

## CONCEPTION ET SIMULATION D'UN MODELE BASE SUR LE CCV POUR L'AMELIORATION DE LA FONCTION MAINTENANCE

A. MOULOU AODIA, B. OUMHANI  
BELMOKHTAR

Département Génie Industriel, Ecole Nationale  
Polytechnique  
10, Hacem Badi, El Harrach, 16300 - Algérie  
A. mouloudaoudia@gmail.com, B. oumh\_bel@yahoo.fr

**RESUME :** *Le présent travail s'inscrit dans un processus d'amélioration continue de la fonction maintenance des entreprises industrielles. L'objectif recherché dans cette communication est de définir une nouvelle approche de mesure de performance de la fonction maintenance au niveau stratégique de l'entreprise. Cette approche constituera pour le manager un outil qui lui permettra d'identifier les actions d'amélioration du système de maintenance les plus efficaces en terme de Coût de Cycle de Vie (CCV). Une application est réalisée au niveau d'un complexe industriel appartenant à une importante compagnie pétrolière. Nous avons fait appel à l'outil « dynamique des systèmes » pour réaliser la simulation.*

**MOTS-CLES :** *management de la maintenance, aide à la décision, coût de cycle de vie, secteur pétrolier, dynamique des systèmes, simulation.*

### 1 INTRODUCTION

L'importance du management de maintenance pour la survie de l'entreprise, est stratégique étant donné qu'il est directement lié à la rentabilité de l'entreprise. En effet, un management inefficace de la maintenance peut mener à une pauvre performance du système productif ce qui mènera à son tour à une perte de production, une diminution du profit et éventuellement une perte d'une part de marché (Aoudia *et al.*, 2008). En contre partie, un management efficace de la maintenance peut améliorer la performance du système productif, qui peut à son tour augmenter le volume des ventes et le revenu et ainsi maximiser le profit et offrir un avantage compétitif à l'entreprise.

Afin que le manager de la maintenance puisse accomplir avec succès, la mission qui lui est confiée, il a besoin d'avoir à sa disposition un outil de mesure de performance qui lui permet d'évaluer la situation présente de la maintenance et de prévoir son évolution dans le but de prendre les bonnes décisions aux moments opportuns.

La plupart des auteurs qui ont traité ce sujet ont présentés des indicateurs pour mesurer la performance de la maintenance, comme par exemple Campbell (1995), De Groote (1995), Arts *et al.* (1998), etc. Tandis que d'autres auteurs ont fourni des approches pour mesurer la performance. Par exemple, l'approche d'évaluation de la performance de la maintenance proposée par De Groote (1995) est basée sur un audit de qualité et des indicateurs de performance de maintenance quantifiables. La mesure de performance qui tient compte de l'impact des activités de maintenance sur la valeur future de l'organisation a été proposée par Dwight (1999). Tsang (1998) a proposé l'application de la Balanced Scorecard développé par

Kaplan and Norton (1992) à la mesure de performance de la fonction de maintenance. K.Y. Kutucuoglu (2001) considèrent que la structure de la matrice de déploiement de la fonction qualité (QFD) est convenable pour développer un système de mesure de la performance de la maintenance.

Cependant, la plupart de ces approches ont négligé la dimension économique de la maintenance, alors qu'elle constitue un souci majeur au niveau du top management. En effet, plusieurs auteurs (par exemple Parida (2006), Ahlmann (2002), Blanchard (1997), Dhillon and Liu (2006) et Murthy *et al.* (2002)) affirment que pour beaucoup d'industries à capital-intensif les coûts de maintenance représentent une partie significative du coût de fonctionnement. Les coûts dits indirects de la maintenance sont encore plus importants. Ces derniers qui résultent généralement, des retards dans la livraison et de l'insatisfaction des clients, mènent à des manques à gagner, des pertes de goodwill, des pertes de clients, etc.

Cette dimension économique dans le management de maintenance, ne doit pas être utilisée uniquement pour l'estimation des dépenses de la maintenance, mais aussi pour son amélioration. L'utilisation du langage économique dans le management de maintenance, possède l'avantage de pouvoir convaincre le top management, de la nécessité de l'amélioration de la maintenance pour qu'il mette en œuvre tous les moyens nécessaires.

