

## LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE (MBF) : UN OUTIL PUISSANT POUR OPTIMISER LES POLITIQUES DE MAINTENANCE, ILLUSTRATION DANS UN COMPLEXE MOTEURS-TRACTEURS

M. L. BOUANAKA, R. CHAIB , M. BENIDIR , M. BELLAOUAR

Laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement, Université Mentouri Constantine - Algérie

Reçu le 05/11/2009 – Accepté le 16/05/2010

### Résumé

La méthode proposée est basée sur un raisonnement logique et simple qu'on peut vulgariser à l'intérieur de l'usine. Elle a pour consistance de voir le processus dans une approche globale puis descendre suivant une cascade jusqu'aux organes les plus élémentaires en utilisant l'outil AMDEC. Ce dernier utilise les caractéristiques d'un produit et permet d'instaurer un dialogue entre plusieurs entités de l'entreprise comme le bureau d'études, les services de design, les personnels chargés de design, de l'industrialisation, de la commercialisation, de la maintenance et du service après vente, en vue d'obtenir des conseils qu'ils utilisent dans la prise de décision.

La méthode a pour but de découvrir, évaluer et classer les faiblesses, les anomalies et les origines des causes de dysfonctionnements et ainsi chercher les solutions appropriées et les actions correctives à engager pour les éliminer d'une part et de généraliser et standardiser les résultats à toutes les composantes similaires de processus d'autre part. Ceci a pour seul souci : élaborer 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.

La MBF (maintenance basée sur la fiabilité)

**Mots clés** : MBF, AMDEC, Coûts, Maintenance, Approche globale, outil de production, sûreté de fonctionnement

### Abstract

The method suggested is based on a logical and simple reasoning that one can popularize inside the factory. It has as a consistency to see the process in a global solution then going down according to a cascade to the most elementary bodies by using the FMEA tool. The latter uses the product characteristics and allows a dialogue between several entities of the enterprise as the research department, services of design, personnel in charge of design, industrialization, marketing, maintenance and service after sale, in order to obtain advices which they uses in the decision-making.

The objective of the method is to discover, to evaluate and classify the weaknesses, anomalies and origins of the dysfunctions causes and thus to seek the suitable solutions and the corrective actions to engage to eliminate them on the one hand and to generalize and standardize the results having the similar components of process on the other hand. This has for only concern: to work out a program of an optimized preventive maintenance, having for goal the reliability and the safety of the means of production by taking into account the economic aspects which is the objective of this work.

The RBM (reliability based maintenance)

**Keywords** : RBM, FMEA, Costs, Maintenance, Global approach, production tool, reliability.

### ملخص

ترتكز الطريقة المتبعة على منهج منطقي و بسيط ، نستطيع تحقيقه داخل المؤسسة الصناعية. تعتمد على ملاحظة السيرورة ضمن مقارنة عامة حتى الوصول إلى العناصر الأساسية وذلك باستخدام الأداة: " تحليل أنماط التعطلات وأثرها وخطورتها". هاته الأخيرة تستخدم خصائص المنتج وتسمح بتركيب تنسيق بين مختلف وحدات المؤسسة مثل : مكتب الدراسات، مكتب التصميم ، ورشة التصنيع، المصلحة التجارية و مصلحة الصيانة و ما بعد البيع من أجل الحصول على توجيهات نستخدمها في اتخاذ قرارات تخص كل آلة.

الطريقة تكشف، تقيم و ترتب مختلف الأعراض و نقاط الضعف و أسباب تعطل الآلة و بالتالي البحث عن الحلول الناجعة لها و من ثم تعميم النتائج على كل المكونات المماثلة.

و منه عمل برنامج صيانة مبكرة من أجل توظيف فعال و بأمان لأدوات العمل.

