

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL



THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mouloud AOUDIA

Ingénieur Génie Industriel, ENP

Magister en économie et statistique appliquée, INPS

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Génie Industriel

THEME

**Elaboration d'une approche d'aide au management stratégique de la
fonction maintenance**

Devant le jury composé de :

Président :	M. AIT ALI Mohand Ameziane	Pr ENP Alger
Examineurs :	M. AISSANI Djamil	Pr Université de Béjaïa
	M. BELKACEM NACER Azzedine	Pr ENSSEA Ben Aknoun
	M. RADJEF Mohammed Said	Pr Université de Bejaia
	Mme BENCHERIF Houria	MC ENP Alger
Directeur de thèse :	Mme BELMOKHTAR Oumhani	Pr ENP Alger
Co-Directeur de thèse :	M. ZWINGELSTEIN Gilles	Pr IUP GSI Paris 12

Année universitaire 2008/2009

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais exprimer mes plus profonds remerciements à ma directrice de thèse Madame Oumhani BELMOKHTAR (Professeur à l'ENP) pour m'avoir donné l'opportunité de travailler avec elle, je tiens particulièrement à lui témoigner ma sincère reconnaissance pour tout ce qu'elle m'a apporté durant des années, pour sa continuelle disponibilité et ses précieux conseils et remarques qu'elle m'a donnés dans le cadre de la direction de cette thèse et pour toute la confiance qu'elle m'a témoigné.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à Monsieur le Professeur Gilles ZWINGELSTEIN (Professeur des Universités à Paris 12) pour m'avoir accueilli au sein du GSI IUP, d'avoir codirigé cette thèse et pour m'avoir fait confiance. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour toutes les discussions que nous avons pu avoir durant mes 18 mois de stage et pour ses remarques toujours pertinentes qui ont permis d'améliorer la qualité de mes travaux. Je ne peux pas oublier de remercier Monsieur Francis Vasse et Madame Cathy Madani qui m'ont aussi bien accueilli et intégré au sein de l'IUP de Lieusaint. Qu'ils soient tous assurés de ma plus profonde reconnaissance.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Mohand Ameziane AIT ALI (Professeur à l'ENP) pour avoir accepté d'être président de mon jury de thèse.

Je remercie Monsieur le Professeur Djamil AISSANI (Professeur à l'Université de Béjaia) de m'avoir fait l'honneur et le plaisir d'évaluer ce travail.

Mes sincères remerciements vont aussi à Monsieur le professeur Azzedine BELKACEM NACER (Professeur à l'ENSSEA) pour avoir accepté de juger ce travail.

Je suis également très reconnaissant envers Monsieur le professeur Mohammed Said RADJEF (Professeur à l'Université de Béjaia) qui m'a fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Je tiens aussi à remercier vivement Madame Houria BENCHERIF (Maitre de conférences à l'ENP) de m'avoir fait l'honneur et le plaisir d'examiner ma thèse.

Je remercie énormément Monsieur le Directeur de la maintenance de la région HMD (Sonatrach) de m'avoir permis de mener cette action de recherche dans le CIS. Je remercie tous le personnel de HMD qui de près ou de loin ont contribué à ce que ce travail se fasse.

Je suis également très reconnaissant envers mon ami Monsieur GHEZALI (Chef de Département, Sonatrach) qui m'a apporté une aide très précieuse sans laquelle je n'aurais sans doute jamais pu présenter ce travail.

Mes remerciements les plus loyaux vont également aux êtres qui me sont les plus chers : mes parents.

Merci enfin à Houria, mon épouse, pour son soutien, sa confiance et sa compréhension.

A la mémoire du professeur A. Ouabdesslam

A mon très cher fils Zakaria

ملخص: تملك الصيانة أهمية إستراتيجية خاصة في المؤسسات الكبيرة التي تمثل فيها نسبة معتبرة في ميزانية تسييرها. حتى يتمكن المسير من إتمام المهام التي توكل إليه بكل نجاح فإنه يحتاج إلى وسيلة لقياس الأداء و التي تسمح له بتقييم الوضعية الراهنة للصيانة و من التنبؤ لصيورتها و ذلك من أجل اتخاذ أحسن القرارات و في الأوقات المناسبة. إن الأعمال المنجزة في هذه الرسالة تتدرج في إطار دراسة و إنشاء و تطوير المقاربات الخاصة بتحسين الصيانة على المستوى الاستراتيجي. إن المقاربة الجديدة التي اقترحناها في هذه الرسالة يمكن استخدامها من قبل المسيرين على المستوى العالي ابتداء من فترة تصميم نظام الإنتاج ثم أثناء كل فترات استغلاله. إن المقاربة المقترحة تعطي للمسير وسيلة لاختيار إجراءات تحسين الصيانة الأكثر أهمية من حيث التقليل من تكلفة ثمن دورة الحياة لنظام الإنتاج. كذلك يمكن توسيع استخدام المقاربة المقترحة بحيث تشكل وسيلة فعالة من أجل وضع الميزانيات بطريقة اقتصادية مقارنة بالمقاربة الكلاسيكية. في دراسة الحالة اخترنا المركب الصناعي الجنوبي (حاسي مسعود، سوناطراك) من أجل اختبار المقاربة التي اقترحناها. في المرحلة الأولى لدراسة الحالة، قمنا بإجراء فحص للصيانة على مستوى الوحدات الخمسة التي تشكل المركب الصناعي. في المرحلة الثانية اعتمدنا على مقاربة (ديناميكية الأنظمة) من أجل محاكاة تكلفة دورة الحياة. لقد تبين لنا أن وحدة الضغط تمثل أهم نسبة في تكلفة الصيانة، لهذا السبب قمنا في الرحلة الثالثة، بتفصيل التكلفة الكلية للصيانة المرتبطة بهذه الوحدة من أجل إظهار مدى نفعية الأداة التي اقترحناها في اختيار مخطط تحسين الصيانة.

الكلمات الأساسية: تسيير الصيانة، قياس الأداء، تكلفة دورة الحياة، التحليل الوظيفي، ديناميكية الأنظمة، قطاع المحروقات.

Résumé : L'importance du management de maintenance, pour la survie de l'entreprise, est stratégique. 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. Les travaux effectués dans cette thèse s'inscrivent dans le cadre de l'étude et du développement des approches d'amélioration de la maintenance au niveau stratégique. La nouvelle approche que nous avons proposée, dans cette thèse, peut être utilisée par le top management dès la phase de conception du système de production et ensuite tout le long 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 de coût de cycle de vie (CCV) du système de production. En extension, cette approche peut constituer un outil efficace pour élaborer les budgets d'une manière plus rationnelle comparativement à l'approche classique. Nous avons choisi le Complexe Industriel Sud (Hassi Messaoud, Sonatrach) pour tester notre approche. Dans la première étape de l'étude de cas, nous avons réalisé un audit de la fonction maintenance au niveau des cinq unités de production qui composent le complexe. Dans la deuxième étape, nous avons utilisé l'approche "dynamique des systèmes" pour la simulation du CCV. L'unité de Compression, représente l'inducteur de CCV, pour cette raison nous avons détaillé, dans la troisième étape de l'application, le coût global de maintenance lié à cette unité en vue de montrer l'utilité de l'outil que nous avons élaboré dans le choix d'un plan d'amélioration de la maintenance.

Mots clés : Management de maintenance, Mesure de performance, Coût de Cycle de Vie, Analyse fonctionnelle, Dynamique des systèmes, Secteur des hydrocarbures.

Abstract: Maintenance function plays a strategic role, particularly in the large companies with a maintenance cost representing a significant part of their operational budgets. In order that the maintenance manager can achieve successfully the mission which is assigned to him, he needs to have tool which allows to him to evaluate the present situation and to estimate its evolution, in order to make the good decisions at the convenient periods. The work done in this dissertation is in line with the scope of the study and development of the approaches of the maintenance improvement at the strategic level. The new approach that we proposed, in this thesis, can be used by the top management from the beginning of the system design phase as well as all along its exploitation phase. More precisely, the approach suggested, provides to the manager an effective tool allowing him to choose the most significant improvements of maintenance function in terms of reduction in the life cycle cost (LCC) of the production system. In extension, this approach also, can be used as an effective tool to develop the budgets in a more rational way compared to the traditional approach. We chose the Complexe Industriel Sud (Hassi Messaoud, Sonatrach) to test our approach. In the first stage of the case study, we carried out an audit of the maintenance function in the five manufacturing units which make up the complex. In the second stage, we used "system dynamics" approach for the simulation of the LCC. The unit of Compression, represents the LCC inductor, for this reason, we detailed in the third stage of the practice, the total cost of maintenance related to this unit in order to show the utility of the tool which we elaborated, in the development of the maintenance improvement plan.

Key words: Maintenance Management, Performance measurement, Life cycle cost, Functional analysis, System dynamics, Oil industry.

Sommaire

Sommaire

Liste des Figures.....	2
Liste des Tableaux.....	7
Liste des abréviations.....	10
Introduction générale.....	19

Première partie : Etat de l'art

Chapitre 1 : Concepts, cadres et dimensions stratégiques du management de maintenance

1.1. Mission du management de maintenance.....	25
1.1.1. Définition du management de maintenance.....	25
1.1.2. Facteurs de succès du management de maintenance.....	28
1.1.3. Complexité du management de maintenance.....	31
1.2. Cadres du management de maintenance.....	32
1.2.1. Management total de maintenance.....	32
1.2.1.1. Le management de maintenance.....	33
1.2.1.2. Opérations de maintenance.....	33
1.2.1.3. Gestion des équipements.....	34
1.2.2. L'approche holistique du management de maintenance.....	35
1.2.3. Approche de management stratégique de la maintenance.....	38
1.2.4. Autres cadres.....	42
1.3. Dimensions stratégiques du management de maintenance.....	42
1.3.1. Externalisation de la fonction de maintenance.....	43
1.3.1.1. Raisons d'externalisation de la maintenance.....	43
1.3.1.2. Approche générale d'externalisation.....	44
1.3.1.3. Avantages et risques liés à l'externalisation de la maintenance.....	45
1.3.1.4. Types de contrats d'externalisation de la maintenance.....	46
1.3.2. Organisation et structure du travail.....	48
1.3.2.1. Les niveaux de maintenance.....	48
1.3.2.2. Localisation de la main d'œuvre de la maintenance.....	50
1.3.2.3. Spécialisation.....	52
1.3.3. Méthodologie de maintenance.....	53
1.3.3.1. Maintenance corrective.....	54
1.3.3.2. Maintenance préventive.....	55
1.3.3.3. Maintenance basée sur la fiabilité.....	57
1.3.3.4. Maintenance productive totale.....	58
1.3.4. Systèmes de soutien.....	59
1.3.4.1. Facteurs humains.....	59
1.3.4.2. Flux d'information.....	59
1.4. Conclusion.....	60

Chapitre 2 : Mesure de performance de la maintenance

2.1. La théorie de mesure de performance.....	63
2.1.1. Système de mesure de performance.....	63
2.1.2. Cadres pour la conception des systèmes de mesure de performance.....	65
2.1.2.1. Balanced Scorecard.....	66
2.1.2.2. Prisme de performance.....	68
2.1.2.3. Matrice de performance.....	68
2.1.2.4. Cadre des résultats et des déterminants.....	69
2.1.2.5. Cadre basé sur le temps.....	69
2.1.2.6. Cadre de Brown.....	70
2.1.2.7. Pyramide de performance.....	70
2.1.2.8. Quality Management's Business Excellence Model.....	71
2.1.2.9. Autres cadres.....	72
2.1.3. Processus de conception du système de mesure de performance.....	72
2.2. Mesure de performance pour la fonction de maintenance.....	77
2.2.1. Les indicateurs individuels de performance en maintenance.....	77
2.2.2. Classification des indicateurs de performance de maintenance.....	79
2.2.2.1. Classification selon l'horizon du temps.....	79
2.2.2.2. Classification selon le domaine d'intérêt.....	79
2.2.2.3. Classification selon l'efficacité.....	80
2.2.2.4. Classification des mesures de performance selon l'utilisation.....	80
2.2.3. Approches de Mesure de performance de maintenance.....	81
2.2.3.1. Approche d'audit de la qualité de maintenance.....	81
2.2.3.2. Approche d'évaluation de l'incident.....	85
2.2.3.3. Approche de la Balanced Scorecard.....	91
2.2.3.4. Quality Function Deployment.....	94
2.2.3.5. Cadre hiérarchique et multicritère.....	97
2.3. Conclusion.....	100

Deuxième partie : Elaboration de l'approche

Chapitre 3 : Approche du coût de cycle de vie

3.1. Aperçu sur le coût de cycle de vie.....	104
3.1.1. Cycle de vie d'un bien.....	104
3.1.1.1. Avant projet.....	107
3.1.1.2. Conception et développement.....	107
3.1.1.3. Production et/ou construction.....	108
3.1.1.4. Exploitation et maintenance.....	109
3.1.1.5. Retrait du système.....	109
3.1.2. Définition du coût de cycle de vie.....	109
3.1.2.1. Composantes du coût de cycle de vie.....	109
3.1.2.2. Importance de la conception dans le coût de cycle de vie.....	111
3.2. L'analyse de coût de cycle de vie.....	113

3.2.1. Domaines d'application de l'analyse du coût de cycle de vie.....	113
3.2.2. Processus d'analyse de coût de cycle de vie.....	115
3.2.2.1. Conception d'un nouveau système.....	117
3.2.2.2. Amélioration continu d'un système existant.....	118
3.2.2.3. Analyse fonctionnelle.....	119
3.2.2.4. Structure de décomposition des tâches.....	122
3.2.2.5. Méthodes d'estimation de coût.....	125
3.2.2.6. Profils de coût.....	126
3.2.2.7. Analyse de sensibilité.....	126
3.3. Le coût global de la maintenance.....	127
3.3.1. La maintenance pour tout le cycle de vie d'un système.....	127
3.3.2. Importance du costing de maintenance.....	129
3.3.3. Classification des coûts de maintenance.....	131
3.3.4. Estimation des coûts de maintenance.....	133
3.3.5. Modèle d'estimation des coûts de maintenance basé sur l'ABC.....	134
3.3.5.1. Éléments de coût standard d'un travail programmé de maintenance..	134
3.3.5.2. Éléments de coût réel d'un travail de maintenance programmée.....	137
3.3.5.3. Variation de coût.....	138
3.4. Conclusion.....	140
 Chapitre 4 : Conception d'un cadre basé sur le coût de cycle de vie pour l'amélioration de la fonction maintenance	
4.1. Modélisation systémique de la maintenance.....	142
4.1.1. Processus de pilotage du système.....	145
4.1.2. Processus d'exploitation du système.....	145
4.1.3. Processus de maintenance du système.....	148
4.1.3.1. Pilotage de la maintenance.....	150
4.1.3.2. Planification de la maintenance.....	152
4.1.3.3. Programmation de maintenance.....	153
4.1.3.4. Réalisation des travaux de maintenance.....	154
4.1.3.5. Processus de fourniture de ressources pour la maintenance.....	155
4.2. Modélisation du coût global de maintenance.....	157
4.2.1. Estimation du coût direct de la maintenance.....	161
4.2.1.1. Estimation du coût tangible de maintenance.....	161
4.2.1.2. Estimation et distribution du coût intangible.....	170
4.2.2. Estimation du coût indirect de la maintenance.....	172
4.3. Processus d'amélioration de fonction maintenance.....	174
4.3.1. Estimation du CCV.....	176
4.3.2. Identifier les éléments critiques dans la détermination du CCV.....	176
4.3.3. Tracer un plan d'amélioration de la performance du système.....	177
4.3.4. Estimer ou mettre à jour le "coût de cycle de vie minimum" (CCV*).....	178
4.3.5. Réaliser le plan d'amélioration et suivre les éléments critiques.....	178
4.4. Conclusion.....	181