Il est aussi important de signaler que ces approches proposées en littérature ne considèrent pas l'amélioration de la maintenance dans une vision systémique mais plutôt dans une manière individuelle, alors que l'amélioration de la performance de cette fonction ne peut se faire que dans le cadre de l'amélioration de la performance globale du système industriel.

## 2 LE COÛT DE CYCLE DE VIE COMME OUTIL POUR MESURER LA PERFORMANCE DE LA MAINTENANCE

Supposons que le système à étudier est composé de K éléments. Ce système sera maintenu selon un plan de maintenance tracé au préalable par le processus de planification de maintenance. Ainsi, chaque élément de ce système subira un ensemble d'actions de maintenance (préventives ou correctives) dans le cadre de ce plan de maintenance. Cependant, il peut survenir des défaillances qui non pas été prises en compte par le plan de maintenance, dans ce cas le processus de maintenance doit intervenir pour rétablir l'élément défaillant dans un état où il peut accomplir sa fonction requise. Les différentes actions de maintenance susceptibles d'être subies par un élément du système sont montrées par la Figure 1.

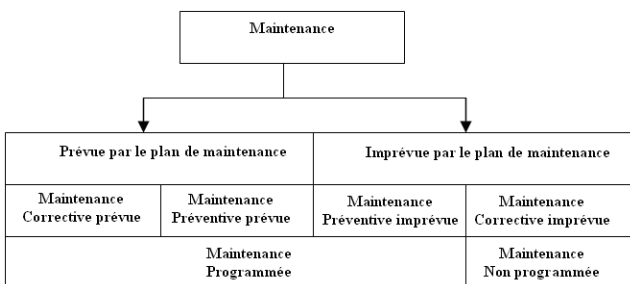


Figure 1 : Maintenance prévue et maintenance imprévue

Ainsi, nous pouvons rassembler toutes les actions de maintenance que peut subir un élément du système durant tout le cycle de vie du système, en deux ensembles :

- actions de maintenance (préventives ou correctives) qui émanent des différents plans de maintenance du système, durant tout son cycle de vie (par exemple le remplacement systématique d'un élément composant le système selon un plan de maintenance qui détermine le moment du renouvellement, dans ce cas le remplacement d'un élément défectueux est considéré comme étant une action de maintenance corrective prévue) ;
- actions de maintenance (préventives ou correctives) qui n'ont pas été prises en charge par les différents plans tracés pour la maintenance du système durant tout son cycle de vie (par exemple certaines actions de maintenance réalisées suite à la défaillance d'un élément du système, dans ce cas le remplacement de l'élément défectueux est considéré comme étant une action de maintenance corrective imprévue).

Selon cette logique, nous pouvons alors décomposer le coût global de maintenance en coût direct et coût indirect. Le coût direct se rapporte aux actions de maintenance préventives ou correctives déterminées dans les plans tracés pour maintenir le système durant tout son cycle de vie. Le coût indirect est lié aux actions de maintenance préventives ou correctives réalisées suite à des défaillances non prises en compte par les plans de maintenance.

Etant données les définitions précédentes du coût direct et du coût indirect, nous pouvons alors écrire :

$$CD_{MAIN} = \sum_{k=1}^K \sum_{i_k=0}^{I_k} [n(i_k) \times Coût(i_k)] \quad (1)$$

$$CID_{MAIN} = \sum_{k=1}^K \sum_{i'_k}^{I'_k} [n(i'_k) \times Coût(i'_k)] \quad (2)$$

$$C_{MAIN} = CD_{MAIN} + CID_{MAIN} \quad (3)$$

où :