**الكلمات المفتاحية**: الصيانة المعتمدة على الوثوقية- تحليل أنماط التعطلات أثرها و خطرها- قيمة-صيانة- الأمن الوظيفي.

La MBF (la maintenance basée sur la fiabilité) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive ; en conciliant les doubles enjeux disponibilité/coût global de possession des installations. Parmi les outils ou méthodes qu'elle utilise, les grilles d'analyse de mode de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC). Cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets [1]. Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. Aujourd'hui, l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, voire la maîtrise du processus de production. Son ambition est de guider la démarche industrielle dans une voie d'augmentation des moyens organisationnels, techniques et d'information [2].

La MBF a pour objectifs [2] :

- de définir et de justifier en conception les actions de maintenance programmées à mettre en place ;
- de redéfinir en exploitation les actions de maintenance programmée ;
- d'assurer et d'augmenter les performances de l'outil de production en matière de sûreté de fonctionnement ;
- de déterminer les recommandations relatives aux enjeux technico-économiques (investissement, rénovation, procédure, justification).

A chaque action de maintenance, on associe un coût et/ou une durée. La performance d'une stratégie est évaluée en terme de coût total moyen et de disponibilité. La figure 1 schématise cette démarche. Ce papier a pour objectif l'application d'une démarche MBF dans une entreprise nationale qui est le complexe moteurs-tracteurs de Constantine, en se basant sur les fichiers historiques des trois dernières années 2005/2006/2007.

L'étude se fait sur les machines du bâtiment N°5 d'usinage qui contient 435 machines industrielles se regroupant en Tours – fraiseuses - perceuses – tailleuses – rectifieuse et centre d'usinage.

## 1. METHODOLOGIE

### 1.1. Décomposition du bâtiment d'usinage

L'AMDEC est une méthode de réflexion créative qui repose essentiellement sur la décomposition fonctionnelle de système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus simples. La démarche a impliqué au départ une décomposition du bâtiment en différents sites de production (Atelier sous forme de centre de frais interne (CFI), chaîne, machine unitaire et centre d'usinage), suivie d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des équipements, c'est une décomposition topo fonctionnelle, figure 1.

### 1.2. Principe de limitation de l'étude

Un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé, et seuls les plus critiques seront conservés pour la suite de l'étude, figure 2.

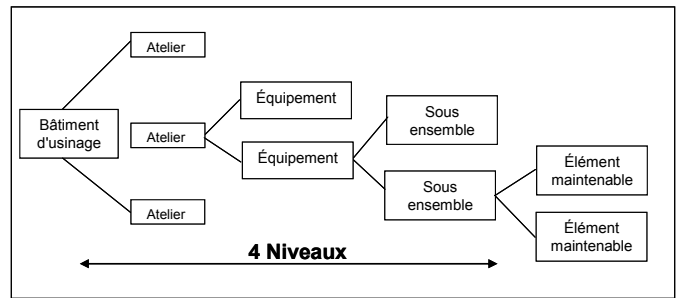


Figure 1 : Principe de la démarche

Cette démarche doit rassembler une équipe à laquelle tous les acteurs doivent participer. Pour cela, une première réunion avec le directeur, le responsable de la maintenance et le responsable de production doit avoir lieu, pour définir clairement les objectifs et les moyens à mettre en œuvre [3]. Les principes de la démarche sont : démarche participative, décomposition topo fonctionnelle des machines et limitation de l'étude, (cf. 2.4).