Troisième partie : Application

Chapitre 5 : Audit de la fonction maintenance

5.1. Le contexte du management de maintenance.....	185
5.1.1. Mission de la Direction maintenance.....	186
5.1.2. Relation de la DM avec les autres structures.....	187
5.1.3. Organisation de la DM.....	188
5.1.4. Politique de maintenance.....	189
5.1.5. Contraintes de maintenance.....	189
5.1.5.1. Degré d'interconnexion et d'interdépendance entre les unités.....	189
5.1.5.2. Nombre important d'équipements.....	192
5.1.5.3. Nombre important de constructeurs.....	192
5.1.5.4. Nombre important des stocks.....	192
5.2. Indicateurs de dysfonctionnement de maintenance.....	192
5.2.1. Taux de disponibilité.....	193
5.2.2. Taux d'utilisation.....	195
5.2.3. Taux de productivité.....	195
5.2.4. Nombre de programmes de maintenance annulés.....	196
5.2.5. Taux de Maintenabilité.....	199
5.2.6. Ecart entre le délai de révision programmé et réalisé.....	200
5.2.7. Nombre d'accident de travail.....	204
5.2.8. Quantité de gaz torché.....	205
5.2.9. Effort Formation non ciblée.....	206
5.3. Diagnostic du système de maintenance existant.....	207
5.3.1. Questionnaire.....	207
5.3.2. Collecte d'information.....	208
5.3.3. Résultats.....	208
5.4. Recommandations.....	215
5.5. Conclusion.....	217

Chapitre 6 : Evaluation économique et simulation

6.1. Estimation du CCV de maintenance du CIS.....	221
6.1.1. Estimation des coûts tangibles de maintenance.....	221
6.1.2. Simulation du Coût tangible de maintenance.....	225
6.1.3. Estimation des coûts intangibles de maintenance.....	228
6.1.3.1. Impact sur le coût de production.....	228
6.1.3.2. Impact sur le revenu.....	228
6.1.3.3. Impact sur les ressources naturelles.....	229
6.1.3.4. Taxes relatives à l'environnement.....	229
6.1.4. Simulation du coût intangible de maintenance.....	229
6.2. Estimation du CCV de la Compression.....	234
6.2.1. Composantes du CCV de l'unité de Compression.....	235
6.2.1.1. Coût d'acquisition d'une station.....	236

6.2.1.2. Coût de maintenance.....	237
6.2.2. Etude descriptive du temps de bon fonctionnement.....	238
6.2.3. Ajustement des temps de bon fonctionnement.....	241
6.2.4. Etude descriptive du temps d'arrêt.....	247
6.2.5. Ajustement des temps d'arrêt.....	248
6.2.6. Causes des arrêts non planifiés.....	252
6.2.7. Régression de la quantité de gaz non injecté.....	253
6.2.8. Simulation du CCV de la Compression.....	257
6.3. Conclusion.....	262
Conclusion générale.....	265
Bibliographie.....	269
Annexes	
Annexe A.....	277
Annexe B.....	287

Liste des Figures

Liste de Figures

Figure 1.1	La maintenance comme processus de soutien
Figure 1.2	Modèle d'entrée – sortie pour le système d'entreprise
Figure 1.3	Rôle de la maintenance dans la maximisation du profit
Figure 1.4	Ingrédients du management efficace de maintenance
Figure 1.5	Cycle de maintenance
Figure 1.6	Input managérial
Figure 1.7	Ordre d'implémentation
Figure 1.8	Les éléments principaux de la SMM
Figure 1.9	L'amélioration continue en maintenance
Figure 1.10	Système de management de maintenance
Figure 1.11	Trois types de base des contrats de maintenance
Figure 1.12	Systèmes centralisés et décentralisés
Figure 1.13	Organisation semi centralisée de la maintenance
Figure 1.14	Différents types de maintenance
Figure 1.15	Processus d'une maintenance corrective
Figure 2.1	Balanced Scorecard
Figure 2.2	La BSC relie les objectifs stratégiques aux actions de court terme
Figure 2.3	Prisme de Performance
Figure 2.4	Matrice de mesure de performance
Figure 2.5	Cadre de Brown
Figure 2.6	Pyramide de performance de Lynch et Cross
Figure 2.7	Quality Management's Business Excellence Model
Figure 2.8	Définition générique des indicateurs de performance
Figure 2.9	Illustration de la définition générique
Figure 2.10	Méthodologie d'audit de maintenance
Figure 2.11	Illustration des processus de base dans l'approche de Dwight
Figure 2.12	Processus du management stratégique de la performance de maintenance
Figure 2.13	Identification et alignement des KPI
Figure 2.14	Sélection des indicateurs spécifiques d'unité de mesure
Figure 2.15	Mesure et évaluation
Figure 2.16	Efficacité totale de la maintenance
Figure 2.17	Liaison entre les différents MPI et les critères
Figure 3.1	Quelques modèles de courbe de vie de bien
Figure 3.2	Phases de cycle de vie d'un système
Figure 3.3	Iceberg du coût de cycle de vie
Figure 3.4	Postes de coûts
Figure 3.5	Allure des dépenses pendant la durée de vie d'un produit
Figure 3.6	Possibilité d'influencer la conception en fonction du cycle de vie
Figure 3.7	Le processus d'analyses du coût de cycle de vie
Figure 3.8	Les étapes majeures dans la conception et le développement d'un système
Figure 3.9	Exemple de diagramme de bloc fonctionnel
Figure 3.10	Diagramme de bloc fonctionnel pour le système de fabrication
Figure 3.11	Identification des exigences en ressources par fonction

Figure 3.12	Exemple de structure sommaire de décomposition des tâches
Figure 3.13	Développement de structure de décomposition des tâches (partiel)
Figure 3.14	Intégration organisationnelle avec la WBS
Figure 3.15	Estimation des coûts par phase du programme
Figure 3.16 (a)	Turbine à aubes pour Rolls-Royce PLC (USA)
Figure 3.16 (b)	Hélicoptère
Figure 3.16 (c)	Industrie automobile : voiture
Figure 3.16 (d)	Centrale nucléaire
Figure 3.17	Décomposition du coût de maintenance
Figure 4.1	Contexte de fonctionnement du système
Figure 4.2	Processus principaux du système
Figure 4.3	Processus de pilotage du système
Figure 4.4	Processus d'exploitation du système
Figure 4.5	Les sous processus de maintenance
Figure 4.6	Amélioration continue du processus de maintenance
Figure 4.7	Sous processus de pilotage de maintenance
Figure 4.8	Processus de planification de maintenance
Figure 4.9	Processus de programmation de maintenance
Figure 4.10	Sous processus de réalisation de maintenance
Figure 4.11	Sous processus de fourniture des ressources pour la maintenance
Figure 4.12	Maintenance prévue et maintenance imprévue
Figure 4.13	Décomposition du coût de maintenance
Figure 4.14	Processus d'amélioration continue de la fonction maintenance
Figure 5.1	Directions de la région HMD
Figure 5.2	Interaction de la DM avec les autres structures de HMD
Figure 5.3	Organigramme de la DM
Figure 5.4	Relations entre les Départements de la Direction Maintenance
Figure 5.5	Schéma synoptique du CIS
Figure 5.6	Différents temps du système
Figure 5.7	Nombre d'IC programmées et réalisées
Figure 5.8	Nombre de RP programmées et réalisées
Figure 5.9	Nombre d'IM programmées et réalisées
Figure 5.10	Nombre de RG programmées et réalisées
Figure 5.11	Nombre de révisions programmées et réalisées des APG
Figure 5.12	Décomposition du MTBF
Figure 5.13	Distribution de l'utilisation du personnel
Figure 5.14	Planning des tâches d'une révision de type IC
Figure 5.15	Evolution du nombre d'accident de travail au CIS
Figure 5.16	Evolution de la quantité de gaz associés torchés de 1980 à 2003 à SH
Figure 5.17	Effort de formation en H/h
Figure 5.18	Scores de l'unité Traitement
Figure 5.19	Scores de l'unité Satellites
Figure 5.20	Scores de l'unité GPL1
Figure 5.21	Scores de l'unité GPL2
Figure 5.22	Scores de l'unité Compression
Figure 6.1	Coût d'une heure de capacité du processus de maintenance
Figure 6.2	Diagramme du Coût tangible (direct) actualisé
Figure 6.3	Diagramme du Coût tangible (indirect) actualisé
Figure 6.4	Coût tangible (direct) de la maintenance
Figure 6.5	Coût tangible (indirect) de la maintenance

Figure 6.6	Coût tangible de maintenance
Figure 6.7	Diagramme du Coût intangible (direct) actualisé
Figure 6.8	Diagramme du Coût intangible (indirect) actualisé
Figure 6.9	Coût intangible (direct) de la maintenance
Figure 6.10	Coût intangible (indirect) de la maintenance
Figure 6.11	Coût intangible de la maintenance
Figure 6.12	CCV de la maintenance
Figure 6.13	Décomposition du coût de maintenance selon l'approche proposée
Figure 6.14	Coût direct de la maintenance
Figure 6.15	Coût indirect de la maintenance
Figure 6.16	Section de Compression Haute Pression
Figure 6.17	Section de Compression Basse Pression
Figure 6.18	La moyenne du temps de bon fonctionnement + ou - 2 fois l'écart type
Figure 6.19 (a)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 2
Figure 6.19 (b)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 3
Figure 6.19 (c)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 4
Figure 6.19 (d)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 5
Figure 6.19 (e)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 6
Figure 6.19 (f)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 7
Figure 6.19 (g)	Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 8
Figure 6.20 (a)	Graphe Q-Q Weibull de T (anciennes stations)
Figure 6.20 (b)	Graphe Q-Q Weibull de T détrendée (anciennes stations)
Figure 6.20 (c)	Graphe P-P Weibull de T (anciennes stations)
Figure 6.20 (d)	Graphe P-P Weibull T détrendée (anciennes stations)
Figure 6.20 (e)	Graphe Q-Q Gamma de T (anciennes stations)
Figure 6.20 (f)	Graphe Q-Q Gamma détrendée de T (anciennes stations)
Figure 6.20 (g)	Graphe P-P Gamma de T (anciennes stations)
Figure 6.20 (h)	Graphe P-P Gamma détrendée de T (anciennes stations)
Figure 6.21	Fonction de fiabilité (anciennes stations)
Figure 6.22	Fonctions de taux de défaillance (anciennes stations)
Figure 6.23	La moyenne du temps d'arrêt + ou - 2 fois l'écart type
Figure 6.24 (a)	Graphe Q-Q Weibull de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (b)	Graphe Q-Q Weibull détrendée de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (c)	Graphe P-P Weibull de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (d)	Graphe P-P Weibull détrendée de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (e)	Graphe Q-Q Gamma de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (f)	Graphe Q-Q Gamma détrendée de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (g)	Graphe P-P Gamma de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.24 (h)	Graphe P-P Gamma détrendée de \bar{T} (anciennes stations)
Figure 6.25 (a)	Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 9
Figure 6.25 (b)	Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 10
Figure 6.25 (c)	Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 11
Figure 6.25 (d)	Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 12
Figure 6.26 (a)	Test de normalité des erreurs de régression (Station 09)
Figure 6.26 (b)	Test de normalité des erreurs de régression (Station 10)
Figure 6.26 (c)	Test de normalité des erreurs de régression (Station 11)
Figure 6.26 (d)	Test de normalité des erreurs de régression (Station 12)
Figure 6.27	Diagramme de vérification du temps total
Figure 6.28	Diagramme du Coût direct (tangible et intangible) actualisé

Figure 6.29	Diagramme du Coût indirect (tangible et intangible) actualisé
Figure 6.30	Diagramme du CCV actualisé de Compression
Figure 6.31	Coût direct de maintenance de Compression
Figure 6.32	Coût indirect de maintenance de Compression
Figure 6.33	CCV de maintenance de Compression
Figure 6.34	Impact de l'amélioration sur le CCV de maintenance de Compression
Figure 6.35	Exemple de l'impact d'un scénario d'amélioration

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Indice de complexité du management de maintenance
Tableau 2.1	Dimensions multiples de la performance industrielle
Tableau 2.2	Cadre des résultats et des déterminants
Tableau 2.3	Cadre pour la concurrence basée sur le temps
Tableau 2.4	Tests de conformité des indicateurs de performance
Tableau 2.5	Développement de la Balanced Scorecard
Tableau 2.6	Paramètres de performance de la maintenance par catégorie de mesure
Tableau 2.7	Attributs de défaillance
Tableau 2.8	Détermination de $C_{rel}FA_i$
Tableau 2.9	Activités génériques du système de maintenance
Tableau 2.10	KPI d'une compagnie de transmission et de distribution d'électricité
Tableau 2.11	Cadre hiérarchique et multicritère pour la mesure de performance
Tableau 3.1	Feuille du coût de travail de maintenance programmée
Tableau 3.2	Feuille des activités de soutien
Tableau 3.3	Feuille des activités réelles de soutien
Tableau 4.1	Distribution des ressources allouées à la maintenance
Tableau 4.2	Décomposition des coûts de maintenance directs/indirects
Tableau 4.3	Décomposition des coûts de maintenance traçables/non traçables
Tableau 4.4	Postes du coût direct de maintenance
Tableau 4.5	Calcul du coût indirect de maintenance
Tableau 4.6	Ecart dans l'évolution coût de cycle de vie
Tableau 5.1	Temps caractéristiques (heures)
Tableau 5.2	Disponibilité
Tableau 5.3	Taux d'utilisation
Tableau 5.4	Productivité
Tableau 5.5	Distribution de la perte en productivité
Tableau 5.6	Travaux programmés et réalisés de la phase démontage
Tableau 5.7	Travaux programmés et réalisés de la phase inspection
Tableau 5.8	Travaux programmés et réalisés de la phase remontage
Tableau 5.9	Distribution des accidents de travail selon les structures
Tableau 5.10	Causes principales des accidents de travail de DM
Tableau 5.11	Classement des axes d'audit selon des scores obtenus
Tableau 6.1	Distribution du coût tangible
Tableau 6.2	Coût d'une heure de capacité du processus de pilotage
Tableau 6.3	Coût d'une heure de capacité du processus de planification
Tableau 6.4	Coût d'une heure de capacité du processus de préparation
Tableau 6.5	Coût d'une heure de capacité du processus de réalisation (M. Centrale)
Tableau 6.6	Coût d'une heure de capacité du processus de réalisation (Compression)
Tableau 6.7	Coût d'une heure de capacité du processus de réalisation (CINA)
Tableau 6.8	Coût d'une heure de capacité du processus de réalisation (CIS)
Tableau 6.9	Coût d'investissement des nouvelles stations (2001)
Tableau 6.10	Coût d'équipement pour une seule station (2001)
Tableau 6.11	Caractéristiques des données des anciennes stations
Tableau 6.12	Caractéristiques des données des nouvelles stations
Tableau 6.13	Percentiles des temps de bon fonctionnement (heures)
Tableau 6.14	Paramètres d'échelle et de forme des différentes stations
Tableau 6.15	Percentiles des temps d'arrêt des stations 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8

Tableau 6.16	Nature des pannes des anciennes stations
Tableau 6.17	Distribution des temps d'arrêts par cause et par année
Tableau 6.18	Résultat de la régression linéaire simple

Liste des Abréviations

Chapitre 1

AFNOR	Association Française de Normalisation
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et Criticités
DR	Degré de Réalisation
EN	Norme Européenne
e-CBM	e-Condition Based Maintenance
e-CMMS	e-Computerised Maintenance Management System
FP.	Facteur de Pertinence
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité
MESA	Société d'engineering de maintenance en Australie
MP	Maintenance Préventive
MTBF	Mean Time Between Failure (temps moyen entre deux défaillances)
MTTR	Mean Time to Repair (temps moyen de reparation)
RERMG	Reliability Engineering and Risk Management Group
SMM	Strategic Maintenance Management.
TMM	Total Maintenance Management (Management Total de Maintenance)
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management

Chapitre 2

ABC	Activity Based Costing
AMDE	Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
BSC	Balanced Scorecard
EDP	Electronic Data Processing
CIMS	Influence totale du système de maintenance sur le succès de l'organisation
$C_{rel}SA_k$	Coefficient d'influence de l'activité k du système de maintenance
$C_{rel}FA_iOG_j$	Corrélation entre les attributs de défaillance i et les buts j de l'organisation
$C_{rel}OG_j$	Corrélation entre les buts j et le succès global de l'organisation
$C_{rel}FA_i$	Corrélation entre l'attribut de défaillance i et les buts particuliers de l'organisation
$C_{rel}SA_kFA_i$	Contribution relative de l'activité k du système à l'attribut de défaillance i
FA_i	Attribut de défaillance
KPI	Key Performance Indicator (Indicateur principal de performance)
MPI	Maintenance Performance Indicator (Indicateur de performance de maintenance)
OG_j	But j de l'organisation
P	Performance
PM	Performance Measurement (Mesure de Performance)
PSA_k	Performance dans l'activité k du système de maintenance
QFD	Quality Function Deployment
SWOT	Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces
$SPSA_k$	Norme de performance dans l'activité k du système de maintenance
V	Valeur ou cash-flow
V*	Meilleure valeur connue