- $CD_{MAIN}$  : Coût direct de maintenance
- $CID_{MAIN}$  : Coût indirect de maintenance
- $C_{MAIN}$  : Coût global de maintenance
- $k \in \{1, \dots, K\}$  : identifiant d'un élément du système
- $i_k \in \{0, 1, \dots, I_k\}$  : identifiant d'une action de maintenance  $i$  (préventive ou corrective) réalisée sur l'élément  $k$ , dans le cadre du plan de maintenance tracé pour le système
- $i'_k \in \{0, 1, 2, \dots, I'_k\}$  : identifiant d'une action de maintenance  $i'$  (préventive ou corrective) réalisée sur l'élément  $k$  non prise en compte par un plan de maintenance tracé pour le système
- $n(i_k)$  : estimation du nombre d'occurrence de l'action  $i_k$  à réaliser pendant tout le cycle de vie du système (exemple : 20 fois pendant 50 ans)
- $n(i'_k)$  : estimation du nombre d'occurrence de l'action  $i'_k$  à réaliser pendant tout le cycle de vie du système.

Cependant chaque action de maintenance dépendante ( $i_k$ ) ou indépendante ( $i'_k$ ) du plan de maintenance est susceptible d'engendrer deux sortes de coûts : un coût tangible et un coût intangible, comme le montre la Figure 2.

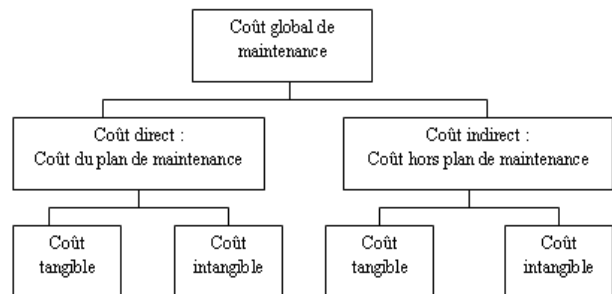


Figure 2 : Décomposition du coût de maintenance

Le coût tangible se rapporte aux ressources allouées pour le fonctionnement du processus de maintenance afin qu'il puisse réaliser toutes les actions nécessaires de maintenance. Les ressources nécessaires au bon déroulement du processus de maintenance sont constituées essentiellement de : Personnel de maintenance, Matières et pièces, Services généraux, Services d'information, Immobilisations et Fournisseuses externes.

Le coût intangible est estimé par l'évaluation économique des conséquences de fonctionnement du processus de maintenance sur le processus de production ou d'exploitation du système en termes de production, qualité, sécurité et environnement.

L'impact de la maintenance sur la production varie selon la politique de maintenance, le type de production et la conception du système. D'une manière générale cet effet se traduit par le temps d'indisponibilité pendant lequel le système est appelé à être en état d'accomplir sa fonction requise.

L'influence de la maintenance du système sur la qualité du produit fini est considérable. En effet, la qualité du travail de maintenance détermine l'état du processus de production ou d'exploitation qui lui-même influencera sur la qualité du produit fini. De ce fait, si la maintenance est réalisée d'une manière insatisfaisante alors le système utilisera de la main d'œuvre et consommera de la matière et de l'énergie pour produire des produits de qualité insatisfaisante (rebuts).

Une maintenance inefficace peut être une cause indirecte de la génération par le système d'un ou de plusieurs outputs qui représentent une menace pour la sécurité (incidents ou accidents de travail) ou pour l'environnement (déchets solides, déchets dangereux, eau usagée, gaz, rayonnement, bruit et chaleur). Le coût de contrôle et de traitement de ces outputs, une fois produits, peut être important.

### 3 EVALUATION ECONOMIQUE ET SIMULATION

Nous présentons dans cette section une application de l'approche que nous avons proposée (la modélisation complète du coût global de maintenance est donnée par Aoudia (2009)) afin qu'elle soit testée et validée. Dans la première sous-section, nous estimons le coût tangible de maintenance au niveau d'un complexe industriel (CI) appartenant à une importante compagnie pétrolière (CP) et nous distinguons entre le coût tangible qui provient du coût direct et celui qui provient du coût indirect. La même démarche sera adoptée lors de l'estimation du coût intangible de maintenance lié au CI. Cette décomposition nous permettra d'identifier les inducteurs de coût qu'il faudra mettre sous surveillance étant donné qu'ils bénéficient d'un effet de levier important. Ces inducteurs de coût seront analysés, dans la deuxième sous-section afin de mettre en évidence les éléments qui permettront de proposer un plan d'amélioration de la maintenance qui minimisera le CCV.

