
L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un motocompresseur d'une PME marocaine

Brahim HERROU*, Mohamed ELGHORBA**

**Ecole Supérieure de Technologie BP. 2427 Route Imouzzer Fes*

herroubrahim@yahoo.fr

***Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique*

km 8 route d'Eljadida BP 8118 Oasis Casablanca

medelghorba@hotmail.com

RESUME : Cette communication traite le problème d'optimisation de la fonction maintenance. En effet les coûts de maintenance sont répartis en deux types : coûts directs et coûts indirects. Parmi les coûts indirects figure les coûts d'indisponibilité de matériel. L'étude AMDEC a pour objectif de réduire ces temps d'indisponibilité et améliorer la fiabilité des équipements dès la conception. Ce qui permet d'optimiser cette composante tout en identifiant les éléments les plus critiques et en aidant les décideurs de service maintenance à définir la politique de maintenance appropriée.

En fin pour prouver l'intérêt de l'étude AMDEC dans l'optimisation de la maintenance on a effectué une étude de cas sur un motocompresseur pour l'intérêt d'une PME marocaine.

MOTS-CLES : maintenance, AMDEC, fiabilité, optimisation, motocompresseur.

1. Introduction

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. La sûreté de fonctionnement se caractérise généralement par les paramètres suivants[1] :

- La fiabilité : aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant une durée donnée ;
- La maintenabilité : aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ;
- La disponibilité : aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné ;
- La sécurité : aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître ,dans des conditions données , des événements critiques ou catastrophiques.

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leurs criticité (AMDEC) est une approche qualitative pour les études de sûreté dans différents domaines. En effet cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sûreté de fonctionnement du système opérationnel. Elle permet de :

- connaître les éléments(fonctions et constituants) les plus importants ;
- découvrir,évaluer et classer les faiblesses ,les anomalies et les dysfonctionnements de système ;
- gérer les points critiques et remettre en cause même la conception de système ;
- préconiser les mesures correctives ;
- évaluer les effets de ces mesures pour s'assurer de leurs efficacité, et pour les comparer et décider.

Dans cette optique et à la lumière de ces points,l'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques.

2. La méthode d'optimisation de la maintenance

Le concept de coopération homme-machine est né suite à l'apparition des outils d'aide à la décision en tant qu'assistant d'un décideur humain et donc à la possibilité de partager les tâches entre eux[2]. Dans ces circonstances le groupe fait appel à l'outil AMDEC en vue d'obtenir des conseils qu'il utilise dans la prise de décision. Il guide le groupe dans sa démarche de résolution de problème pour l'amener à découvrir lui-même la solution. Par conséquent il a l'avantage de réduire les coûts de maintenance.

Bien que les coûts de maintenance dépendent des caractéristiques du matériel qui se présentent sous trois formes : caractéristiques pouvant être données par le fournisseur, caractéristiques propres à l'exploitant et caractéristiques communes à l'exploitant et au fournisseur[3], les coûts de la maintenance se composent essentiellement en deux composantes : les coûts directs et les coûts indirects.

L'étude AMDEC permet principalement d'optimiser les coûts indirects (Fig.1). En effet elle constitue une méthode de diagnostic intelligente dans la mesure où elle permet de prévoir un certain nombre de faiblesses, de défauts, d'anomalies et de pannes au niveau de l'ensemble des éléments qui concourent à la fabrication d'un produit (les 5M).