Chapitre 3

BOM	Bill Of Materials (Factures des matières)
CBS	Cost Breakdown Structure (Structure de décomposition des coûts)
CCV	Coût de Cycle de Vie
CER	Cost Estimation Relations (Relations d'estimation de coût)
CGP	Coût Global de Possession
CWBS	Contract Work Breakdown Structure (Structure de décomposition des tâches de contrat)
JWFS	Job Work Flow Sheet (Feuille de flux de travail)
LCC	Life Cycle Cost
MRF	Formulaire de commande de matières
PMJCS	Panneau de la feuille des coûts du travail de maintenance programmée
SWBS	Summary Work Breakdown Structure (Structure sommaire de décomposition des tâches)
TCO	Total Cost Ownership
WBS	Work Breakdown Structure (Structure de décomposition des tâches)

Chapitre 4

IDEF0	Integrated Definition Function Model
CD_{MAIN}	Coût direct de maintenance
CID_{MAIN}	Coût indirect de maintenance
$CT(j_k)$	Coût tangible de la tâche de maintenance j réalisée sur l'élément k
$CIT(j_k)$	Coût intangible de la tâche de maintenance j réalisée sur l'élément k
CIT	Coût intangible de maintenance
CIT_1	Impact du processus de maintenance sur la production/exploitation
CIT_2	Impact du processus de maintenance sur la qualité
CIT_3	Impact du processus de maintenance sur l'environnement
C_{COM}	Coût global de passation de commande
C_{CONT}	Montant du contrat de maintenance
C_{ELI}	Coût d'élimination du système
C_{EXP}	Coût d'exploitation
$C_{EXP}(j_k)$	Coût d'exploitation engagé sans aucune contrepartie dû à j_k
$C_{EXPQ}(j_k)$	Coût d'exploitation engagé dans le redémarrage après réalisation de j_k
C_{EXPQ}	Coût d'exploitation (y compris le coût de matière consommée)
C_{GSTO}	Coût global de gestion des magasins et entrepôts
C_{INV}	Coût d'investissement
C_{MAIN}	Coût de maintenance
$C_{OPP}(j_k)$	Coût d'opportunité dû à l'indisponibilité du système causée par j_k
C_{OPPU}	Coût d'opportunité unitaire
$C_{OPPO}(j_k)$	Coût d'opportunité engendré par le redémarrage après réalisation de j_k
$C_{PILO}(k)$	Coût de pilotage de maintenance lié à l'élément k
$C_{PIND}(j_k)$	Coût d'une prestation extérieure individuelle pour réaliser j_k
$C_{PLAN}(k)$	Coût de planification de maintenance lié à l'élément k
$C_{PROG}(k)$	Coût de programmation de maintenance lié à l'élément k
$C_{PILO}(k)$	Coût de pilotage de maintenance lié à l'élément k
C_{PLAN}	Coût global du sous processus de planification
C_{PROG}	Coût global du sous processus de programmation

$C_{REAL}(k)$	Coût de réalisation de maintenance lié à l'élément k
$C_{RET}(j_k)$	Pénalité de retard de la livraison des produits causé par j_k
$C_{RETU}(k)$	Prix d'une unité de temps de retard causé par l'indisponibilité de k
$C_{RETQ}(j_k)$	Pénalité de retard engendrée par le redémarrage après réalisation de j_k
C_{STOC}	Coût global de stockage
$C_{41}(k)$	Coût de réalisation des travaux de maintenance sur l'élément k
$C_{42}(k)$	Coût de matière/pièce nécessaire pour maintenir l'élément k
$C_{46}(k)$	Coût de service externe lié à la maintenance de l'élément k
H_{PLAN}	Capacité pratique du sous processus de planification
H_{PROG}	Capacité pratique du sous processus de programmation
H_{COM}	Capacité de travail du personnel habilité à passer des commandes
H_{GSTO}	Capacité de travail du personnel gérant les magasins et entrepôts
H_{REAL}	Capacité pratique du processus de réalisation
H_{EXPL}	Capacité pratique d'exploitation
$i_k \in \{0, 1, \dots, I_k\}$	Identifiant d'une action i (préventive ou corrective) réalisée sur 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 i' (préventive ou corrective) réalisée sur k non prise en compte par un plan de maintenance tracé pour le système
$k \in \{1, \dots, K\}$	Identifiant d'un élément du système
$n(i_k)$	Nombre d'occurrence de l'action i_k pendant tout le cycle de vie
$n(i'_k)$	Nombre d'occurrence de l'action i'_k pendant tout le cycle de vie
$P(z_{j_k})$	Prix d'achat de la matière/pièce $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$
$r_{j_k} \in \{0, 1, \dots, R_{j_k}\}$	Pertes et émissions (non produits) qui peuvent être engendrés par j_k
S_{STOC}	Espace total de stockage
$S(z_{j_k})$	Espace réservé pour la matière/pièce z_{j_k}
T_{base}	Période de référence
$T_{COM}(z_{j_k})$	Temps nécessaire pour passer la commande de la matière/pièce z_{j_k}
T_{CONT}	Période du contrat
$T_{ESSAI}(j_k)$	Temps d'essai ou de redémarrage après la réalisation de j_k
$T_{INDIS}(j_k)$	temps d'indisponibilité dû à la maintenance
$T_{PLAN}(j_k)$	Temps nécessaire pour planifier j_k
$T_{PROG}(j_k)$	Temps nécessaires pour programmer ou reprogrammer j_k
$T_{REAL}(j_k)$	Temps nécessaire pour réaliser j_k
$T_{STOC}(z_{j_k})$	Période passée dans le magasin par la matière/pièce z_{j_k}
$T_{X_l}(j_k)$	Prix unitaire de l'action j_k réalisée par un corps de métier $l \in \{1, \dots, L\}$
$T_{X_{maj}(l)}$	Taux de majoration correspondant au corps de métier l
$T_{X_{Dépr}}(z_{j_k})$	Taux de dépréciation de la matière/pièce z_{j_k}
$X_1(j_k) =$	1 si l'action j_k est réalisée par le personnel interne, 0 sinon
$X_2(j_k) =$	1 si l'action j_k est réalisée pendant des heures supplémentaires, 0 sinon
$X_3(j_k) =$	1 si l'action j_k est réalisée selon une commande individuelle, 0 sinon
$z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$	Identifiant de matière consommée ou pièce utilisée par j_k
$\lambda(r_{j_k})$	Pourcentage du coût d'exploitation pour l'élimination de r_{j_k}
$\beta(k)$	Degré de criticité de l'élément k
$\alpha(k) \in [0, 1]$	Pourcentage de la production perdue suite à l'indisponibilité de k

Chapitre 5

APG	Programme de révision des appareils à pression de gaz
CINA	Complexe Industriel Nord (CINA)
CIS	Complexe Industriel Sud
DM	Direction Maintenance
DT	Direction Technique
GPL	Gaz pétrole liquéfié
HMD	Hassi Messaoud
HSE	Santé, Sécurité et Environnement (Health, Safety and Environment)
H/h	Homme/heure
IC	Inspection de la chambre de combustion
IM	Inspection Majeure
MB/j	Million de Baril par jour
MDT	Temps moyen d'indisponibilité ou d'arrêt propre (Mean down time)
MTEP	Million de Tonne Equivalent Pétrole).
MUT	Temps moyen de disponibilité effective (mean up time)
RP	Révision Partielle
RG	Révision Générale
SH	Sonatrach
TG	Turbine à gaz
TEP	Tonne Equivalent Pétrole
\$	Dollar Américain

Chapitre 6

actua	Taux d'actualisation
BP	Basse pression
capilo	Coût pilotage annuel
capla	Coût planification annuel
cappilo	Capacité pilotage
capplan	Capacité planification
capprep	Capacité préparation
caprep	coût préparation annuel
carcd	Coût annuel réalisation Compression sud en Dollar
carcom	Coût réalisation annuel Compression sud
cared	Coût annuel réalisation électrotechnique et Automatique en Dollar
carele	Coût réalisation annuel électrotechnique et automatique
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
CCVAct	Coût de cycle de vie actualisé
CCVEC	Coût Global Exploitation
CCVMC	CCV de Maintenance de la Compression
CCVMCA	CCV de Maintenance de la Compression Actualisé

CDITM	Coût Direct Intangible Maintenance
CDITMA	Coût Direct Intangible Maintenance Actualisé
CDITMC	Coût Direct Intangible Maintenance Compression
CDITMCA	Coût Direct Intangible Maintenance Compression Actualisé
CDM	Coût Global Direct Maintenance
CDMAct	Coût Global Direct Maintenance Actualisé
CDMC	Coût Global Direct Maintenance Compression
CDMCA	Coût Global Direct Maintenance Compression Actualisé
CDTM	Coût Direct Tangible Maintenance
CDTMA	Coût Direct Tangible Maintenance Actualisé
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
CIDITM	Coût Indirect Intangible Maintenance
CIDITMA	Coût Indirect Intangible Maintenance Actualisé
CIDITMAC	Coût Indirect Intangible Maintenance Actualisé Compression
CIDITMC	Coût Indirect Intangible Maintenance Compression
CIDM	Coût Global Indirect Maintenance
CIDMAct	Coût Global Indirect Maintenance Actualisé
CIDMC	Coût Global Indirect Maintenance Compression
CIDMCA	Coût Global Indirect Maintenance Compression Actualisé
CIDTM	Coût Indirect Tangible Maintenance
CIDTMA	Coût Indirect Tangible Maintenance Actualisé
CIDTMC	Coût Indirect Tangible Maintenance Compression
CIDTMCA	Coût Indirect Tangible Maintenance Compression Actualisé
CINVC	Coût Investissement
CITM	Coût Global Intangible Maintenance
CITMAct	Coût Global Intangible Maintenance Actualisé
CITMC	Coût Global Intangible Maintenance
cmotdan	Coût de main d'œuvre lié au coût tangible direct annuel
cmotina	Coût de main d'œuvre lié au coût tangible indirect annuel
coefnp	Coefficient de non-préparation
coefp	Coefficient de préparation
cohcomp	Coût h Compression
cohgpl1	Coût h gpl1
cohgpl2	Coût h gpl2
cohicomp	Coût h intervention Compression
cohigpl1	Coût h intervention gpl1
cohigpl2	Coût h intervention gpl2
cohisat	Coût h intervention satellites
cohitrai	Coût h intervention traitement
cohsat	Coût h satellite
cohscomp	Coût h structure Compression
cohsgpl1	Coût h structure gpl1
cohsgpl2	Coût h structure gpl2

cohssat	Coût h structure satellites
cohstrai	Coût h structure traitement
cohstru	Coût horaire de structure
cohtrai	Coût h traitement
coicomp	Coût intervention Compression
coigpl1	Coût intervention gpl1
coigpl2	Coût intervention gpl2
coisat	Coût intervention satellites
coitrai	Coût intervention traitement
coni	Coefficient de non injection
costru	Coût structure
coutep	Coût production d'une TEP
crcomp	Capacité réalisation Compression sud
crele	Capacité réalisation électrotechnique et automatique
crtel	Capacité réalisation téléométrie
ctdcomp	Coût tangible direct Compression
ctdgpl1	Coût tangible direct gpl1
ctdgpl2	Coût tangible direct gpl2
ctdmens	Coût tangible direct mensuel
ctdsat	Coût tangible direct satellite
ctdtrai	Coût tangible direct traitement
ctidcomp	Coût tangible indirect Compression
ctidgpl1	Coût tangible indirect gpl1
ctidgpl2	Coût tangible indirect gpl2
ctidsat	Coût tangible indirect satellite
ctidtrai	Coût tangible indirect traitement
ctindmens	Coût tangible indirect mensuel
CTM	Coût Global Tangible Maintenance
CTMAct	Coût Global Tangible Maintenance Actualisé
CTMC	Coût Global Tangible Maintenance
Dipo	Disponibilité
etanp	Ecart type arrêt non planifié
FDM	Fiabilité, Disponibilité et Maintenabilité
gazt	Gaz torché suite arrêt
HP	Haute Pression
impcp	Impact coût production
impenp	Impact environnement non planifié
impenvnp	Impact environnement non planifié
impep	Impact environnement planifié
impnprg	Impact non planifié ressources gazières
imppnpgpl1	Impact production non planifié gpl1
imppnpgpl2	Impact production non planifié gpl2
imppnptrai	Impact production non planifié traitement
imppp	Impact production planifié
impppgpl1	Impact production planifié gpl1
impppgpl2	Impact production planifié gpl2
imppptra	Impact production planifié traitement
impprg	Impact planifié ressources gazières
imprev	Impact revenue

imprevp	Impact revenu planifié
imprgnp	Impact ressources gazières non planifié
imprgp	Impact ressources gazières planifié
imprnpgpl1	Impact revenue non planifié gpl1
imprnpgpl2	Impact revenue non planifié gpl2
imprnptrai	Impact revenue non planifié traitement
imprpgpl1	Impact revenue planifié gpl1
imprpgpl2	Impact revenue planifié gpl2
imprptrai	Impact revenue planifié traitement
Injection09	Volume du gaz réellement injecté par la station 09
Injection10	Volume du gaz réellement injecté par la station 10
Injection11	Volume du gaz réellement injecté par la station 11
Injection12	Volume du gaz réellement injecté par la station 12
injhor	Injection horaire
liss	Lissage exponentielle
M\$	Million de Dollar Américain
maxtanp	Max temps arrêt non planifié
mintanp	Min temps arrêt non planifié
moytanp	Moyenne arrêt non planifié
nbh	Nombre heures
panpilo	Prix annuel pilotage
panplan	Prix annuel planification
panprep	Prix annuel préparation
phcomp	Pourcentage h Compression
phgpl1	Pourcentage h gpl1
phgpl2	Pourcentage h gpl 2
phor	Production horaire
phpilo	Prix horaire pilotage
phplan	Prix horaire planification
phprep	Prix horaire préparation
phreal	Prix horaire réalisation
phsat	Pourcentage h satellites
phtrai	Pourcentage h traitement
ppilo	Pourcentage de pilotage
pplan	Pourcentage de planification
pprep	Prix annuel préparation
pred	Pièce rechange direct
preind	Pièce rechange indirect
prodan	Production annuelle
prodgpl1	Pourcentage production gpl1
prodgpl2	Pourcentage production gpl2
prodtrai	Pourcentage production traitement
prtep	Prix TEP
pug	Prix unité gaz
qgninp	Quantité non injectée et non planifiée
qgnip	Quantité non injectée et planifiée
rg	Révision générale
rp	Révision partielle
S09hp	Durée d'arrêt de la section haute pression de la station 09

S10hp	Durée d'arrêt de la section haute pression de la station 10
S11hp	Durée d'arrêt de la section haute pression de la station 11
S12hp	Durée d'arrêt de la section haute pression de la station 12
SD	Ecart type
SC	Station de Compression
tanp	Temps arrêt non planifié
tanpcomp	Temps arrêt non planifié Compression
tanpgpl1	Temps arrêt non planifié gpl1
tanpgpl2	Temps arrêt non planifié gpl2
tanpsat	Temps arrêt non planifié satellite
tanptrai	Temps arrêt non planifié traitement
tapcomp	Temps arrêt planifié Compression
tapgpl1	Temps arrêt planifié gpl1
tapgpl2	Temps arrêt planifié gpl2
taprg	Temps arrêt planifié révision générale
taprp	Temps arrêt planifié révision partielle
tapsat	Temps arrêt planifié satellite
taptraï	Temps arrêt planifié traitement
taugt	Taxe sur unité de gaz torché
taxgt	Taxe gaz torché
tbf	Temps de bon fonctionnement
tm	Temps mois
trg	Temps pour rg
trp	Temps pour rp
TT	Temps Total
TTANP	Cumul Temps Arrêt Non Planifié
TTAP	Cumul Temps Arrêt Planifié
TTBF	Cumul Temps Bon Fonctionnement
txactua	Taux d'actualisation
txanp	Taux de temps arrêt non planifié
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
txrg	Taux de temps arrêt planifié rg
txrp	Taux de temps arrêt planifié rp
txtbf	Taux de temps de bon fonctionnement
ut	Unité de temps
uth	Unité temps horaire

Introduction générale

Introduction générale

La mission de la fonction maintenance au sein de l'entreprise n'est pas limitée seulement au plan technique qui consiste à accroître la durée de vie des équipements et à améliorer leur disponibilité et leur performance, elle a aussi d'autres missions économiques et sociales. Sur le plan économique, elle participe à la réduction du prix de revient des produits en minimisant les coûts des défaillances et contribue aussi à la diminution du coût global de possession des biens. Sur le plan social, l'apport de la maintenance à la diminution des risques d'accident est fondamental, en conséquence, son rôle est aussi important dans l'amélioration de la sécurité des personnes et des biens et la sauvegarde de l'environnement, ce qui améliore la qualité de travail au sein de l'entreprise.