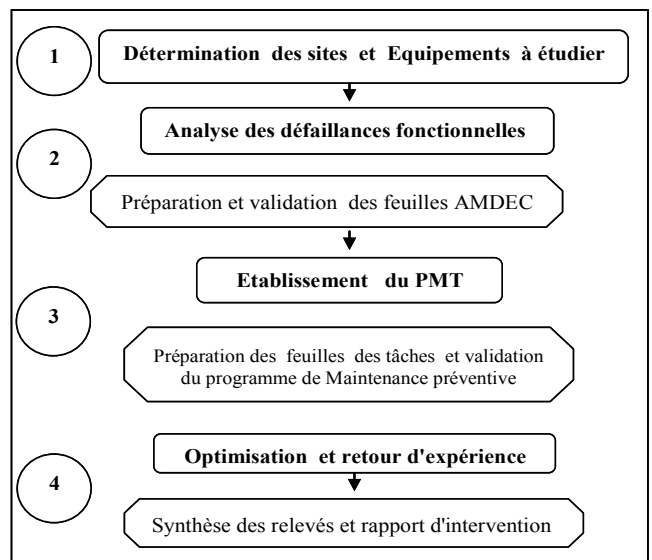


Figure 2 : Modélisation de la démarche

## 13. Détermination des équipements critiques

L'analyse est limitée à l'observation de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque équipement sur la sécurité, la disponibilité et la maintenabilité, figure 3. La criticité « CR » va se déterminer en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère. Ainsi dans l'exemple suivant, trois équipements ont été retenus pour l'analyse.

SECURITE		MAINTENABILITE	
Pas de risque	1	Ne nécessite presque pas de maintenance	1
Risques d'accident	2	* Temps (de remise en état) faible * Présence des pièces de rechanges principales	2
DISPONIBILITE		* Demande un temps moyen * connaissance sommaire de la machine * Parfois manque d'outillage * Parfois manque pièce rechange	3
Pas d'incidence	1	* Demande beaucoup de temps * Pas de connaissance de la machine * Pas de pièce de rechange	4
Fonctionnement dégradé	2		
Arrêt de la machine	3		
Arrêt de la production	4		

Figure 3 : Principe de la criticité des équipement

#### 1.4. Classement des machines critiques par l'analyse MBF :

Après avoir fait l'étude sur le terrain, les équipements critiques sont classés par ordre décroissant tableau suivant, (Tableau 1).

**Tableau 1** : Criticité des équipements

CFI	Atelier de production	S	D	M	Cr	Equipements
335	Usinage en Chaîne	2	4	4	32	Rectifieuse
334	"	2	4	4	32	C U Culbuteurs
334	"	2	4	4	32	C U Culasses
349	Grand Perçage	2	4	4	32	C U Couverts
335	Usinage en Chaîne	2	4	4	32	Tour Parallèle
346	Chaîne cinématique	2	3	4	24	Perceuse M Verticale
331	"	2	4	3	24	Perceuse M Horizontal
331	Usinage en Chaîne	2	3	4	24	Aléuseuse
344	Tournage	2	3	4	24	Tour Verticale
338	Taillage	2	3	4	24	Tailleuse des dentures
335	Usinage en Chaîne	2	3	3	18	Tour a copier
341	Tournage	2	3	3	18	Tour Automatique
340	Tournage	2	3	3	18	Tour semi-Automatique
345	Fraisage	2	3	2	12	Fraiseuse Verticale
345	Fraisage	2	3	2	12	Fraiseuse Horizontale
332	Usinage en Chaîne	2	2	2	8	Perceuse radiale
335	"	2	2	2	8	Fraiseuse Universelle
336	"	1	3	2	6	Glacuse
349	"	1	1	1	1	Laveuse

#### 1.5. Interprétation

On distingue du tableau trois grandes parties : la première ( en haut du tableau)les machines très critiques , la ou on trouve en plus de la rectifieuse les trois centres d'usinage du bâtiment (05) plus le tour parallèle « DORRIES ».

Il faut signaler que :

1. ces machines sont très spécifiques et compliquées (machine qui usine une seul pièce) et sont unique en son genre.
2. la personne d'intervention est compétente, en plus 1 heure de panne de ces machines équivalent à une centaine pour d'autres.

La partie milieu du tableau qui contient les machines dite critique et enfin au bas du tableau les machines peu critiques.

