B. Herrou, M. Elghorba, Démarche d'optimisation du plan d'action maintenance, étude de cas d'une PME marocaine CPI'2005.
- [Hon96] Hontelez JAM, Burger HH, Wijnmalen DJD. Optimum conditionbased maintenance policies for deteriorating systems with partial information. *Reliab Eng Syst Saf* 1996;51(3):267-74.
- [Nou06] Mustapha Nourelfath, Daoud Ait-Kadi, Optimization of series-parallel multi-state systems under maintenance policies, *Reliability Engineering and System Safety* 2006.
- [Rue97] Ruey HY. State-age-dependent maintenance policies for deteriorating systems with Erlang sojourn time distributions. *Reliab Eng Syst Saf* 1997;58(1):55-60.
- [Ric96] D. Richet, M. Gabriel, *La Maintenance Basée sur la Fiabilité*, Edition Masson 1996.
- [Wan00] Wang W. A model to determine the optimal critical level and the monitoring intervals in condition-based maintenance. *Int J Prod Res* 2000;38(6):1425-36.
- [Zhoua2006] Xiaojun Zhoua, Lifeng Xia, Jay Leeb, Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation, *Reliability Engineering and System Safety* 92 (2007) 530-534
- [Zho2007] Zhonghua Chenga,b, Xisheng Jiab, Ping Gaoa, Su Wua, Jianzhao Wanga, A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis *Reliability Engineering and System Safety* mars 2.007
- [Zwi 92] Zwingelstein Gilles, Optimisation de la maintenance par la fiabilité ; maintenance et entreprise n° 454 Paris septembre 92.