Il est important de signaler que nous avons adoptés les deux hypothèses suivantes pour obtenir les résultats présentés dans cette communication :

- Le cycle de vie admis est de 30 ans (360 mois).
- Le taux d'actualisation adopté est de 10%.

Nous avons fait appel à l'approche "dynamique des systèmes" pour réaliser la modélisation et la simulation du comportement dynamique du coût tangible tout le long de son cycle de vie. Le logiciel employé dans la simulation du comportement dynamique est Vensim PLE Version 5.8c. Les résultats seront donnés en Dollar constant 2005.

### 3.1 Coût de maintenance du Complexe Industriel

Les résultats montrent que l'inefficacité de la maintenance au niveau du site industriel a coûté à la CP seulement pendant la première année du cycle de vie considéré, une perte financière estimée à 1210 millions de dollar (M\$). Cette perte représente pour la CP approximativement 28 % du chiffre d'affaires qui provient du CI. Ce montant peut être décomposé selon la démarche que nous avons proposée dans la section précédente, comme le montre la Figure 3.

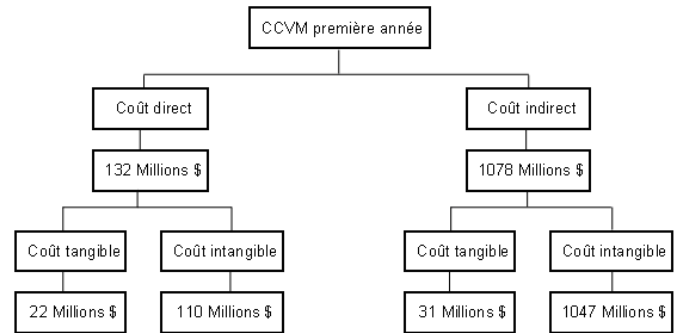


Figure 3 : Décomposition du CCV lié à la maintenance selon l'approche proposée

Le but recherché à travers la dernière décomposition du coût global de maintenance est de mettre en évidence au top management l'importance qu'il faudra allouer à l'amélioration de l'efficacité de la maintenance, mais aussi de mesurer les gains qui peuvent être réalisés par une amélioration de la maintenance en se basant sur la minimisation du CCV et non pas sur les budgets alloués. L'amélioration de la maintenance selon l'approche classique consiste à proposer des actions qui visent à minimiser le coût tangible sans faire de distinction entre le coût tangible direct et le coût tangible indirect. Aussi, l'approche classique n'accorde pas d'importance à la distinction entre le coût direct (Figure 4) et le coût indirect de maintenance (Figure 5), alors que ce dernier est sept (07) fois plus grand que le coût direct de maintenance (voir Figures 4 et 5).

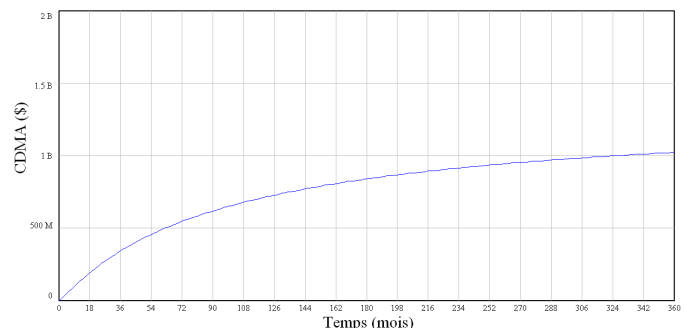


Figure 4 : Coût direct de la maintenance





La Figure 13 montre le résultat de l'amélioration qui consiste à réduire de 50% le temps maximum d'un temps d'arrêt non planifié. Le nouveau coût global de maintenance, au niveau de l'unité de Compression, devient 2755 M\$ au lieu de 5340 M\$. Cet exemple montre que le management de maintenance apportera un gain énorme à l'entreprise (2585 M\$) si la maintenabilité au niveau de la Compression est améliorée par la minimisation des temps entre deux arrêts consécutifs. Pour cela il est nécessaire de minimiser en priorité les temps d'attente de pièces de rechange et de moyens matériels. Une meilleure préparation du lancement des travaux est également nécessaire.