## 2. ANALYSES DES DEFAILLANCES DES MATERIELS CRITIQUES

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillances 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 étude AMDEC simplifiée (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité). Les modes de défaillances et les causes sont hiérarchisés en utilisant une nouvelle grille de criticité

$$\text{Criticité} = \text{Gravité} \times \text{Fréquence}$$

### 2.1. Criticité des défaillances et des causes

#### Gravité (G)

Pas d'incidence	1
Fonctionnement dégradé	2
Arrêt de la machine	3
Arrêt de la production	4

#### Fréquence (F)

Jamais arrivée	1
1 fois par 2 mois	2
1 fois par 1 mois	3
Arrive souvent	4

### 2.2. Analyse des modes de défaillance fonctionnelle

Fonction de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Rectification	- Mécanique	4	4	16	visuel
		- Electrique	4	3	12	arrêt
		- Hydraulique	4	2	8	visuel

Fonction de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Usinage du support culbuteur	- Mécanique	4	4	16	arrêt
		- Electrique	4	3	12	visuel
		- Hydraulique	4	2	8	visuel

Fonction de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Tournage	- Mécanique	4	4	16	visuel
		- Electrique	3	3	9	arrêt
		- Hydraulique	2	2	8	visuel

### 2.3. Décomposition organique des équipements

#### Rectifieuse

Spécialités	Eléments maintenables	Fonction	Sous ensemble
Broche porte meule	Permet la rotation de la meule	Roulement de la broche	Maintenance
Système de contrôle des diamètres lors de l'usinage	Mesurer les diamètres lors de l'usinage	MARPOSS	Maintenance
Système de lubrification	Lubrifier la pièce lors de l'usinage	Pompe à ailette	Maintenance

**AMDEC**

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
Roulement de la broche	Rupture	Limite de durée de vie	Mauvaise rotation de la meule Pièces non conforme	3	3	9
MARPOSS	Electrique	Plaque de rappel de la touche	Ralentissement	2	3	6
Pompe de lubrification	Hydraulique	Usure des ailettes	Arrêt de l'équipement	3	2	6

**C U : Support culbuteur**

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
Pince	Prendre la pièce et la déplacer	Bras manipulateur	maintenance
		Griffe pneumatique	maintenance
		Electrovanne moteur pas à pas	maintenance
		Huile hydraulique	Production

**AMDEC**

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
Bras manipulateur	Electrique	Arrêt de détecteur de présence	Arrêt	3	4	12
Electrovanne moteur pas à pas	Electrique	Blocage de l'électrovanne	Arrêt	3	3	9
Griffe pneumatique	Rupture d'un organe mécanique	Usure des dents du pignon	Arrêt	3	2	6
Flexible	Hydraulique	Fissuration	Ralentissement	2	2	4

**Tour Parallèle : DORRIES:**

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
Système de graissage	Assure le graissage des embrayages Transmet le mouvement	Pignon d'entraînement de la pompe	maintenance
Porte outil	d'avance et de rotation à l'outil	Couronne dentée	maintenance
Mandrin	Serrage et rotation de la pièce	Coussinet	Production

**AMDEC**

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
Pignon d'entraînement de la pompe	Usure du pignon	Usure des dents du pignon	Arrêt	4	3	12
Couronne dentée	Usure de l'organe	Usure des dents à cause du réglage répétitif	Un jeu de fonctionnement ente la « Vis sans fin – Couronne » pièces non conformes	4	2	8
Coussinet	Défaut de montage	Grande pression de serrage	Mauvais serrage	2	2	4

**3. ELABORATION DU PLAN DE MAINTENANCE**

Cette étape conduit à déterminer les tâches de maintenance préventive. 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), tableau 2. Néanmoins, pour la sélection des tâches, trois critères sont pris en compte, à savoir le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité. Pour chaque tâche, il est indiqué la fréquence, le temps alloué et la personne responsable et les pièces de rechange associées. D'autre part, les opérateurs prennent en charge des actions de maintenance de faible niveau sous formes des checks-listes, ce qui permet d'accroître la disponibilité de l'agent de maintenance pour d'autres travaux.