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 éventuellement à son tour à une perte de production, perte d'une part de marché et une diminution du profit. 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. La réduction du coût de production est assurée par la diminution du coût direct et du coût indirect de la maintenance. Le coût direct de maintenance est réduit par l'augmentation de la vie utile des équipements et par la réduction du coût de main d'œuvre, des matières, des pièces de rechange, de l'énergie et des services externes utilisés pour réaliser les différentes tâches de maintenance. Le coût indirect de la maintenance qui est représenté par les pertes de production, est réduit par la diminution du temps d'arrêt imprévu des équipements.

Il est important que la performance de la fonction maintenance soit mesurée. Sans aucune mesure formelle de performance, il est difficile de contrôler et d'améliorer les résultats du processus de maintenance. Ainsi, la mesure de performance de la maintenance a le rôle d'aider le management en lui facilitant le contrôle et le suivi de la performance qui doit être alignée avec les objectifs et la stratégie de l'organisation, afin de prendre les décisions correctives opportunes.

La réponse à la question "comment mesurer la performance de la maintenance ?", n'est pas facile et la manière de construire un cadre de mesure de la performance de la maintenance n'est pas évidente pour les raisons suivantes :

- Les chercheurs ont mis beaucoup de temps pour démontrer que la maintenance est une fonction stratégique pour les entreprises.
- A la différence des autres domaines telles que la production ou la logistique, c'est seulement assez récemment que certaines approches scientifiques de la performance de la maintenance ont été entreprises (Pintelon and Puyvelde, 1997).
- La maintenance est une fonction de soutien de la production. Cela étant, les mérites et les imperfections du service rendu ne sont pas immédiatement évidents (effet de retard) (Pintelon and Puyvelde, 1997).
- La fonction de maintenance est elle-même complexe, ce n'est pas seulement les paramètres quantifiables qui sont considérés, mais également la qualité de la maintenance exécutée et son organisation (De Groote, 1995).
- Il est difficile de développer un rapport causal entre les décisions de management et le succès ou l'échec global du système réel de maintenance (Kutucuoglu *et al.*, 2001).

- Il y a toujours un manque de lien entre les objectifs de la maintenance et la stratégie de corporation globale des entreprises (Kutucuoglu *et al.*, 2001).
- La performance de maintenance perçue dépend également de la perspective appliquée. Ainsi, le top management est intéressé par le budget, les ingénieurs se concentrent sur les techniques, la production verra la performance en termes de disponibilité d'équipement, etc. (Pintelon and Puyvelde, 1997).

Certains auteurs qui ont traité ce sujet ont proposé des indicateurs pour mesurer la performance de la maintenance (Arts *et al.* (1998), Campbell (1995), Coetzee (1998), De Groot (1995), etc.). Tandis que d'autres auteurs ont fourni des approches de mesure de la performance (De Groot (1995), Dwight (1999), Tsang (1998), Kutucuoglu *et al.* (2001)). Cependant, la plupart de ces approches ont négligé la dimension économique de la maintenance (à l'exception de l'approche de mesure de l'incident), alors qu'elle constitue un souci majeur chez le top management. En effet, plusieurs auteurs affirment que, pour beaucoup d'industries à capital-intensifs, les coûts de maintenance représentent une partie significative du coût de fonctionnement. Par exemple, les dépenses annuelles de la maintenance pour l'Europe sont autour de 1500 milliards euros (€) (Parida, 2006) et de 20 milliards € par an, pour la Suède (Ahlmann, 2002). Blanchard (1997) signale qu'une étude menée en 1989 a montré que le coût de maintenance pour un groupe de compagnies sélectionnées, a atteint 600 milliards \$ en 1989 alors qu'il était 200 milliards \$ en 1979. Aussi, Dhillon and Liu (2006) indiquent que, chaque année, plus de 300 milliards \$ sont dépensés sur la maintenance des usines industriels aux USA et qu'environ 80% de cette somme est dépensée pour corriger les défaillances fréquentes des machines, des systèmes et des personnes. D'après Murthy *et al.* (2002), le coût annuel de la maintenance (corrective et préventive) dans l'industrie minière, s'élève à 40-50 % du budget de fonctionnement total (équivalent de 0,5 milliard \$ par année pour une grande firme minière). Cette proportion varie entre 20 et 30 % dans l'industrie du transport (Murthy *et al.*, 2002).

Les coûts cités précédemment, ne représentent que les coûts directs de la maintenance, qui sont donnés par les montants dépensés pour maintenir les systèmes techniques en état de bon fonctionnement. Les coûts indirects 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. Par exemple, dans l'industrie minière, le manque à gagner résultant de l'arrêt d'une dragline typique, est évalué à 0,5 - 1,0 M\$ (million de dollar américain) par jour. Dans le cas des opérations aériennes, la perte en revenu pour un avion Boeing 747 à l'arrêt est approximativement 0,5 M\$ par jour (Murthy *et al.*, 2002).

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. Par exemple, Sherwin (2000) a indiqué qu'une étude publiée en 1970 par The Ministry of Technology du Royaume Uni, a montré que plus de 3 milliards pounds (£) étaient dépensés chaque année par l'industrie manufacturière et qu'au moins 8 - 10 % de cette somme pouvait être épargnée seulement par des améliorations très élémentaires, comme la prévention contre la rouille par une peinture plus efficace. Un autre exemple est donné par Saranga (2002) qui affirme qu'en maintenance systématique, les coûts de réparation peuvent être réduits, mais les pertes en production peuvent croître considérablement, si l'équipement est complexe et que sa maintenance exige des jours ou des semaines pour être accomplie. Pour argumenter cette affirmation, Saranga (2002) a cité l'exemple de The Electric Power Research Institute, qui a rapporté qu'un tiers de l'argent dépensé sur la maintenance systématique dans

l'industrie de production d'énergie électrique (60 milliards \$) était perdu pendant l'année considérée. Cette perte pouvait être épargnée si la politique de maintenance adoptée était plus efficace et qui consistait à prévoir les défaillances et à arrêter l'équipement uniquement lorsque les réparations sont nécessaires.

Cette évaluation économique de la 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. En effet, Sherwin (2000) affirme que le langage préféré chez le top management est l'argent. Ainsi, les coûts et les valeurs de la maintenance dans la compagnie doivent être exprimés, par le biais d'une partie du système de management, en termes de cash flow (Sherwin, 2000).

Afin d'accomplir avec succès la mission qui lui est assignée, le manager de maintenance doit avoir une vision systémique et stratégique sur tous les éléments qui composent la fonction maintenance, ainsi que sur toutes les relations de cette dernière avec les autres fonctions de l'entreprise, particulièrement la fonction de production ou d'exploitation. Pour cela, il a besoin d'avoir à sa disposition des outils qui lui permettent d'évaluer la situation présente et de prévoir son évolution, dans le but de prendre les bonnes décisions aux moments opportuns. L'utilisation du langage des coûts est de nature à répondre à ce besoin.

Toutefois, l'application de ce langage sur le processus de maintenance (maintenance costing) ne doit pas être uniquement d'un intérêt historique mais aussi stratégique, il ne doit pas permettre une optimisation des ressources utilisées par le processus de maintenance uniquement mais une optimisation au niveau de toute l'entreprise, il ne doit pas s'arrêter à décrire la situation actuelle mais aussi à encourager l'amélioration continue et évidemment il doit être bien défini, simple et flexible. L'adoption par la "maintenance costing" du concept de Coût de Cycle de Vie (CCV), répond convenablement aux conditions citées précédemment.

Dans ce cadre, l'utilisation de l'approche CCV pour améliorer la maintenance est appropriée. D'une manière générale, la méthode d'analyse de CCV peut être implémentée dans la conception d'un nouveau système ou dans l'amélioration (réingénierie) d'un système existant. Dans le second cas il s'agit d'évaluer l'aptitude d'un système existant, avec l'objectif d'implémenter une approche d'amélioration continue tout en réduisant le CCV de ce système. Pour cela, il est nécessaire de définir les nouvelles exigences pour le système. Etant donné le nouvel ensemble d'exigences, il y a lieu d'évaluer la situation de départ (c'est-à-dire l'aptitude actuelle et ses coûts associés) et ensuite déterminer les étapes qui vont être nécessaires dans le but d'évoluer à partir de cette ligne de base initiale vers les buts nouveaux établis. L'identification des inducteurs de coût et leurs causes est une étape préalable aux recommandations nécessaires pour améliorer le système et son exploitation. Il s'agit d'un processus itératif continu (Blanchard, 1999).

Cependant, la difficulté majeure qui contraint l'application du concept de CCV à la "maintenance costing", est l'estimation des différents coûts qu'il comprend. Il s'ajoute à cette contrainte, le manque de travaux scientifiques sur la "maintenance costing", à l'exception des travaux de El Aoufir et *al.*, (2004), Mirghani (2001) et Mirghani (2003).

Dans ce cadre, le présent travail veut s'inscrire dans un processus d'amélioration continue des entreprises à travers la fonction de maintenance dont le rôle est vital. A partir de cela l'objectif recherché dans cette étude est de construire une approche d'aide au management

stratégique de la maintenance en vue de définir les actions d'amélioration du système maintenance les plus efficaces en termes de diminution du coût global de cycle de vie.

Ce travail de thèse devra répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les dimensions stratégiques de la maintenance ?
- Quelles sont les approches proposées en littérature pour mesurer la performance de la maintenance ?
- Quelle est l'approche appropriée pour le management stratégique de la maintenance ?
- Comment construire cette approche ?
- Comment valider cette approche ?

Cette thèse est structurée en trois parties. La première partie qui présente l'état de l'art est elle même divisée en deux chapitres. Le premier chapitre décrit les principaux concepts et les dimensions stratégiques liés au management de maintenance. Le deuxième chapitre présente les cadres de mesure de performance proposés en littérature et plus particulièrement les approches de mesure de performance propre à la maintenance. La deuxième partie (chapitre 3 et 4) propose une nouvelle approche basée sur le CCV pour l'amélioration stratégique de la maintenance. Dans le chapitre 3, nous présentons l'approche d'analyse du CCV comme étant une approche d'amélioration en plus d'être une approche d'évaluation. Le chapitre 4, concerne la modélisation de l'approche que nous proposons pour aider le management à améliorer le fonctionnement de la maintenance au niveau stratégique. La dernière partie est consacrée à l'application. Cette partie contient, elle aussi, deux chapitres 5 et 6. Le chapitre 5 présente la validation de la première étape de l'approche que nous proposons dans cette thèse, à travers l'audit de la maintenance. Le chapitre 6, présente l'application de la deuxième et la troisième étape de l'approche proposée pour concevoir un plan d'amélioration de maintenance basé sur le coût global de la maintenance. Enfin la conclusion fait la synthèse et met en évidence la contribution de ce travail de recherche.

Première partie
Etat de l'art

Chapitre 1

Chapitre 1

Concepts, cadres et dimensions stratégiques du management de maintenance

Le management de maintenance a profondément changé au cours du dernier siècle. Jusqu'aux environs de 1940, la maintenance a été considérée comme étant un coût inévitable et la seule maintenance existante était la corrective. Elle n'était pas prise en considération à la conception des systèmes de production et son impact sur la performance du système et de l'entreprise ne bénéficiait pas d'une grande importance. L'évolution de la recherche opérationnelle et de ses applications pendant la deuxième guerre mondiale et son utilisation ensuite dans l'industrie ont mené à l'utilisation répandue de la maintenance préventive.

Dans les années 80, la fiabilité a donné naissance à l'approche MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité), qui dirige les efforts de maintenance vers les composants dont la fiabilité est critique, ensuite est apparu l'approche TPM (Total Productive Maintenance) qui est basée sur la résolution des problèmes de maintenance en utilisant la méthode des cercles de qualité. Depuis lors, le management de maintenance n'a pas cessé d'attirer l'attention de plusieurs chercheurs, qui reconnaissent que la maintenance est un contribuant important à la performance des entreprises et doit ainsi être géré d'une manière stratégique (Tsang, 2002 ; Dwight, 1999 ; Madu, 2000 ; Raouf, 1994 ; Gits, 1994 ; Duffuaa and Ben-Daya, 1995 ; Ben-Daya and Duffuaa, 1995 ; Riis *et al.*, 1997) et plus particulièrement, dans les grandes entreprises avec des investissements lourds et avec un coût de maintenance représentant une partie significative de leurs budgets de fonctionnement.

L'objet principal de ce chapitre est, dans la première section, d'aborder les concepts de base qui entourent le management de maintenance, ensuite de présenter, dans la deuxième section, les principaux cadres théoriques proposés pour sa description et enfin d'identifier les différentes dimensions stratégiques du management de maintenance, dans la troisième section.

1.1. Mission du management de maintenance

Nous rappelons dans cette section quelques définitions liés à la maintenance en général, et en particulier le rôle du management de maintenance dans la bonne conduite d'une entreprise. Aussi, nous évoquons les facteurs qui déterminent le succès et la complexité du management de maintenance.

1.1.1. Définition du management de maintenance

Chaque processus de production se sert d'un ou de plusieurs systèmes techniques (usine, machine, équipement, etc.) pour transformer des inputs (matières, énergie et main d'œuvre) en output (produit désiré). Un système technique est une collection d'éléments physiques avec une fonction spécifique. Le processus de maintenance doit maintenir chaque système technique, du processus de production, en conditions de fonctionnement considérées

appropriées pour l'accomplissement de sa fonction désirée afin de satisfaire les exigences du processus de production. Ce rôle est illustré par la Figure 1.1, qui montre que tout processus de production a besoin d'un processus de maintenance pour maintenir sa capacité de production dans un niveau satisfaisant.

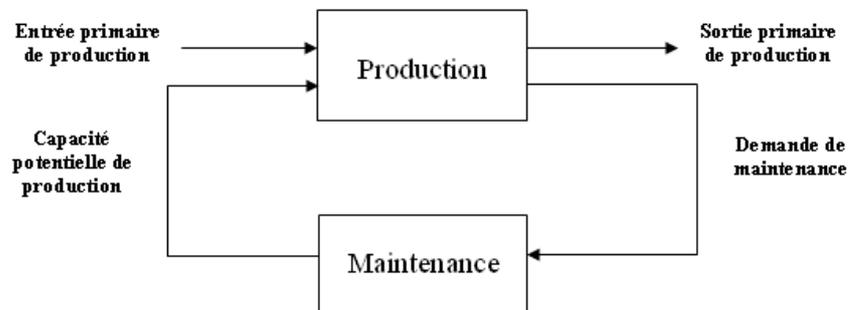


Figure 1.1 – La maintenance comme processus de soutien (Gits, 1994)

Plusieurs définitions de la maintenance peuvent être retrouvées dans la littérature, mais nous avons adopté la définition utilisée par la norme européenne EN 13306, parce qu'elle montre que la maintenance qui accompagne le bien durant tout son cycle de vie n'est pas confinée dans des activités techniques seulement, mais elle inclut aussi plusieurs activités et fonctions telles que planification, étude, ordonnancement, gestion des ressources humaines, des stocks et de documentation, etc. Ainsi, la norme EN 13306, a défini en 2001 la maintenance comme étant "*ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.*" (AFNOR, 2001).

Pour montrer le rôle de la maintenance dans l'entreprise, Tsang (2002) considère la maintenance comme étant un processus de transformation encapsulé dans un système d'entreprise. Les ressources utilisées par la maintenance sont la main-d'œuvre, les matières, les pièces de rechange, les outils, l'information, les capitaux et les services externes (Figure 1.2).