#### 4 CONCLUSION

Le travail effectué dans cette communication s'inscrit dans le cadre de l'étude et du développement des approches d'aide à la décision pour l'amélioration de la maintenance au niveau stratégique.

L'approche que nous avons proposée peut être utilisée par le top management dès la phase de conception du système mais aussi pendant la phase de son exploitation. Plus précisément, l'approche proposée, fournit au manager un outil efficace pour choisir les actions d'amélioration de la maintenance les plus significatives en termes de diminution du coût de cycle de vie. En extension, cette approche peut même constituer un outil efficace pour élaborer les budgets d'une manière plus rationnelle par rapport à l'approche classique.

Comparativement aux autres approches proposées en littérature, notre cadre apporte une nouvelle contribution aux travaux d'amélioration de la fonction maintenance. En premier lieu, elle tient compte de l'impact du processus de maintenance sur les autres processus particulièrement le processus d'exploitation du système. En deuxième lieu, elle suppose que la performance de la fonction maintenance doit être améliorée uniquement dans le cadre de l'amélioration de la performance globale du système pour que tous les efforts d'amélioration puissent converger vers la réalisation des buts stratégique de l'entreprise. Troisièmement, notre approche insiste sur l'importance de la traduction des actions d'améliorations sous la forme la plus préférée chez les managers qui est le langage de la valeur économique.

Pour le cas que nous avons étudié (CI), l'amélioration de la maintenance selon l'approche classique consiste à proposer des actions qui visent à minimiser le coût tangible, sans faire de distinction entre le coût direct et le coût indirect ni même entre le coût tangible et intangible, alors que le coût indirect est sept (07) fois plus grand que le coût direct. L'approche classique engendrera souvent une augmentation incontrôlable du coût indirect, ce qui augmentera en fin de compte tout le coût de maintenance d'une manière très significative. Pour cette raison nous avons proposé, dans notre approche, de cibler la minimisation du coût de cycle de vie, même si cela exige une augmentation du coût direct considéré par le plan de maintenance.

Nous avons voulu montrer à travers ce travail que considérer la maintenance comme étant "utile, mais chère" est génératrice d'un coût non justifié pour l'entreprise et qu'il est plus avantageux de voir la maintenance comme étant une "source de profit et de compétitivité".

#### REFERENCES

- Ahlmann, H.R., 2002. From traditional practice to the new understanding: the significance of life cycle profit concept in the management of industrial enterprises. IFRIM Conference, Växjö Sweden.
- Aoudia, M., O. Belmokhtar and G. Zwingelstein, 2008. Economic impact of maintenance management ineffectiveness of an oil and gas company. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(3), p. 237-261.
- Aoudia, M., 2009. Life cycle based framework conception for costing and improving maintenance. *4th World Congress on Engineering Asset Management*, Athens, Greece.
- Arts, R.H.P.M., G.M. Knapp and L.J. Mann, 1998. Some aspects of measuring maintenance performance in the process industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 4(1), p. 6-11.
- Blanchard, B.S., 1997. An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(2), p. 69-80.
- Campbell, J.D., 1995. *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*, Productivity Press, Portland, OR.
- De Groote, P., 1995. Maintenance performance analysis : a practical approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(2), p. 4-24.
- Dhillon, B.S. and Y. Liu, 2006. Human error in maintenance: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(1), p. 21-36
- Dwight, R., 1999. Searching for real maintenance performance measures. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 5(3), p. 258-275.
- Kaplan, R.S. and D.P. Norton, 1992. The Balanced Scorecard-Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review*, January-February.
- Kutucuoglu, K.Y., J. Hamali, Z. Irani and J.M. Sharp, 2001. A framework for managing maintenance using performance measurement systems. *International Journal of operations & production management*, 21(1/2), p. 173-194.
- Murthy, D.N.P., A. Atrens and J.A. Eccleston, 2002. Strategic maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(4), p. 287-305.
- Parida, A., 2006. *Development of a multi-criteria Hierarchical Framework for Maintenance Performance Measurement: Concepts, Issues and Challenges*. Doctoral thesis, Lulea University of Technology.