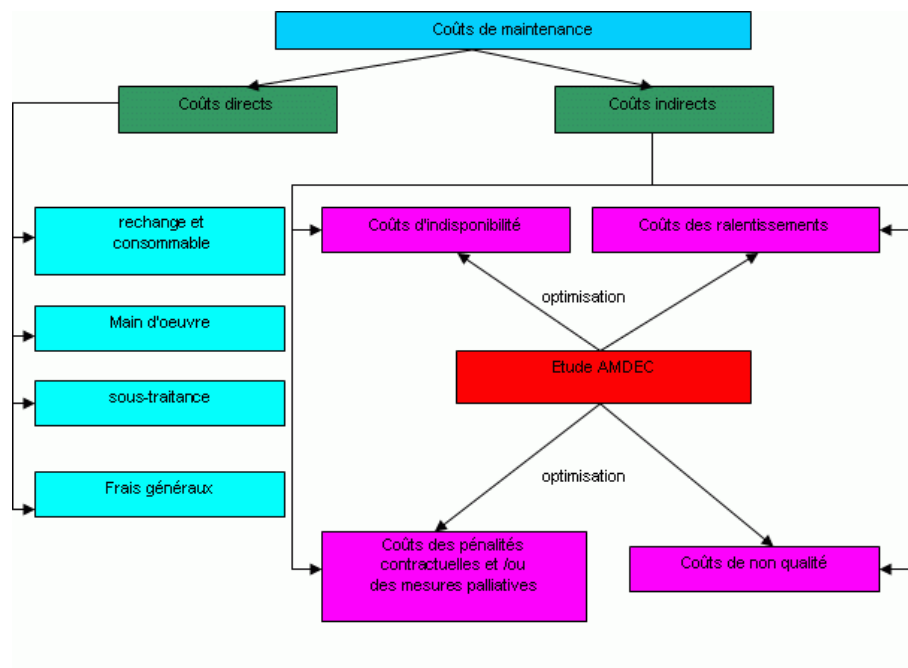


Figure 1. méthode d'optimisation de la maintenance par l'AMDEC

3. L'outil AMDEC

L'AMDEC utilise les caractéristiques d'un produit permettant 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, du service après vente...en prenant compte plus précisément le triptyque produit-procédé-processus[4]. Cependant il existe un autre type qui est inhérent à l'organisation. Dans notre étude on va élaborer l'AMDEC machine qui permet au groupe d'anticiper d'éventuels aléas et dangers de moyen de production.

3.1. Démarche pratique de l'AMDEC

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outillée. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire[5]. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse.

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes[6] :

Etape 1 :initialisation de l'étude qui consiste :

- la définition de la machine à analyser ,
- la définition de la phase de fonctionnement,
- la définition des objectifs à atteindre,
- constitution de groupe de travail,
- la définition de planning des réunions,
- la mise au point des supports de travail.

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste :

- découpage de la machine,
- inventaire des fonctions de service,
- inventaire des fonctions techniques.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- analyse des mécanismes de défaillances,
- évaluation de la criticité à travers :

- la probabilité d'occurrence F ,
- la gravité des conséquences G,
- la probabilité de non détection D.
- la criticité est définie par le produit : $C=F.G.D$

- propositions d'actions correctives.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- bilan des travaux ,
- décision des actions à engager.

3.2. Les grilles de cotation

Niveau de fréquence :F	Définition des niveaux
Fréquence très faible	Défaillance rare :Moins d'une défaillance par an
Fréquence faible	Défaillance possible :Moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	Défaillance fréquente :Moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	Défaillance très fréquente:plusieurs défaillances par semaine

Tableau 1. Grille de cotation de la probabilité d'occurrence

Niveau de gravité : G	Définition des niveaux
Gravité mineure	Défaillance mineure : -arrêt de production inférieur à 2 mn, -aucune dégradation notable du matériel
Gravité significative	Défaillance significative : -arrêt de production de 2 à 20 mn, -remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire.

Gravité moyenne	Défaillance moyenne : -arrêt de production de 20 mn à 1 heure, -changement du matériel défectueux nécessaire.
Gravité majeure	Défaillance majeure : -arrêt de production de 1 à 2 heures, -intervention importante sur sous ensemble, -production de pièces non conformes non détectées.
Gravité catastrophique	Défaillance catastrophique : -arrêt de production supérieur à 2 heures, -intervention nécessitent des moyens coûteux.

Tableau 2. *Grille de cotation de la gravité*

Niveau de la probabilité de non détection : D	Définition des niveaux
Détection évidente	Défaillance précocement détectable
Détection possible	Défaillance détectable
Détection improbable	Défaillance difficilement détectable
Détection impossible	Défaillance indétectable

Tableau 3. *Grille de cotation de la probabilité de non détection*

4. Application de l'AMDEC à un motocompresseur

L'étude a été réalisée pour l'intérêt d'une PME marocaine spécialisée dans la fabrication des hydrocarbures. Elle porte essentiellement sur un motocompresseur en vue d'optimiser sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité puisque aujourd'hui, l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, c'est-à-dire dans la maîtrise de l'ensemble des éléments du processus de fabrication. Dans ce contexte l'AMDEC constitue incontestablement un véritable outil d'optimisation des coûts de maintenance.