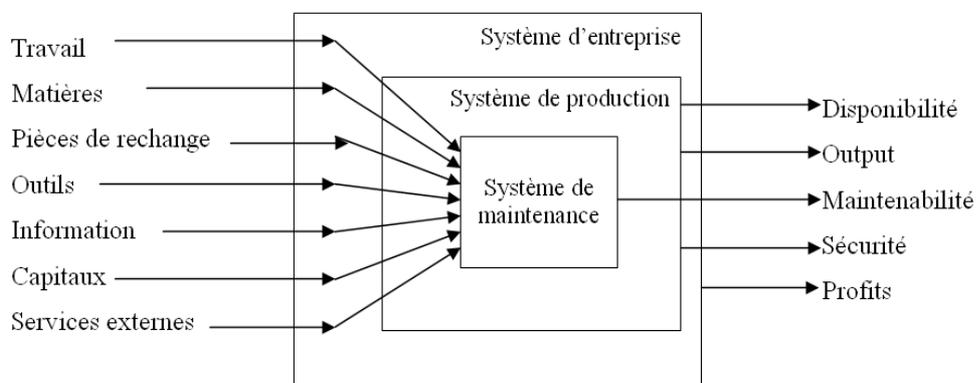


Figure 1.2 – Modèle d'entrée – sortie pour le système d'entreprise (Tsang, 2002)

La dernière Figure montre que la manière de fonctionnement du processus de maintenance influencera sur le système de production en termes de disponibilité, volume, qualité et coût de production, aussi bien qu'en termes de sûreté de fonctionnement. Ceux-ci, à leur tour détermineront la rentabilité de l'entreprise. Cependant, ce modèle a négligé le rôle de la maintenance dans la sauvegarde de l'environnement, bien qu'il est de la responsabilité de toute organisation de maintenance, de veiller à améliorer la performance (disponibilité, productivité, etc.) du processus productif, assurer la sécurité des biens et des utilisateurs qui sont en contact avec ce processus, conserver la durabilité de son bon état de fonctionnement et assurer une propreté irréprochable de son environnement. Cette mission est confiée au management de la maintenance.

La société d'engineering de maintenance en Australie (MESA) considère que la portée du management de maintenance concerne chaque étape dans le cycle de vie des systèmes techniques : conception, spécification, acquisition, planification, opération, évaluation des performances, amélioration, remplacement et cession (Tsang *et al.*, 1999). Une fois perçu dans ce large contexte, le management de maintenance est connu sous le nom de management des biens corporels (ou management des actifs physiques) mais ce synonyme n'est pas défini dans la norme européenne EN 13306 de la terminologie de maintenance. Cette dernière définit le management de maintenance comme étant "*toutes les activités des instances de direction qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise y compris dans les aspects économiques*" (AFNOR, 2001).

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, à travers le résultat et le coût de fonctionnement d'équipement dont la fiabilité et la disponibilité sont extrêmement cruciales. En effet, un management inefficace de la maintenance peut mener à une pauvre performance de l'équipement de production ce qui mènera éventuellement à son tour à une perte de production, perte d'une part de marché et une diminution du profit. En contre partie, un management efficace de la maintenance peut augmenter la performance d'équipement et la capacité de l'usine, qui peuvent à leur tour augmenter le volume des ventes et le revenu et ainsi maximiser le profit et offrir un avantage compétitif à l'entreprise. Cholasuke *et al.* (2004) résument les raisons fournies par beaucoup d'auteurs pour lesquelles le management de maintenance peut aider à la maximisation du profit d'une organisation. Cette relation entre la maintenance et le profit de l'entreprise est illustrée par la Figure 1.3.

Cette Figure montre qu'une maintenance réussie réduit les coûts de production et augmente le revenu. La réduction du coût de production est assurée par la diminution du coût direct et du coût indirect de la maintenance. Le coût direct de maintenance est réduit par l'augmentation de la vie utile des équipements et par la réduction du coût de main d'œuvre, des matières, des pièces de rechange, de l'énergie et des services externes utilisés pour réaliser les différentes tâches de maintenance. Le coût indirect de la maintenance, est réduit par la diminution du temps d'arrêt imprévu des équipements, ce qui aura pour résultat, l'augmentation du temps productif et ainsi du volume de production. En conséquence, le profit augmentera avec la diminution des coûts de maintenance et l'augmentation des volumes de production.

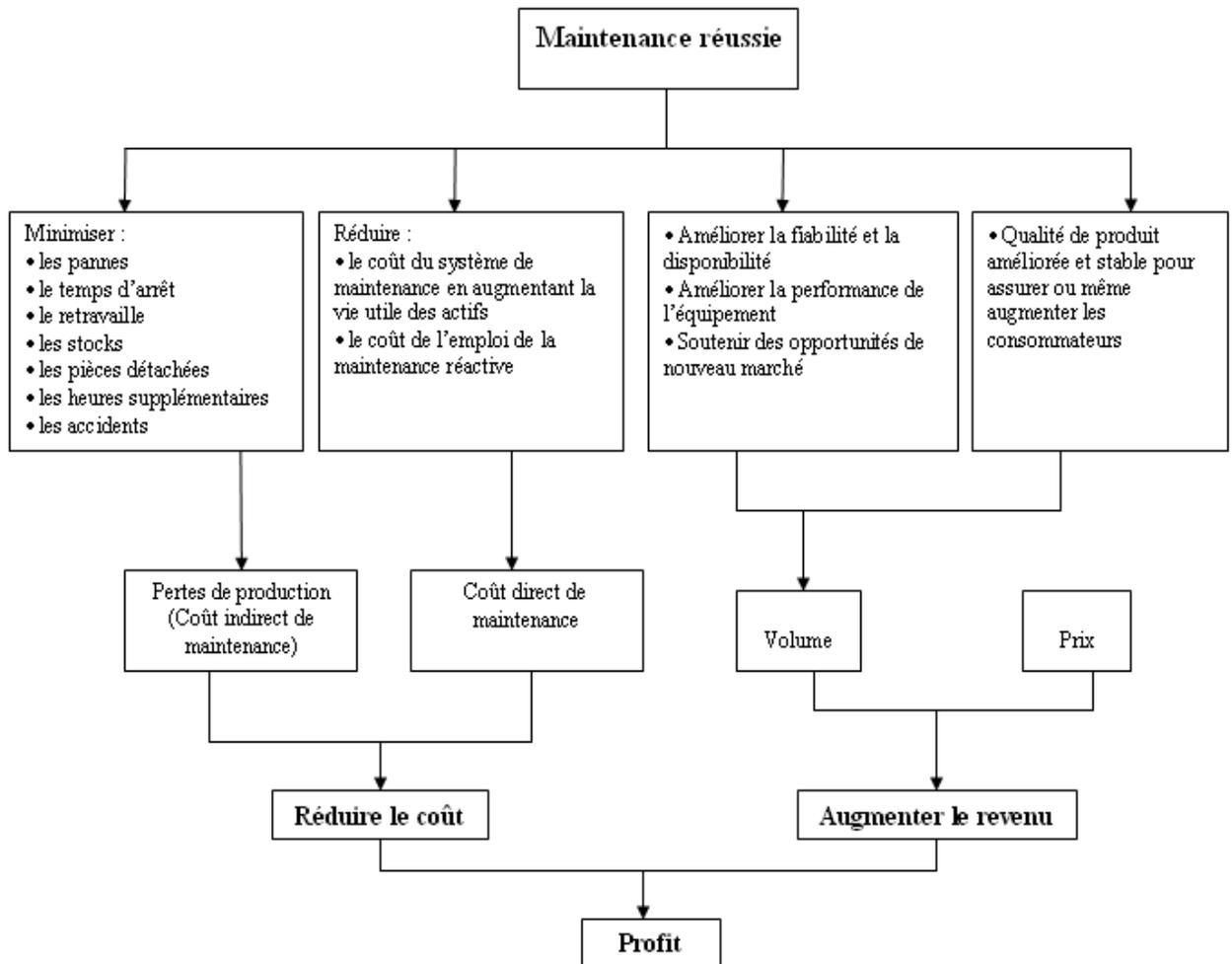


Figure 1.3 – Rôle de la maintenance dans la maximisation du profit
(Cholasuke *et al.*, 2004)

1.1.2. Facteurs de succès du management de maintenance

Nous avons montré précédemment que pour augmenter le profit de l'entreprise et en conséquence assurer sa survie, il est crucial de faire réussir le management de sa maintenance. Pour ce faire, la maintenance a besoin de plusieurs ingrédients. Ces derniers sont identifiés par Cholasuke *et al.* (2004) et illustrés par la Figure 1.4. Cette dernière montre qu'il y a au moins neuf domaines qui sont en relation avec une maintenance réussie. Ces aspects sont expliqués ci-dessous.

Organisation et politique de déploiement : Le succès du management de maintenance compte principalement sur un leadership fournissant direction, intérêt et soutien (Cholasuke *et al.*, 2004). Beaucoup de travaux ont vérifié que le manque de lien entre la politique de maintenance et les objectifs globaux de l'entreprise mène à une performance faible de la maintenance (Cholasuke *et al.*, 2004). L'efficacité du management de maintenance dépend fortement aussi de la structure d'organisation (Ingalls, 2000). Puisque c'est cette structure d'organisation qui pourra, entre autres, répondre au besoin de communication du management de maintenance. Cette communication doit être basée sur des échanges d'informations avec toutes les autres fonctions de l'entreprise. Ces informations peuvent être, par exemple, des

tableaux de bord et suivi d'indicateurs, des comptes rendus et rapports ou des recommandations sur les conséquences des choix industriels. En plus, c'est la structure d'organisation qui assure une allocation juste des ressources entre les différentes fonctions de l'entreprise.

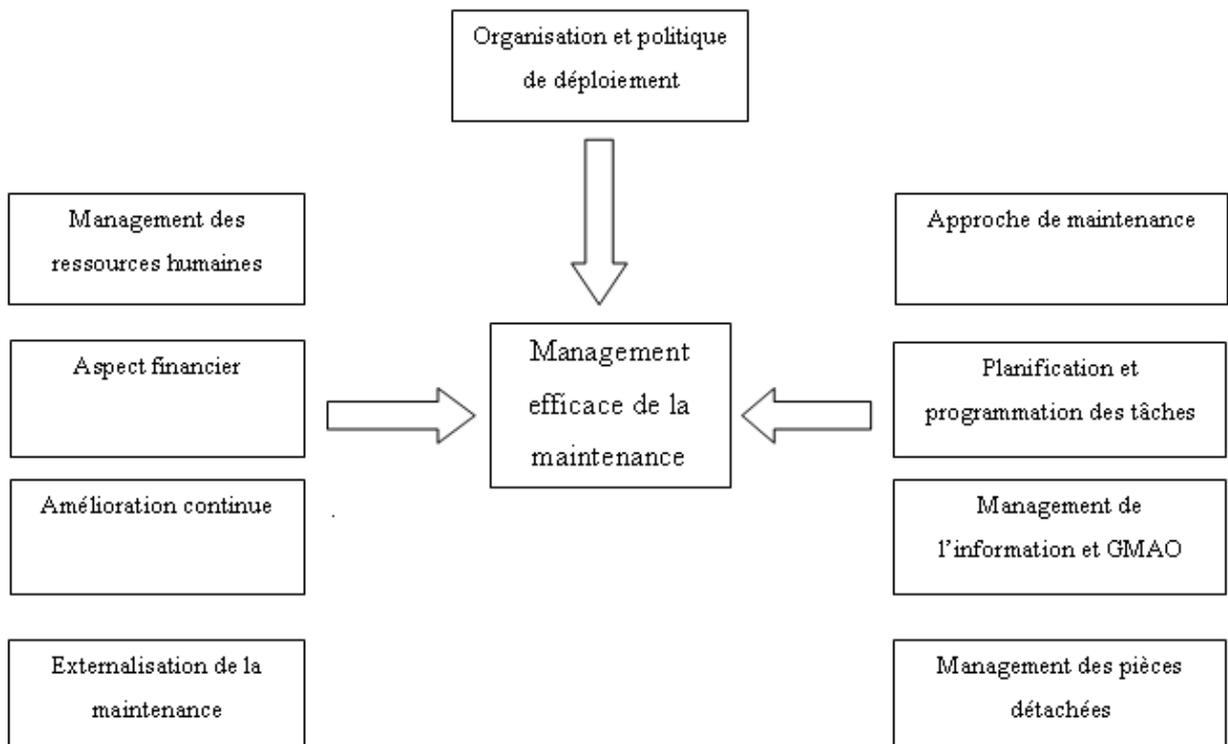


Figure 1.4 – Ingrédients du management efficace de maintenance
(Cholasuke *et al.*, 2004)

Approche de maintenance : L'approche de maintenance utilisée peut très fortement influencer sur la performance de la maintenance. Certains travaux ont montré que le coût de réparation en mode correctif est en moyenne environ trois fois plus grand que le coût de réparation en mode préventif et a également moins de performance que ce dernier (Cholasuke *et al.*, 2004). C'est parce que la maintenance corrective n'aborde pas le niveau de racine du problème et génère souvent une défaillance répétitive. D'ailleurs, beaucoup d'organisations tendent à adopter les philosophies de la maintenance proactive telles que la TPM et la MBF. Ces approches, s'inscrivent dans une perspective d'amélioration à long terme du management de maintenance.

Planification et programmation des tâches : Les plans et les programmes de maintenance sont la base pour assurer l'ordonnancement des différentes tâches de maintenance et attribuer les ressources pour chaque tâche. Le manque de planification et de programmation peut de manière significative empêcher la maintenance de répondre aux besoins de l'entreprise. La planification appropriée du travail de maintenance contribue significativement à la diminution du nombre d'heures de travail non planifié et ainsi à la diminution du nombre d'heures de travail non planifié et supplémentaire et ainsi à faire diminuer le coût de maintenance.

Management de l'information : La pratique d'une maintenance réussie, dépend énormément de l'efficacité du système d'information qui gère les données relatives à la maintenance. Un tel système comprend la collecte, l'analyse et la transformation des données en information utile pour fournir un véritable feedback à la fonction appropriée. Une utilisation conforme d'un outil informatique adapté (logiciel de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur, GMAO), contribue énormément à l'amélioration de l'efficacité et de l'efficacité du management d'information de la maintenance. La mesure de performance de la maintenance est également un composant nécessaire du système de management de l'information. Il fournit un lien entre l'état actuel de la fonction maintenance et l'objectif tracé. Un système approprié de mesure de performance est nécessaire pour améliorer l'efficacité et l'efficacité de la fonction maintenance.

Management des pièces de rechange : L'efficacité de la maintenance, dépend pour une large part de l'existence et de la disponibilité des pièces de rechanges (composants destinés à remplacer les pièces jugées défectueuses), des matières et des fournitures au moment de la réalisation des différentes tâches de maintenance. La gestion des pièces de rechanges nécessite une attention particulière, sans quoi l'entreprise supportera des coûts très importants. Les compagnies peuvent économiser des montants significatifs à travers un management efficace des pièces de rechange.

Management des ressources humaines : Les hommes sont la ressource la plus importante pour la maintenance ; c'est eux qui vont gérer, planifier, superviser et exécuter toutes les tâches de maintenance. Les facteurs importants liés à la réussite de la planification des ressources humaines de maintenance incluent le développement des compétences, la formation, la motivation au travail et la disponibilité de ressources humaines suffisantes.

Externalisation de la maintenance : L'externalisation attire de plus en plus d'attention puisque il y a un nombre croissant d'organisations qui externalisent leur fonction de maintenance (Cholasuke *et al.*, 2004). Cependant, si la sollicitation des sous-traitants peut apporter des avantages énormes à l'organisation, un sous-traitant inefficace peut mener vers un coût de maintenance élevé et une baisse de la performance de maintenance.

L'aspect financier : Le contrôle financier de la maintenance comprend le contrôle du budget de maintenance et de tous ses coûts (par exemple le coût du travail, le coût de matières et le coût des services fournis par les entrepreneurs). Une organisation avec un excellent management de maintenance aura une petite variation entre le budget de maintenance et le coût de maintenance. Le contrôle financier demande aussi l'étude et l'analyse de toute variation entre le coût et le budget de maintenance.

Amélioration continue : Beaucoup d'auteurs indiquent que les organisations avec une performance excellente de maintenance ont un engagement dans l'amélioration à long terme de la pratique en matière de maintenance et essayent constamment d'obtenir les meilleures manières d'agir (Cholasuke *et al.*, 2004). Les facteurs qui mènent à l'amélioration continue de la maintenance sont l'utilisation efficace de la mesure de performance, l'engagement du management et l'adoption de la maintenance proactive.