**Tableau 2 :** Elaboration des tâches

Machines	Eléments	Symptômes Observables	Prévention	Taches proposées
RECTIFIEUSE	Roulement de la broche	Bruit Etat de la surface pièce non conforme	Diminuer la fréquence de changement de la meule Aucune	Changement du roulement Changement de la plaque
	MARPOSS	Arrêt du MARPOSS		
	Pompe de lubrification	Bruit Echauffement de la pompe	Contrôler si la pompe s'échauffe ou pas et s'il n'y aura pas de bruit	Retouches des ailettes
CU CULBUTEURS	Bras manipulateur	Arrêt du bras		Réparation
	Griffe pneumatique	Arrêt de la griffe		Réparation
	Electrovane moteur pas à pas	Arrêt de la pièce	Aucune	Réparation
	Flexible	Fuite d'huile		Changement
Tour parallèle "DORRIES	Couronne dentée	Variation des diamètres de la pièce	Serrage de la vis sans fin et la couronne dentée	Changement des couronnes
	Pignon	Lampe témoin s'allume	Contrôler le niveau d'huile	Confection
	Coussinet	Desserrage de la pièce	Diminuer les vibrations au niveau du mandrin	Serrage des coussinets

**4. ESTIMATION DES COUTS DE LA MAINTENANCE**

**4.1. Aspect économique**

On commence par l'aspect économique, étant donnée que le concept de coût global permet de résoudre le problème difficile des investissements de remplacement, ce qui définit la limite dans le temps de la maintenance des équipements [y]. Il peut s'agir du remplacement à l'identique ou du remplacement avec progrès technique, résultant de l'obsolescence des équipements anciens.

La détermination du coût horaire du service durant les trois années (2005, 2006 et 2007) tenant compte des charges du personnel du département mécanique et des frais généraux du service (mains d'œuvre, pièces de rechanges et matières consommables), figures 4, 5, 6 et 7.