4.1. Analyse du système

Dans un premier lieu on a décomposé fonctionnellement le système (Fig.2)

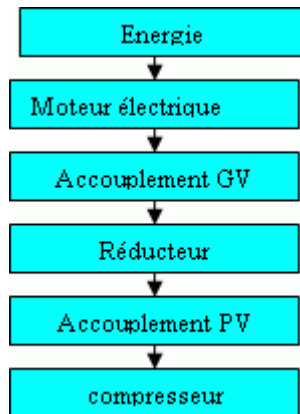


Figure 2. Décomposition fonctionnelle du système

4.2. Décomposition du système

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 élémentaires. On a décomposé le système en trois sous-systèmes. Chaque sous-système est décomposé jusqu'aux organes les plus élémentaires (Fig.3)

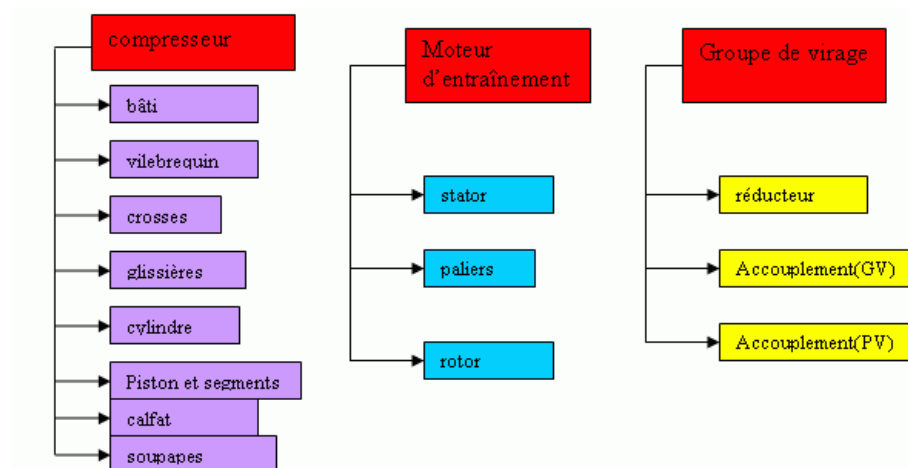


Figure 3. Décomposition du système en organes les plus élémentaires

4.3. Tableaux AMDEC

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités									
Système : moto-compresseur			Date:								
Sous-système :compresseur											
L'élément	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	détection	Criticité				Action à engager	
						F	G	D	C		
bâti	Renferme le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	usure	Détériorations des paliers	-Bruit -échauffement	1	2	2	4	-Réalisation des chemises pour les paliers. -changement du bâti	
vilebrequin	Transformer le mouvement de rotation	Usure au niveau des paliers lisses	frottements	Mauvais fonctionnement de compresseur	bruit	1	2	4	8	-changement des paliers lisses -remplacement du vilebrequin	
bielle	Transmet le mouvement au piston	-cassure -fissure	-fatigue -mauvaise conception	Pas de mouvement	visuel	1	4	2	8	-Changement de la bielle -nouvelle conception	
Les écrous	La fixation de la crosse et la tige	Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou	
Bague racleuse	Assurer l'étanchéité	usure	fatigue	échauffement	Fuite d'huile	1	4	2	8	Changement de la bague	
glissière	Guidage de piston	usure	frottement	vibration	bruit	2	2	2	8	-vérifier le système de graissage -changement de la glissière	
Crosse de piston	Orienter le mouvement de translation	usure	frottement	vibration	bruit	2	2	2	8	-vérifier le système de graissage	
Tige de piston	Assurer le déplacement de piston	-criques -flambage	-corrosion -surcharge	Mauvais fonctionnement	-bruit -échauffement	2	2	3	12	-Remplacement de la tige -traitement de la tige	
chemise	-Renfermer le piston -chambre de compression	usure	frottements	Mauvaise compression	-faible débit au refoulement	3	2	2	12	Remplacer la chemise	
cylindre	Renfermer le compresseur	déformation	chocs	Mauvais fonctionnement	visuel	1	2	1	2	Changer le cylindre	