1.1.3. Complexité du management de maintenance

Les facteurs précédents cités par Cholasuke *et al.* (2004) sont importants pour améliorer l'efficacité du management de maintenance, mais leur importance varie d'un contexte à un autre selon la complexité de la mission confiée au management de maintenance. En effet, il y a une diversification très élevée dans les problèmes que la maintenance rencontre, même dans les entreprises du même secteur productif. Donc, il est difficile de concevoir une méthodologie d'applicabilité générale. En plus, il est important de noter que pendant les deux dernières décennies, la nature de l'environnement de production a beaucoup changé avec l'augmentation du taux d'automatisme et la réduction des stocks dans les usines. Ce contexte a mis de plus en plus de pression sur le système de maintenance, parce que la perturbation des flux de production peut rapidement devenir coûteuse. Dans les usines fortement automatisées, les limitations du contrôle par ordinateur, la nature intégrée de l'équipement et les exigences accrues de la connaissance rendent plus difficile le diagnostic et la résolution des problèmes d'équipement (Marquez and Gupta, 2006).

Une autre source de complexité dans les problèmes de maintenance provient du niveau de variété dans la technologie utilisée par le processus de production (Marquez and Gupta, 2006). En plus de ces questions reliées à la technologie, des facteurs nouveaux et plus exigeants de sûreté et d'environnement mettent de la pression sur le manager de maintenance et créent de plus en plus de complexité dans le management de cette fonction.

Pour mesurer le degré de complexité qui caractérise la mission du management de maintenance dans un environnement de production, Marquez and Gupta (2006) proposent un cadre qui ressemble au Tableau d'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et criticités). Ce cadre est décrit par le Tableau 1.1.

Ce Tableau énumère plusieurs aspects qui influencent sur la complexité du management de la maintenance. Chaque aspect est muni de deux indices : un degré de réalisation (DR_i) et un facteur de pertinence (FP_i). Le degré total de la complexité du management de maintenance est donné par la formule :

$$\text{Degré de complexité totale} = \sum_i DR_i FP_i \dots\dots\dots(1.1)$$

Plus le degré de réalisation (DR_i) de chaque aspect dans une usine industrielle est élevé, plus est élevée la complexité liée au processus de management de maintenance. Une notation élevée de (FP_i) dans un environnement de production est associé avec une complexité élevée du processus de management de maintenance. Les deux paramètres DR_i et FP_i prennent des valeurs sur une échelle allant de 0 à 5. Par exemple, l'emploi d'un outil de GMAO est très nécessaire dans un environnement de production où le nombre d'équipement critique est très important.

Supposons un processus de production qui n'engage seulement qu'un nombre restreint d'équipements critiques et qui n'est pas doté d'un outil GMAO dans ce cas le facteur "Manque de GMAO" pourrait mener à un (DR_i) égal à 5 et la pertinence de ce facteur marquerait seulement 1 pour (FP_i), puisqu'il n'est pas aussi important dans ce cas particulier. La multiplication de DR_i et de FP_i ici donnera un indice de complexité égal à $5 \times 1 = 5$. Evidemment, la complexité possible maximum pour n'importe quel facteur est $5 \times 5 = 25$.

Le cadre précédent proposé par Marquez and Gupta (2006) peut être utilisé pour comparer la complexité du management de maintenance entre différents environnements de production, cela pourra aider à évaluer l'importance des efforts et des ressources qui seront exigés par la maintenance dans chaque environnement de production.

**Tableau 1.1 – Indice de complexité du management de maintenance
(Marquez and Gupta, 2006)**

Domaine	Facteurs qui ont un impact sur la complexité de maintenance	Degré de réalisation (DR _i)					Facteur de pertinence (FP _i)	Total : DR _i ×FP _i
		1	2	3	4	5		
Système d'information	Manque de GMAO							
	Manque de données historiques							
Technologie et intégration Du processus	Complexité de la technologie du processus de production							
	Variété des technologies utilisées dans le processus de production							
	Niveau d'automatisme et d'intégration du processus							
Système de management de production	JIT – zéro stock							
Système de management de maintenance	Manque de procédures de maintenance en place							
Expertise technique du personnel	Niveau bas de connaissance et participation							
	Niveau bas de l'expertise technique du staff de maintenance							
etc.	etc.							
Total								$\sum DR_i \times FP_i$

1.2. Cadres du management de maintenance

Nous avons montré précédemment que la maintenance est fréquemment associée à un éventail de difficultés qui rend son management complexe. Pour y remédier, il est important de rassembler les éléments constituant le management de maintenance sous forme d'un modèle cohérent qui pourra améliorer la compréhension des dimensions fondamentales de la maintenance. Cependant, de nombreux cadres existent dans la littérature décrivant le management de maintenance. Dans cette section, nous décrivons certains de ces cadres.

1.2.1. Management total de maintenance

Raouf and Ben-Daya (1995) ont défini le management total de maintenance (total maintenance management, TMM) comme étant une approche systématique de la maintenance. L'objectif principal de la TMM est de fournir une méthodologie ou un cadre pour améliorer l'efficacité de la maintenance continuellement.

Selon cette approche, le système de maintenance comporte trois sous-ensembles :

- management de maintenance ;
- opérations de maintenance ;
- management des équipements.

1.2.1.1. Le management de maintenance

Les domaines principaux du management de maintenance qui ont un grand impact sur l'efficacité de la maintenance sont :

Organisation : Une organisation bien conçue du Département de la maintenance est essentielle à une activité de maintenance productive. L'organigramme doit être actuel et complet et doit prendre en compte les considérations importantes suivantes :

- rapport approprié des surveillants aux ouvriers ;
- nombre approprié des planificateurs ;
- fonctions de support nécessaire ;
- réponse de maintenance rapide.

Formation et motivation : La formation est essentielle pour un travail de maintenance de bonne qualité. Un climat positif et un soutien nécessaire (planification, fournitures, surveillance adéquate) sont les ingrédients essentiels pour la motivation des employés et, par conséquent, pour la bonne performance.

Planification : La planification est une fonction principale dans un Département de maintenance. Un planificateur devrait être bien formé pour effectuer les activités suivantes :

- déterminer le contenu et la durée de travail ;
- déterminer les plans de travail en utilisant des méthodes appropriées ;
- déterminer le nombre et la compétence des ouvriers requis pour le travail ;
- déterminer les pièces de rechange, les outils et les matières requis ;
- planifier et programmer les ordres de travail ;
- estimer les coûts.

Contrôle : Un système de contrôle complet est très important pour l'identification et le contrôle des délais. Un tel système comprend :

- l'information sur le statut de l'ordre de travail et le temps réalisé comparé au temps estimé ;
- diagrammes et graphiques montrant le travail en retard, les heures supplémentaires et le travail d'urgence.

Ce genre d'information permet un meilleur contrôle du travail et des coûts à travers une action corrective basée sur les faits et l'identification des domaines d'amélioration potentielle.

Supervision : Une meilleure efficacité de maintenance et une qualité améliorée du travail de maintenance peuvent être réalisées par une supervision efficace. Le superviseur de maintenance doit avoir avec lui un planificateur qui prend en charge la fonction de planification/programmation de sorte qu'il puisse se concentrer sur un meilleur management de maintenance et plus de supervision des équipes aux sites du travail.

1.2.1.2. Opérations de maintenance

Les composants des opérations de maintenance sont les suivants :

Mesure du travail : Des normes de temps doivent être développées de sorte qu'une planification appropriée puisse être réalisée.

Ordonnancement de la maintenance : Une fonction de programmation de la maintenance combinée avec la fonction de planification élabore le programme quotidien des ordres de

travail. En plus de l'établissement des programmes quotidiens, cette fonction détermine la priorité des ordres de travail, suit leur progrès et tient à jour les détails concernant les travaux en retard.

Système des ordres de travail : Une forme et une procédure des ordres de travail, bien conçues, sont nécessaires pour le management de maintenance. Le système des ordres de travail fournit une communication claire entre toutes les parties concernées par une demande du travail de maintenance (demandeur, planificateur, superviseur, travailleur et fonction de soutien). Il assure également une bonne documentation de travail de maintenance pour des analyses et des actions appropriées. Par conséquent tout travail de maintenance doit être couvert par un ordre de travail.

Contrôle d'outil et des fournitures : L'activité de maintenance exige que des outils et des pièces soient disponibles de sorte que des retards inutiles soient évités. Un système informatisé pour le contrôle des stocks doit être installé et une commande optimale des quantités doit être établie. Une interface appropriée et une procédure de coordination entre la maintenance et l'entrepôt doivent être développées.

1.2.1.3. Gestion des équipements

Cet ensemble se compose des éléments suivants :

Maintenance préventive et historique des équipements : L'expérience montre que la maintenance préventive (MP) réduit les coûts de maintenance. Un système complet de MP exige :

- des inspecteurs de MP bien formés qui consacrent tout leur temps au travail de MP ;
- un historique des équipements bien tenu à jour.

Un système de MP se compose :

- des check-lists de MP indiquant les listes de travaux de MP pour chaque équipement ;
- des itinéraires de MP montrant l'ordre des équipements à maintenir dans une période donnée ;
- un programme de MP indiquant la fréquence de MP ;
- des rapports de MP couvrant le travail de MP réellement effectué quotidiennement.

Un historique bien tenu à jour des équipements, est une partie intégrale du système de MP. L'analyse régulière de cet historique sert de base pour ajuster le programme de MP ou pour développer des politiques de révision ou de renouvellement.

Maintenance prédictive : La maintenance prédictive implique la prise de mesures périodiques, telles que la vitesse de vibration, tension, pression, alignement, usure, chaleur, résistance et capacité, etc. Ces mesures doivent être comparées avec des limites admissibles connues, dans le but de détecter, analyser et corriger les problèmes des équipements avant la défaillance. Tout équipement critique doit être identifié et doit subir une maintenance prédictive. Les historiques des équipements doivent être analysés pour déterminer le temps moyen entre deux défaillances (MTBF) et le temps moyen de réparation (MTTR).

Programme de gestion des équipements : Avec l'augmentation de l'automatisation et l'acquisition par beaucoup d'organisations des équipements sophistiqués et spécialisés pour les ateliers flexibles, l'importance de la fonction maintenance est en augmentation.

L'utilisation élevée des équipements et la performance élevée sont essentielles pour un rendement rapide des actifs. La disponibilité élevée des équipements et le rendement élevé peuvent être réalisés à travers des programmes efficaces de gestion d'équipement.

1.2.2. L'approche holistique du management de maintenance

L'approche globale (ou intégré) de la maintenance a été proposée par Coetzee (1999). Le schéma de la Figure 1.5, présente la base de cette approche. Le cycle simplifié de la maintenance, présenté dans le schéma précédent, est un modèle descriptif qui explique les processus intérieurs de l'organisation typique de la maintenance. Il se compose de deux processus, un processus stratégique (le cycle externe) et un autre processus opérationnel (cycle intérieur).

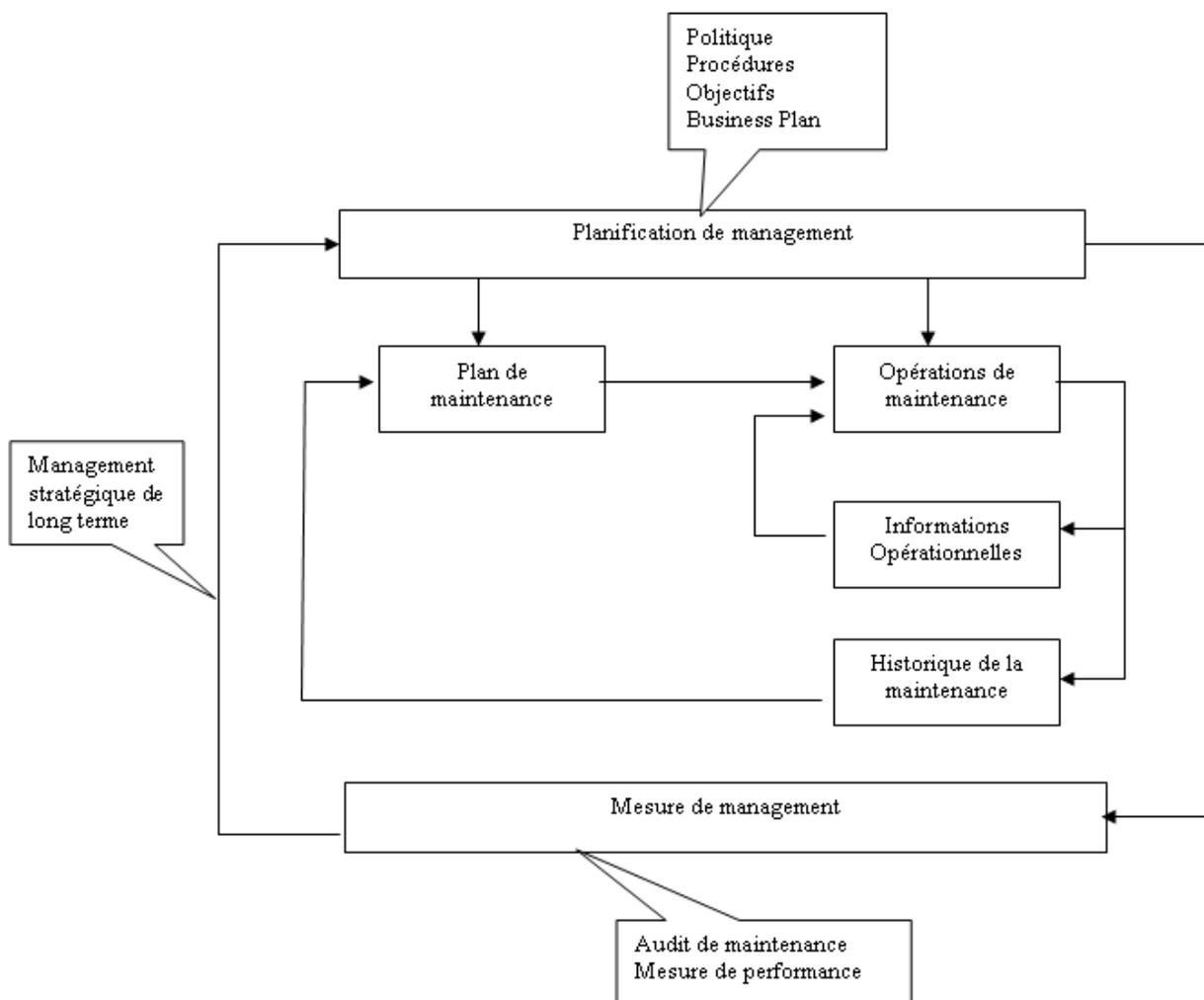


Figure 1.5 – Cycle de maintenance (Coetzee, 1999)

Le processus (externe) stratégique, est décrit par deux parties qui sont la planification globale de management et le processus de mesure de performance. La première partie, qui est la planification de management, comprend la mise en place d'un sous-processus pour la

définition de la politique de maintenance, des procédures de maintenance, des objectifs et du business plan. La politique de maintenance détermine la conception détaillée du cycle de maintenance pour l'organisation spécifiée. Elle assure que l'énergie dépensée à travers les diverses actions est le résultat d'un effort de maintenance correctement coordonné. Les procédures de maintenance sont une extension de la politique de maintenance pour assurer que les tâches critiques sont accomplies d'une manière éprouvée et normalisée. L'implémentation de la politique et des procédures de maintenance prend place à travers une détermination régulière (en général annuelle) des objectifs et du processus de planification du business. Les objectifs sont atteints en reliant la politique (et les procédures) avec les pratiques opérationnelles réelles, tandis que la planification de business assure que la conception d'organisation, d'équipements, de planification de ressources et du budget sont conformes avec les résultats envisagés par la politique, procédures et objectifs.

La deuxième partie qui concerne la mesure de performance envisagée par le cycle stratégique, se compose d'un audit de maintenance régulier (en général annuel) et d'un processus de mesure de performance de maintenance (généralement exécutée mensuellement). L'audit a pour objectif de déterminer à quel point, les processus opérationnels intérieurs, réussissent à atteindre les résultats envisagés par le management dans la mise en place de la politique et des procédures de maintenance. L'audit fait ceci de deux manières d'abord, en s'assurant que les résultats actuels sont en conformité avec ceux prévus et en second lieu, en s'assurant que les systèmes nécessaires pour garantir le succès à long terme sont en place. La mesure de performance de la maintenance, d'autre part, a le but d'assister la fonction de management stratégique à prendre l'action corrective là où et au moment où il est nécessaire de la faire.