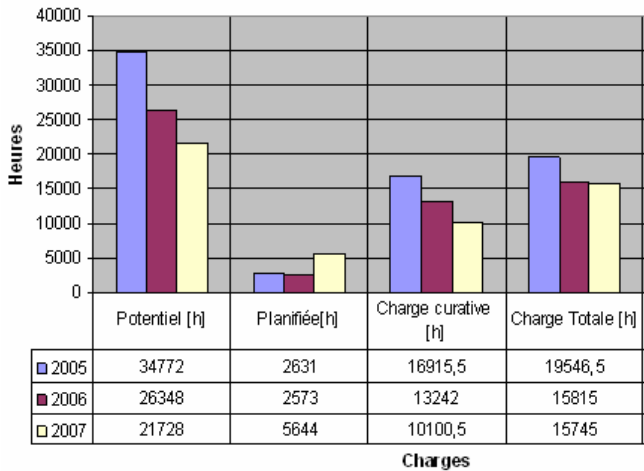


Figure 4 : Diagramme des charges du personnel du département mécanique

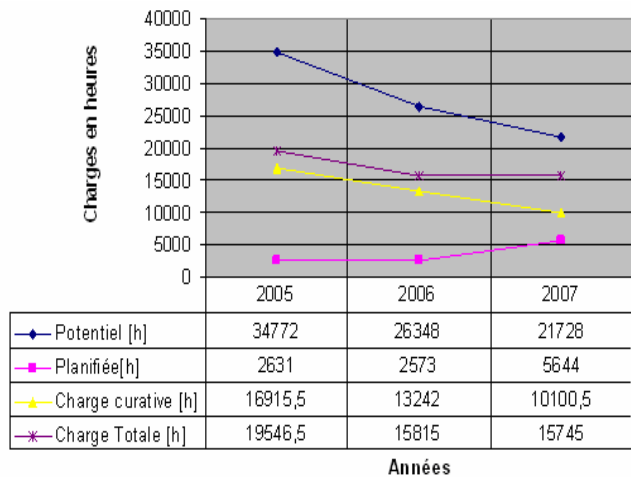


Figure 5 : Evolution des charges du personnel du département mécanique

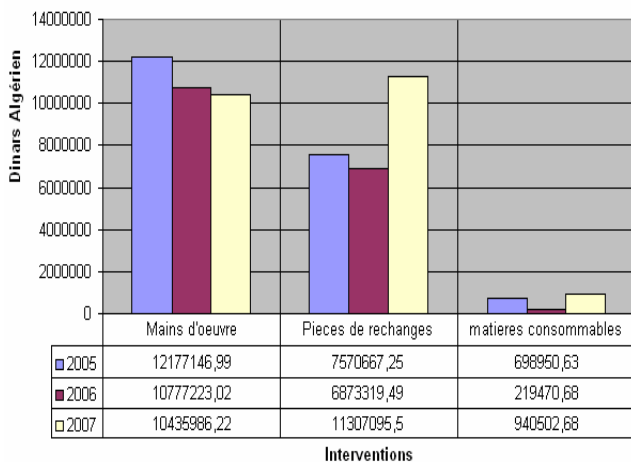


Figure 6 : Diagramme des coûts d'interventions

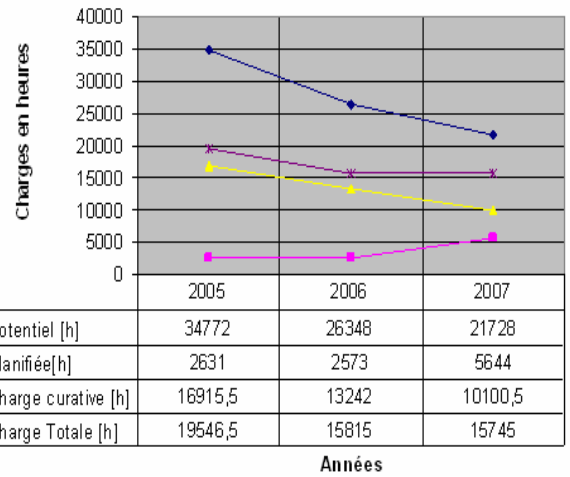


Figure 74 : Evolution des coûts d'interventions

#### 4.2. Discussion :

L'objectif du projet est de permettre à terme, à l'aide d'outils adaptés, la réalisation régulière de ce genre d'analyse pour garantir le niveau de rendement des installations, ainsi que le suivi des performances grâce au retour d'expérience pour définir la limite dans le temps de la maintenance des équipement.

On remarque :

- 1/ sur la figure 4 et figure 5 que les données enregistrées sur les trois années montrent la même tendance de l'évolution des charges bien que les valeurs soient en baisse graduellement, et que les charges planifiées sont beaucoup moins que les autres charges .
- 2/ Les figure 6 et figure 7 montrent une baisse graduellement pour 2005 et 2006 au moment où ce n'est pas le cas pour les pièces de rechanges qui enregistrent une augmentation en l'an 2007, conséquence aux pannes rencontrées en cette année.
- 3/ Les coûts en matières consommables sont beaucoup moins importants que les deux autres coûts. Pour améliorer ces facteurs influant sur la performance du système, on doit cibler efficacement les actions de maintenance à mettre en place. C'est pourquoi, la démarche conduit à évaluer les zones critiques et les plans d'actions à mettre en œuvre.

#### 5. PLAN D'ACTION DE L'ATELIER USINAGE EN CHAINE POUR L'ANNEE 2008

Voir annexes.

#### CONCLUSION

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'optimisation de maintenance étant donnée que l'influence des activités de maintenance prend une proportion de plus en plus significative dans la gestion d'entreprise. Cette approche est basée sur la MBF, utilisant l'analyse AMDEC. La mise en œuvre d'une telle démarche montre bien sa contribution à l'évaluation des zones

critiques et au plan d'action à engager dans l'entreprise. En effet, elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise par la prise en compte des conséquences des défaillances ;
- d'identifier les fonctions critiques pour le système et ainsi définir la politique de maintenance et les techniques associées applicables,
- de prendre en compte des coûts de maintenance et des coûts des défaillances.