segments	Assurer l'étanchéité	usure	fatigue	Mauvaise compression	Faible débit de refoulement	4	5	3	60	Changement des segments
piston	Assurer la compression	usure	fatigue	Mauvais fonctionnement	-bruit -échauffement	1	2	2	4	Remplacement de piston
calfat	Assurer l'étanchéité de gaz	usure	fatigue	Fuite de gaz	Faible débit de refoulement	3	5	3	45	Remplacement de calfat
Fonds inférieur et	Renfermer le compresseur	déformation	choc	Mauvais fonctionnement	visuel	1	1	1	1	Remplacement des fonds
Joint d'étanchéité	Assurer l'étanchéité	usure	fatigue	échauffement	Fuite d'huile	4	5	1	20	Changement des joints
goujons	Assurer la fixation	desserrage	chocs	vibration	bruit	4	5	1	20	Serrage
Clapets d'aspiration et de refoulement	Faire passer le fluide dans un seul sens	-usure -colmatage	-Fatigue -Mauvais fonctionnement de filtre	-Diminution de pression	Faible débit	2	3	2	12	-Changement de clapet -nettoyage ou changement de filtre
défecteur	Déflexion de gaz en cas de fuite au niveau de calfat	usure	fatigue		visuel	1	1	1	1	Changement de déflecteur
regard	Fixation de clapet	Desserrage de clapet	Mauvaise fixation de l'ensemble	Mauvaise position de clapet	Faible débit	1	1	1	1	Serrage des goujons

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Système : moto-compresseur			Date:							
Sous-système :moteur										
L'élément	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	détection	Criticité				Action à engager
						F	G	D	C	
Paliers roulement	Guider et supporter le rotor	-usure -cassure	-Fatigue -vibration	-Echauffement -Blocage de rotor	-Bruit -échauffement	2	3	2	12	-changement des roulements
stator	Créer un champs tournant	Grillage d'enroulement Défaillance de phase Défaillance d'isolement	Surcharge fatigue	arrêt de compresseur	visuel	1	2	4	8	-bobinage de l'enroulement

rotor	Assurer le mouvement de rotation	Défaillance de la cage	Fatigue surcharge	arrêt de compresseur	visuel	1	4	2	8	Changement de la cage
-------	----------------------------------	------------------------	-------------------	----------------------	--------	---	---	---	---	-----------------------

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Système : moto-compresseur			Date:							
Sous-système :groupe de virage										
L'élément	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	détection	Criticité				Action à engager
						F	G	D	C	
réducteur	Réduire la vitesse et transmettre la puissance	-détérioration des dents -endommagement des roulements	-Fatigue -vibration -manque de lubrifiant	-vibration -mauvais fonctionnement	-Bruit -échauffement	2	3	2	12	-changement des engrenages -changement des roulements
Accouplement grande vitesse	Transmettre la puissance au réducteur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue -désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenages -dégradation de fonctionnement de compresseur	visuel	3	2	1	6	-réalignement -serrage de système de fixation -changement d'accouplement
Accouplement petite vitesse	Transmettre la puissance au compresseur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue -désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenages -dégradation de fonctionnement de compresseur	visuel	3	2	1	6	-réalignement -serrage de système de fixation -changement d'accouplement

4.4. Tableau de classification des éléments par leurs criticité

On a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité .les éléments dont la criticité dépasse 12 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau (Tab.4). C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

élément	criticité	Actions correctives à engager
Segments de piston	60	Remise en cause complète de la conception
Calfat	45	
Goujons de fixations	20	
compresseur	20	
Joints d'étanchéité de compresseur		
Tige de piston	12	Amélioration des performances des éléments. Maintenance préventive systématique
Chemise	12	
Clapets d'aspiration	12	
Paliers de moteur	12	
Réducteur	12	

Tableau 4. actions correctives à engager

5. Conclusion

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'optimisation de maintenance. Cette approche est basée sur l'analyse AMDEC. La mise en œuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des coûts de maintenance. En effet elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise,
- d'identifier les fonctions critiques pour le système,
- de définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée.

L'exemple traité dans le cadre de ce travail a été développé suivant une méthode logique et structurée. Elle a permis de mieux maîtriser le système étudié tout en identifiant les maillons faibles et de connaître les types de maintenance appliqués à

chaque sous système et composant. En fin elle constitue une véritable démarche d'optimisation des coûts de maintenance.

6. Bibliographie

- [1]Afnor ; fiabilité maintenabilité disponibilité ,recueil des normes françaises, afnor-ute.
- [2]Patrick Millot, journées doctorales d'automatique JDA'99,conférence plénière, Nancy 21-23 septembre 1999.
- [3]Serge Fougèresse, pratique de la maintenance industrielle par le coût global.
- [4] Maher .Aidi, gestion coopératives des objectifs de simulation de produits industriels ;Colloque IPI Autrans 22-23 janvier 2004.
- [5] Samuel Bassetto,Stéphane Hubac, méthode employant les connaissances d'experts, Colloque C2EI Nancy 1-2 décembre 2004.
- [6] Le guide de l'AMDEC Machine, publications CETIM.