Le processus (intérieur) opérationnel comprend le plan de maintenance et l'opération de maintenance elle-même. Les ingénieurs de maintenance conçoivent le plan de maintenance, en se servant de l'historique des biens et de l'expérience disponible dans l'organisation et en employant une certaine méthodologie (par exemple la MBF). Ce plan est alors implémenté à travers les opérations de maintenance. Ces dernières contiennent la maintenance préventive, aussi bien que la maintenance corrective. Les informations opérationnelles qui en résultent (concernant le coût, la performance, la qualité et la sécurité), sont employées par le management opérationnel pour prendre les actions correctives de court terme en cas de besoin. L'historique et l'expérience de maintenance résultants, sont employés pour améliorer le plan de maintenance d'une manière régulière (annuelle ou semestrielle).

Dans la description du cycle de maintenance proposé par Coetzee (1999), il est important de noter que chacun des deux processus (extérieur et intérieur) n'est pas limité à un certain niveau de management, mais que chacun des différents niveaux de management contribue généralement dans les deux processus (externe et interne). Ceci est schématisé par la Figure 1.6.

Selon Coetzee (1999), jusqu'à assez récemment la théorie de maintenance était inexistante, alors que pendant ce temps la technologie se développait à un rythme qui a rendu les pratiques de maintenance obsolètes. Cette situation a poussé certains praticiens de la maintenance à proposer des solutions fragmentées pour améliorer l'efficacité de la maintenance telles que : la MBF, la TPM, la maintenance conditionnelle, systèmes informatisés de management de maintenance, systèmes d'audit et autres. La plupart de ces dernières (à l'exception de la TPM et des systèmes d'audits) ont visé le cycle intérieur du cycle de maintenance et n'ont pas pu, ainsi, produire les résultats envisagés, parce qu'elles ne s'adressant pas à toute la complexité de la fonction de maintenance (processus externes et internes). Le problème avec ces

solutions fragmentées d'amélioration de l'efficacité de maintenance, n'est pas qu'elles ne sont pas valables pour ce qu'elles prévoient de réaliser, mais plutôt c'est le fait qu'elles n'aident pas le praticien de la maintenance, à placer cette solution comme étant une partie d'une stratégie globale de maintenance.

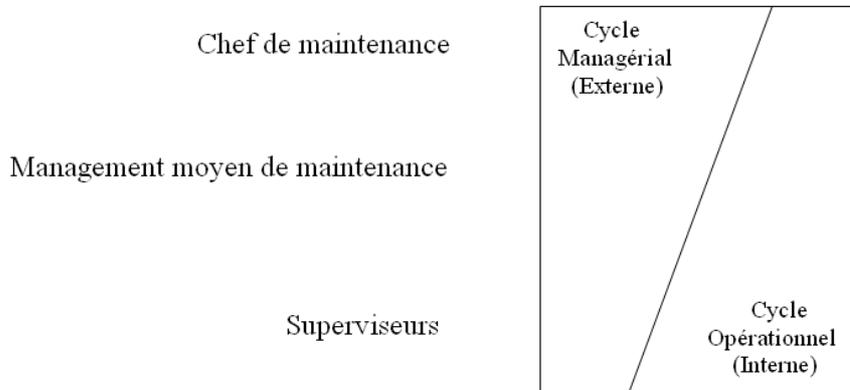


Figure 1.6 – Input managérial (Coetzee, 1999)

Pour Coetzee (1999), la complexité de la fonction maintenance, représentée par le cycle de maintenance, exige une approche qui doit être conduite stratégiquement (cycle externe du cycle de maintenance). L'organisation de maintenance a besoin que les divers composants, fonctionnent en pleine harmonie pour l'accomplissement d'un maximum de contributions vers les buts de l'entreprise. Une telle harmonie ne peut pas être réalisée en mettant en application des solutions fortement sophistiquées, mais expérimentées dans des sous-parties de l'organisation de maintenance. La seule solution est l'approche holistique qui touche, en même temps, à toutes les parties critiques de l'organisation de maintenance et qui développe des solutions basées sur des analyses des besoins, allant du haut vers le bas. Le schéma de la Figure 1.7, est une représentation des divers éléments principaux dans le cycle de maintenance.

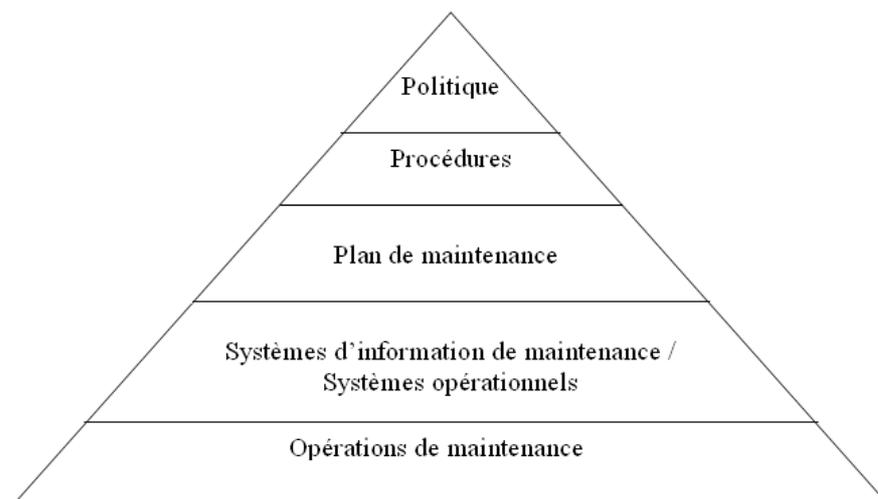


Figure 1.7 – Ordre d'implémentation (Coetzee, 1999)

Le schéma de la dernière Figure, montre la dépendance des divers éléments de maintenance à l'égard des autres. La partie du fond (l'exécution des opérations de maintenance) est considéré par beaucoup comme étant le cœur de la maintenance, mais elle dépend des parties qui sont au-dessus d'elle. Selon cette logique, l'élément fondateur et le plus important est la politique de maintenance, qui dicte les procédures qui devraient exister et auxquelles le plan de maintenance est subordonné. Le système d'information est utilisé pour traduire le plan de maintenance sous forme de tâches de maintenance.

Dans l'approche holistique, Coetzee (1999) propose une solution qui consiste à prendre une section transversale (la plus importante stratégiquement) de l'organisation de la maintenance et d'adresser simultanément tous les éléments représentés sur le schéma précédent. Ceci mène au succès dans cette partie de l'organisation, représentée par la section transversale, après quoi d'autres sections transversales sont adressées en utilisant la même approche holistique. L'objectif, ainsi, est de promouvoir les petites et maniables parties de l'organisation de la maintenance dans l'ensemble pour assurer le succès et, naturellement, le succès multiplie les succès. Dans ce processus de thérapie en coupe, la manière de procéder est une intervention totale (holistique) qui ramène le climat d'organisation et le processus organisationnel dans le rythme des objectifs de l'entreprise. Cette intervention inclut les éléments tels que la politique, les procédures, la planification, la mesure (audit et mesure de performance), le plan de maintenance, la formation (dans tous les niveaux), la communication et le contrôle de gestion. Ainsi, l'approche consiste à appliquer une variété de techniques à une petite partie de l'organisation au lieu de l'application d'une technique sur toute l'organisation. Le résultat est une intervention qui traverse en profondeur l'organisation, ayant pour conséquence des effets positifs marqués jusqu'à la ligne inférieure de l'organisation. La rentabilité de l'organisation est améliorée par de meilleurs niveaux de disponibilité d'équipement et des taux de production plus élevés et soutenus.

1.2.3. Approche de management stratégique de la maintenance

Le groupe "Reliability Engineering and Risk Management Group (RERMG)" de l'Université de Queensland (Brisbane, Australie) a développé une approche nommée "Strategic Maintenance Management (SMM)". La description de cette approche a été publiée en 2002 (voir Murthy *et al.*, 2002).

Les deux éléments principaux de cette approche sont :

- le management de maintenance est une activité essentielle et cruciale pour la survie et le succès de l'entreprise et doit être géré stratégiquement comme telle ;
- le management efficace de la maintenance doit être basé sur des modèles quantitatifs qui intègrent la maintenance avec d'autres fonctions comme la production.

Dans l'approche SMM, la maintenance est considérée comme étant une activité multidisciplinaire. Elle implique :

- une compréhension scientifique des mécanismes de dégradation reliée avec la collecte et l'analyse des données pour évaluer l'état des équipements ;
- une construction de modèles quantitatifs pour prévoir l'impact des différentes actions de maintenance et d'exploitation sur la dégradation des équipements ; et
- un management de maintenance à partir d'une perspective stratégique.

L'idée principale de cette approche est résumée par le schéma de la Figure 1.8. Le point de départ pour cette approche, est l'état de l'équipement. Ce dernier, dépend de la charge de fonctionnement et des actions de maintenance. La maintenance dépend, également, de la fiabilité inhérente de l'équipement (un équipement moins fiable, exige un plus grand effort de maintenance) laquelle en retour, dépend des décisions prises pendant la conception et la fabrication de l'équipement. Finalement, les charges de fonctionnement de l'équipement dépendent des décisions de la production, qui sont influencées par des considérations commerciales et de marché et celles-ci ont un impact important sur la performance globale de l'entreprise. En tant que telles, les décisions de fonctionnement et de maintenance, doivent être prise conjointement en prenant en compte leurs impacts sur la dégradation des équipements et les objectifs globaux de l'entreprise comme indiqué sur le schéma de la Figure 1.8.

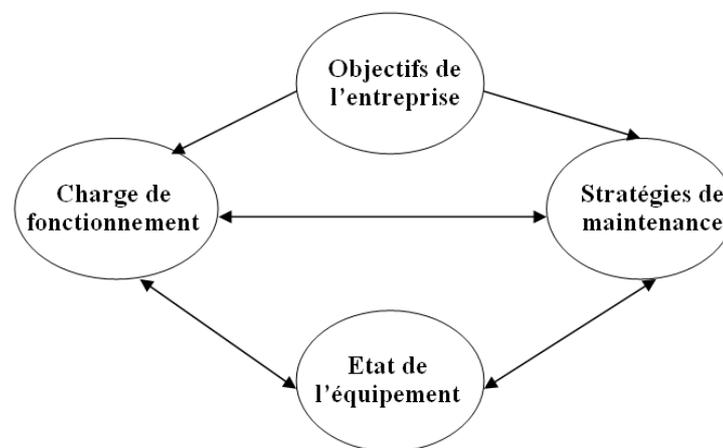


Figure 1.8 – Les éléments principaux de la SMM (Murthy *et al.*, 2002)

Selon l'approche SMM, le management de maintenance implique 03 étapes principales :

- Comprendre l'équipement à maintenir.
- Planifier les actions optimales de maintenance. Ceci implique les étapes secondaires suivantes :
 - o Collecter les données appropriées.
 - o Analyser les données pour évaluer l'état de l'équipement.
 - o Construire des modèles pour prévoir les conséquences des différentes actions de maintenance et charges de fonctionnement.
 - o Décider les actions optimales de maintenance.
- Implémenter les actions optimales de maintenance.

Le processus itératif pour l'amélioration continue de la maintenance est montré sur le schéma de la Figure 1.9. L'amélioration mène à la réduction des coûts de maintenance et l'augmentation de la disponibilité ou à l'un des deux. L'impact global est l'augmentation des profits. Les concepts et les techniques de la théorie de fiabilité jouent un rôle important dans l'exécution des étapes menant à l'amélioration. La science de fiabilité et l'analyse de fiabilité forme la base pour modéliser la dégradation d'équipement et pour prévoir l'état de l'équipement sous différents scénarios d'opération et de maintenance. Une collecte de données appropriée est importante dans ce contexte.

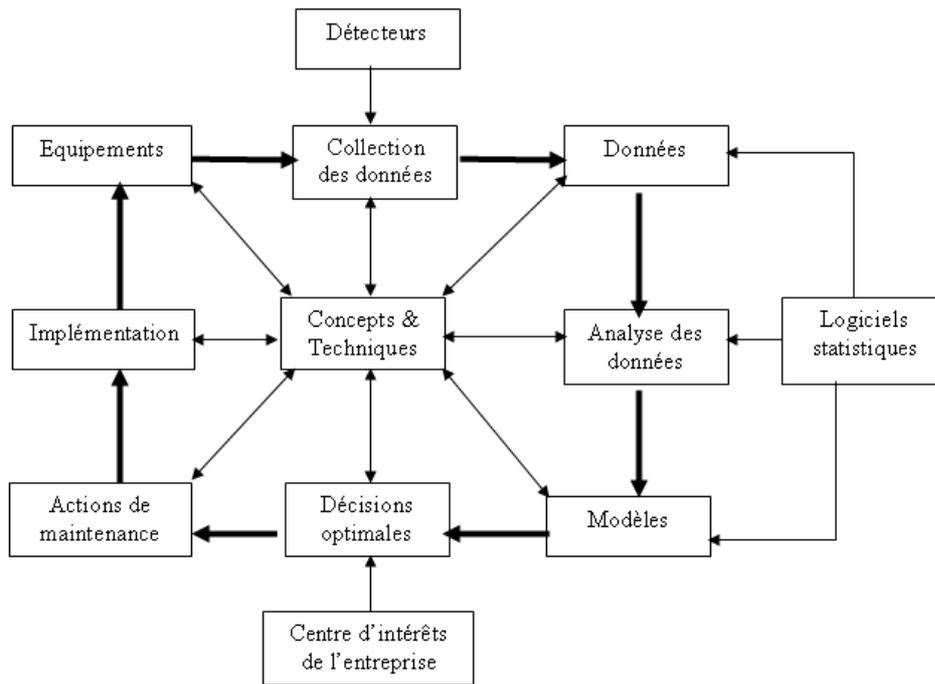


Figure 1.9 - L'amélioration continue en maintenance (Murthy *et al*, 2002)

Selon Murthy *et al.* (2002), l'amélioration continue, exige des entreprises d'avoir un système intégré de management de maintenance. Les éléments principaux (technique/opérationnel, commercial et outils) de ce système sont rapportés par le schéma de la Figure 1.10.

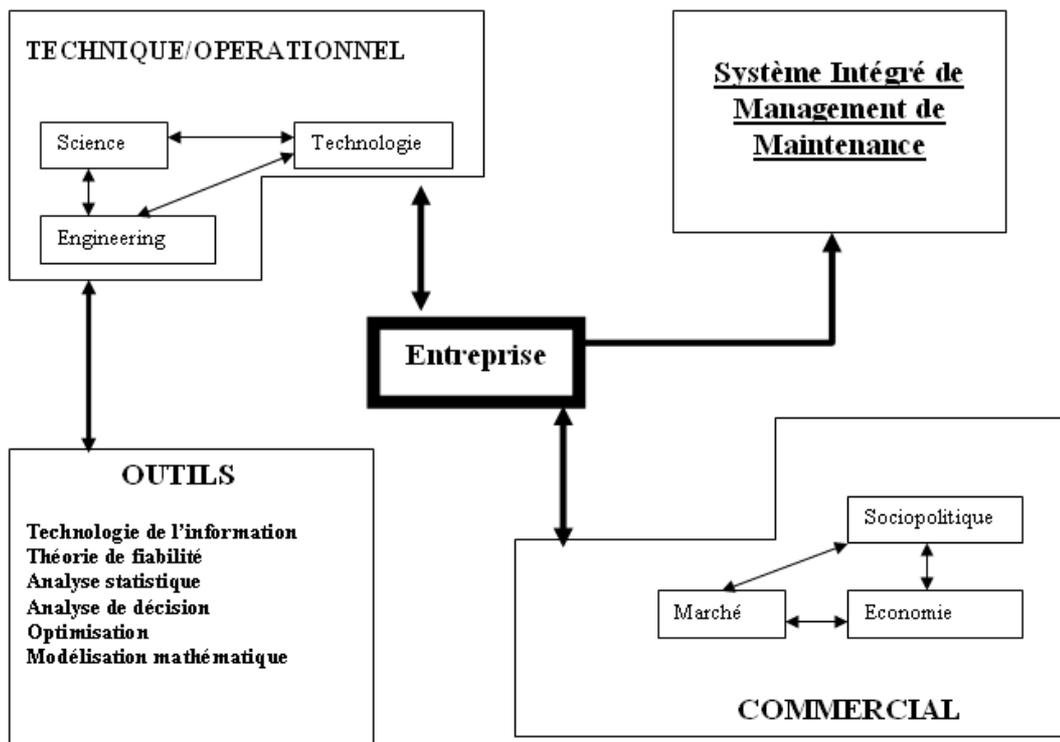


Figure 1.10 – Système de management de maintenance (Murthy *et al*, 2002)

Les sujets techniques/opérationnels impliquent un lien entre la science, l'engineering et la technologie pour évaluer l'état de l'équipement et prévoir sa dégradation sous différents scénarios de maintenance et de charge fonctionnelle.