L'analyse des coûts d'intervention et les charges du personnel nous permet de traquer les causes de dysfonctionnement et de faire la chasse au gaspillage dans l'entreprise. Son application nous permet d'obtenir des résultats prometteurs. Les gains futurs par l'application de la méthode sont une source de motivation considérable.

Finalement, la MBF constitue incontestablement une véritable démarche d'optimisation des coûts de maintenance.

#### REFERENCES

- [1] B. Herrou et M. Elghorba, L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un moto compresseur d'une PME marocaine, CPI'2005, Casablanca-Maroc.
- [2] I. Verzea, M. Gabriel et D. Richet, MBF globale : une étape stratégique vers la TPM, Revue Française de Gestion Industrielle, Vol.18, n°2.
- [3] N. Cotaina, M. Gabriel, D. Richet et K. O'Reilly, Systèmes de production de biens et de services, Management de la maintenance, 2<sup>ème</sup> congrès International Franco-Québécois, Le génie Industriel dans un monde sans frontières, 03 – 05 septembre 1997, Albi – France.
- [4] Jean Claude Ligeron, Fiabilité en exploitation : Organisation et traitement des données. Tome 1 et Tome 2. Edition Lavoisier, Paris, 1992.
- [5] J.P. Souris, Maintenance source de profit, Les éditions d'organisation, 1990, ISBN2-7081-1136-1

#### ANNEXE

##### **PLAN D'ACTION DE L'ATELIER USINAGE EN CHAÎNE POUR L'ANNEE 2009**

*Le plan d'action de l'atelier usinage en chaîne comprend les actions suivantes délais*

Poste	Actions	Responsables	Echéances	Interprétation
01	<b>Réalisation du programme</b>	Chef d'atelier Contre maître	09/2009	Prévoir le personnel nécessaire pour la réalisation du programme 2009 et gérer les aléas.
02	<i>Respect des gammes</i>	Chef d'atelier Contre maître		Il faut veiller à ce que la gamme soit appliquée par les opérateurs chacun dans son poste
03	<i>Amélioration des gammes</i>	Chef d'atelier Contre maître		Le chef d'atelier ainsi que les Contre maîtres doivent contribuer à l'amélioration des gammes en collaboration avec le service méthode
04	<i>Auto contrôle</i>	Chef d'atelier Contre maître		Aider l'opérateur à mieux manipuler les moyens de contrôle à fin de pouvoir effectuer un premier contrôle a son niveau dans le but d'assurer une meilleure qualité de la pièce
05	<i>Préserver un bon état des machines</i>	<b>Chef d'atelier</b> Contre maître		Doter l'opérateur d'une pompe pour assurer le graissage des machines ce qui nous permettra de préserver ces dernières dans un bon état et aussi mettre des fiches de graissage pour chaque machine nécessitant cette opération
06	<i>Signaler les anomalies des dispositifs</i>	Chef d'atelier Contre maître		Signaler les dispositifs qui nécessitent des corrections pour éviter une perte de temps en cas d'utilisation de ces derniers.
07	<i>Traçabilité pour le rebut</i>	Chef d'atelier Contre maître		Répertorier les différentes causes du rebut pour permettre d'intervenir efficacement à fin de réduire le rebut
08	<i>Suivi de la pièce en zone de non-conformité</i>	Chef d'atelier Contre maître		Assainir la situation de la pièce en zone de non-conformité avec les différents services concernés
09	<i>Eviter l'accumulation du rebut</i>	Chef d'atelier Contre maître		Pour garder l'ordre au niveau de l'atelier il est important de se débarrasser au fur et à mesure des pièces rebutées
10	<i>La formation sur les postes spécifiques</i>	Chef d'atelier Contre maître		- La rectification des manetons ZoCCA 6202 et ZoCCA 6201 - Le tour parallèle DORRIESS 1901 - Le tour SCHEREER1312 - Le tour à cames - La Hille HENCHELLE