Tsang, A.H.C., 1998. A strategic approach to managing maintenance performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 4(2), p. 87-94.

#### ABREVIATIONS

actua : Taux d'actualisation  
capilo : Coût pilotage annuel  
capla : Coût planification annuel  
cappilo : Capacité pilotage  
capplan : Capacité planification  
capprep : Capacité préparation  
caprep : coût préparation annuel  
carcom : Coût réalisation annuel Compression sud  
cared : Coût annuel réalisation élect. et autom. (\$)  
carele : Coût réalisation annuel élect. et autom.  
cart : Coût réalisation annuel turbomachine  
cartd : Coût annuel réalisation télémétrie en Dollar  
cartel : Coût réalisation annuel télémétrie  
cartur : Capacité réalisation turbomachine  
carturd : Coût annuel réalisation turbomachine en Dollar  
CCV : Coût de cycle de vie  
CCVEC : Coût Global Exploitation  
CCVMC : CCV de Maintenance de la Compression  
CCVMCA : CCVM actualisé  
CDITMC : Coût Direct Intangible Maintenance Compression  
CDITMCA : Coût Direct Intangible Maintenance Compression Actualisé  
CDMC : Coût Global Direct Maintenance Compression  
CDTM : Coût Direct Tangible Maintenance  
CDTMC : Coût Direct Tangible Maintenance Compression  
CDTMCA : Coût Direct Tangible Maintenance Compression Actualisé  
CEC : Coût Elimination  
chpilo : Coût horaire pilotage  
chplan : Coût horaire planification  
chprep : Coût horaire préparation  
chreal : Coût horaire réalisation  
CIDMC : Coût Global Indirect Maintenance Compression  
CIDTMA : Coût Indirect Tangible Maintenance Actualisé

CIDTMC : Coût Indirect Tangible Maintenance Compression  
CIDTMCA : Coût Indirect Tangible Maintenance Compression Actualisé  
CINVC : Coût Investissement  
CIDITMAC : Coût Indirect Intangible Maintenance Actualisé Compression  
CIDITMC : Coût Indirect Intangible Maintenance Compression  
coni : Coefficient de non injection  
crcomp : Capacité réalisation Compression sud  
crele : Capacité réalisation électrotechnique et automatique  
crtel : Capacité réalisation télémétrie  
impenvnp : Impact environnement non planifié  
impep : Impact environnement planifié  
imprgnp : Impact ressources gazières non planifié  
imprgrp : Impact ressources gazières planifié  
liss : Lissage exponentielle  
panpilo : Prix annuel pilotage  
panprep : Prix annuel préparation  
phpilo : Prix horaire pilotage  
phplan : Prix horaire planification  
phprep : Prix horaire préparation  
phreal : Prix horaire réalisation  
ppilo : Pourcentage de pilotage  
pplan : Pourcentage de planification  
pprep : Prix annuel préparation  
pug : Prix unité gaz  
qgninp : Quantité non injectée et non planifiée  
qgnip : Quantité non injectée et planifiée  
tanp : Temps arrêt non planifié  
taprg : Temps arrêt planifié révision générale  
taprp : Temps arrêt planifié révision partielle  
taugt : Taxe sur unité de gaz torché  
transf : Nombre d'heures Taux de transformation annuel  
txactua : Taux d'actualisation  
txcdit : Taux de coût direct intangible  
txcdt : Taux de coût direct tangible  
txchd : Taux de change DA/Dollar  
txcidit : Taux de coût indirect intangible  
txcidt : Taux de coût indirect tangible  
ut : Unité de temps  
uth : Unité temps horaire