L'aspect commercial traite les sujets concernant le marché, les sujets sociopolitiques et économiques. Selon le domaine d'activité, il peut y avoir plusieurs variables qui sont importantes pour un management efficace de la maintenance. Par exemple, dans le cas des utilités, du transport en commun ou de l'industrie de transformation, les facteurs sociopolitiques peuvent être des facteurs dominants, qui ont un impact important sur le management de maintenance à cause des risques associés avec des dommages pour les humains, les biens et/ou l'environnement.

Le type de données (techniques/opérationnelles et commerciales) requises pour la prise de décision, dépend du type du problème de maintenance. Par exemple les mises à niveau majeures ou les remplacements sont des décisions stratégiques, car elles impliquent des investissements considérables ; les sujets commerciaux de long terme, dans ce cas, sont très importants. Par conséquent, les entreprises doivent surveiller et rassembler les données appropriées pour un management efficace et pour une amélioration continue de la maintenance.

Le management de maintenance implique la formulation et la mise en place des stratégies de maintenance. A son tour, la mise en place des stratégies de maintenance, implique des sujets logistiques associés comme la programmation, la gestion des pièces de rechange, les politiques de commande, etc. Une variété d'outils est nécessaire pour un management efficace de la maintenance. Ceux-ci incluent la technologie de l'information pour rassembler et stocker les données, les techniques statistiques pour analyser les données et les outils analytiques et informatiques pour modéliser, analyser, optimiser et prendre la décision optimale.

Selon Murthy *et al.* (2002), la structure organisationnelle du management de maintenance est habituellement structurée dans trois niveaux (top, moyen et junior).

Le top niveau de management traite les sujets à partir d'un point de vue global de l'entreprise. A titre d'exemple il peut s'agir de :

- décider entre l'externalisation et l'implémentation interne de la maintenance ;
- fournir les ressources nécessaires (humaines et physiques) ; et
- créer une culture qui stimule une interaction plus étroite entre les différents éléments de l'entreprise (production, maintenance, marketing, etc.).

Le niveau moyen du management de maintenance traite la planification des stratégies optimales de la maintenance. Ceci implique de :

- analyser les données rassemblées ;
- décider des stratégies optimales de maintenance ;
- surveiller l'implémentation des actions de maintenance internes réalisées par le niveau le plus bas du management ; et
- surveiller les actions de maintenance externalisée qui sont réalisées par les agents externes.

Le niveau junior du management s'intéresse à :

- implémenter les actions de maintenance internalisée ; et
- collecter les données appropriées.

En résumé, l'approche SMM propose de lier les sujets techniques, opérationnels et commerciaux dans un cadre intégré. Les éléments principaux de cette approche sont :

- la compréhension de la science de dégradation des biens ;
- la collecte et l'analyse des données appropriées ;
- l'utilisation des modèles mathématiques pour évaluer les stratégies de maintenance alternatives et pour choisir la stratégie optimale de maintenance ; et
- l'amélioration continue de la performance de l'entreprise.

1.2.4. Autres cadres

Nous retrouvons dans la littérature d'autres contributions qui proposent des cadres pour la description du management de maintenance. Parmi ces cadres théoriques il y a lieu de citer Raouf (1994), Riis *et al.* (1997), Wireman (1998), Zhu *et al.* (2002) et Marquez and Gupta (2006). A titre d'exemple, nous décrivons très brièvement dans le présent paragraphe, le dernier de ces cadres.

Marquez and Gupta (2006) propose d'établir une structure porteuse de base pour simplifier le processus de management de maintenance dans une organisation. Cette structure comporte trois piliers principaux, qui sont :

Le pilier de la technologie d'information : Ce pilier comprend la GMAO, l'e-maintenance et les technologies de suivi conditionnel.

Le pilier des méthodes d'engineering de maintenance : Ce pilier est constitué d'un ensemble de techniques principales. Il s'agit de :

- la MBF qui joue un rôle important aux niveaux stratégique et tactique ;
- la TPM qui se concentre sur des efforts d'organisation au niveau opérationnel ;
- les outils quantitatifs qui peuvent être utilisés pour optimiser les politiques de maintenance ;
- les outils stochastiques pour modéliser les défaillances et
- les autres techniques de recherche opérationnelle ou de science de management pour l'optimisation des ressources de maintenance.

-

Le pilier d'organisation (ou comportemental) : Ce pilier est peut-être le plus important tant que des humains sont impliqués dans les diverses décisions liées à la maintenance et à l'exécution des tâches. Ce pilier inclut toutes les techniques qui peuvent aider à promouvoir la compétence des relations. L'objectif de ces techniques est d'assurer l'accomplissement de la meilleure interface entre les différents niveaux d'activité, entre les différentes fonctions dans l'organisation, le respect et le soin pour tous les clients internes et externes et la régularité dans les rapports inter-organisationnels.

1.3. Dimensions stratégiques du management de maintenance

Dans la section précédente, nous avons présenté quelques cadres théoriques qui offrent la structure de support et le système de base qui sont nécessaires pour un management efficace de la maintenance. Nous décrivons dans la présente section les dimensions stratégiques que doit prendre en charge un management efficace de la maintenance.

Tsang (2002) a identifié quatre dimensions stratégiques pour le management de maintenance :

- Options de livraison du service de maintenance.
- Organisation et structure de la fonction maintenance.
- Méthodologie de maintenance.
- Conception de l'infrastructure de soutien à la maintenance.

Dans cette section nous décrivons ces quatre dimensions stratégiques.

1.3.1. Externalisation de la fonction de maintenance

La norme française FD X 60-000 "Maintenance industrielle-Fonction maintenance", publié par l'AFNOR en Mai 2002, a défini l'externalisation comme étant "*l'opération qui consiste à confier à un opérateur extérieur, une activité ou un service exécuté habituellement en interne*" (AFNOR, 2002). Dans ce qui suit nous présentons les raisons, l'approche générale, les types, les avantages et les risques de l'externalisation.

1.3.1.1. Raisons d'externalisation de la maintenance

Auparavant, une organisation qui a une fonction interne de maintenance pouvait recourir aux fournisseurs externes de maintenance dans le cas où :

- la demande de maintenance ne peut pas être satisfaite par le fournisseur interne à cause d'une capacité de maintenance disponible insuffisante (Martin, 1997) ;
- le volume de travail prévu est trop faible pour justifier un professionnalisme qui restera en attente à cause de l'aspect aléatoire de la maintenance (Martin, 1997) ;
- il y a un manque d'expertise, d'équipements ou d'outils spécialisés chez l'organisation.

Mais depuis la crise économique à la fin des années 1980, une nouvelle tendance a émergé et qui incitait les organisations à se concentrer sur "le cœur des compétences", au delà desquelles tout peut faire l'objet d'un recours à l'extérieur pour maintenir ou développer l'avantage concurrentiel. Ainsi, les activités de maintenance pour lesquelles la compagnie n'a ni un besoin stratégique ni des compétences spéciales sont les candidates principales à être externaliser. En plus de cette notion de "cœur de compétences", Martin (1997) donne d'autres raisons pour avoir une fonction de maintenance complètement externalisée, qui sont :

- ***L'échelle de l'opération est trop petite*** : le Département de maintenance ne fonctionne pas d'une manière économique.
- ***La maintenance devient plus coûteuse et exige plus d'attention de la part du management*** : les avancements technologiques, l'augmentation de la législation sur la sûreté et l'environnement dans les processus de production nécessitent un besoin toujours croissant de former la main d'œuvre de maintenance.
- ***L'augmentation de flexibilité opérationnelle peut être réalisée par l'intermédiaire de la sous-traitance*** : La vitesse à laquelle les marchés changent est croissante, créant ainsi une nécessité pour que les compagnies changent leur mode de fonctionnement.
- ***Selon le type de contrat, la flexibilité financière d'une compagnie peut être augmentée*** : Un fournisseur externe peut offrir un éventail d'options qui sont toutes basées sur les constructions financières.

Donc le choix de l'option d'externalisation d'une fonction n'est pas une question purement tactique, mais plutôt une décision qui doit être prise dans le contexte de la stratégie commerciale globale de la compagnie.

1.3.1.2. Approche générale d'externalisation

Une compagnie qui cherche à délivrer un avantage concurrentiel en se concentrant sur le cœur de ses compétences doit projeter une stratégie d'externalisation bien définie. Cette stratégie nécessite un appui complet de la part du management et une pleine participation du personnel. Campbell (1995), décrit une approche à six étapes qui fournit un cadre pour l'externalisation d'une manière systématique. Cette approche pratique propose de répondre aux questions suivantes :

Etape 1 : l'externalisation est-elle une alternative viable ? Dans cette étape il est nécessaire de rassembler des données sur le coût et le service concernant l'internalisation et l'externalisation de la maintenance, réaliser des interviews ensuite une réunion de réflexion "brainstorming session" avec le management pour l'obtention d'un consensus sur les empêchements et les possibilités de l'externalisation.

Etape 2 : les objectifs sont-ils réalisables ? L'objectif dans cette étape est d'évaluer l'impact de l'externalisation sur les stratégies courantes de l'entreprise, de décrire les objectifs financiers, organisationnels et économiques et d'évaluer le degré de risque, de contrôle et les droits d'accès. Ensuite, il est nécessaire d'évaluer les capacités de l'organisation pour atteindre ces objectifs.

Etape 3 : l'organisation est-elle prête ? L'objectif de cette étape est d'examiner si l'organisation est prête à l'externalisation d'une partie de ses activités. Cet examen comprend une évaluation fonctionnelle de l'organisation pour déterminer le besoin de consolidation des fonctions, une évaluation objective du personnel de la structure organisationnelle, du style de management et de l'habilité à gérer le contrat d'externalisation.

Etape 4 : quelles sont les solutions de rechange pour l'externalisation ? L'objectif de cette étape est d'évaluer les alternatives de l'externalisation. Pour cela il est important de déterminer si l'activité considérée peut être éliminée, améliorée ou exécutée intérieurement d'une manière plus rentable. Sinon, il est nécessaire d'identifier les sources alternatives disponibles pour l'offre de cette activité.

Etape 5 : comment est structurée la demande de proposition d'externalisation ? L'objectif de cette étape est de recevoir les meilleures propositions concernant l'externalisation. Pour cela il est important de déterminer tous les sujets juridiques qui entourent la demande, déterminer le profil du fournisseur idéal, déterminer les documents à exiger et les indicateurs de performance, préparer et publier une demande d'information. Ensuite, une fois qu'une liste succincte de fournisseurs est développée, une demande formelle de proposition peut être préparée et publiée.

Etape 6 : quelle sont les tactiques de négociation ? L'objectif de cette étape est de sélectionner le fournisseur et de négocier le contrat de service. Pour cela il faut utiliser certaines tactiques qui peuvent inclure la portée du travail, le mécanisme des prix, les changements et la résiliation du contrat, l'assurance de qualité, aussi bien que la structure d'équipe de négociation et de transition. Aussi, il est important d'exécuter des révisions périodiques.

Donc, les fonctions qui se prêtent à l'externalisation sont déterminées à la quatrième (4^{ième}) étape de l'approche précédente. Ces fonctions représentent habituellement, les services de

support qui ne font pas partie du "cœur de compétences" de l'organisation. Cette étape est cruciale. En effet, une mauvaise détermination du noyau des compétences est préjudiciable. Il sera encore plus nuisible, si l'activité pour laquelle la compagnie abandonne le contrôle, est en lien critique avec son courant ou futur processus de création de la valeur. Ainsi, c'est les activités de maintenance qui ne représentent aucun potentiel de réalisation d'un avantage concurrentiel soutenable, en les effectuant intérieurement, qui sont candidates à l'externalisation. Ceci implique que si la compagnie perçoit qu'une excellence dans l'achèvement de certains services de la maintenance améliorera la compétitivité de la compagnie, alors ces services doivent être effectués intérieurement. C'est seulement dans le cas contraire, c'est à dire que la maintenance n'est pas un élément du cœur d'activité, que la décision d'internalisation et d'externalisation dépendra des coûts, des avantages et des risques de chaque option.

Dans l'estimation des coûts liés à l'externalisation, il faut inclure les coûts de recherche de fournisseurs, coûts d'engagement et d'application du contrat de sous-traitance, coûts de contrôle des activités externalisées, coûts de coordination et d'échange pendant toute la durée du contrat, les indemnités versées aux employés licenciés, coûts cachés, etc. En plus de la comparaison des coûts, il est important de considérer les avantages et les risques liés à l'externalisation, d'explorer éventuellement la possibilité de commercialisation de l'expertise de maintenance pour servir les besoins des compagnies non concurrentes et d'évaluer le degré de vulnérabilité de la stratégie de sous-traitance de ces activités.

1.3.1.3. Avantages et risques liés à l'externalisation de la maintenance

Il y a un certain nombre d'avantages et de risques liés à l'externalisation. Ceux-ci dépendent, entre autres, du secteur d'activité, du profil de l'organisation et de sa capacité à conduire l'externalisation avec succès.

Avantages de l'externalisation : Quelques avantages qui peuvent être gagnés par les organisations à travers l'externalisation, sont donnés par Campbell (1995) et Tsang (2002). Nous les récapitulons comme suit :

- l'organisation peut bénéficier d'un service avec une qualité meilleure à un prix inférieur, des idées et des technologies nouvelles et des potentiels d'amélioration qu'elle ne pourrait pas générer d'elle-même ;
- le fournisseur externe peut avoir un savoir-faire technique sophistiqué et profond au sujet de son secteur spécifique en plus d'avoir des équipements spécialisés ;
- l'externalisation peut fournir à l'organisation une plus grande flexibilité ;
- l'organisation peut réaliser une productivité plus grande avec les employés des fournisseurs ;
- l'organisation peut avoir moins de temps pour répondre à un nouveau concept ;
- le transfert de connaissance améliorera à long terme la qualité du travail exécutée par le personnel permanent ;
- l'organisation devra faire face à moins de problèmes sociaux ;
- le coût total du système sera réduit et
- les sujets du management stratégique des actifs recevront plus d'attention.

Cependant, ces avantages sont rarement réalisés parce que les contrats tendent à être adaptés à la tâche plutôt qu'à la performance ciblée et les rapports entre le client (utilisateur) et les entrepreneurs sont des rapports d'adversaires plutôt que de partenaires – l'entrepreneur

souhaite maximiser ses revenus, tandis que le but du client est de réduire au minimum les coûts (Tsang, 2002).

Risques de l'externalisation : Si les compagnies externalisent les activités qui sont des éléments cruciaux pour leurs noyaux de compétences, par souci de réduction des coûts et des effectifs, alors le contrôle des activités critiques de l'avantage concurrentiel de la compagnie peut être inconsciemment cédé aux fournisseurs. En effet, d'après Tsang (2002), il est extrêmement risqué d'externaliser le travail quand la compagnie n'a pas la compétence pour évaluer ou surveiller ses fournisseurs, ou quand elle manque d'expertise pour négocier un contrat de maintenance. La sous-traitance est aussi risquée si le marché est monopolisé par un fournisseur excessivement puissant, qui peut tenir en otage la compagnie. Par contre, si les différents fournisseurs sont trop faibles, ils peuvent ne pas offrir des services innovateurs aussi bons que ceux effectués à l'intérieur de la compagnie.

Aussi, l'externalisation crée d'autres risques qui peuvent être récapitulés comme suit (Tsang, 2002) :

- la compagnie peut se retrouver face à des sous-traitants incapables ou peu disposés à répondre à sa demande après avoir perdu ses qualifications nécessaires à l'exécution du travail exigé ;
- la communication à l'intérieur de la compagnie peut être affaiblie après avoir redessiné les lignes de communication, avec une perte potentielle de flexibilité ;
- un fournisseur externe, après l'accumulation d'une expertise avec l'appui de l'organisation, peut fournir ses connaissances aux concurrents de cette même organisation ;
- l'organisation peut perdre tout contrôle sur le fournisseur ;
- l'équilibre des forces pendant la période du contrat peut varier au profit du fournisseur ;
- le moral du personnel peut se détériorer suite à l'externalisation ;
- certains coûts cachés peuvent surgir ;
- l'accès aux talents externes peut ainsi être limité ; etc.

Pour éviter ces risques, Tsang (2002) propose d'adopter les mesures énumérées ci-dessous :

- prendre en charge les employés affectés ;
- éviter les contrats d'externalisation figés ou fixés ;
- partager les besoins en maintenance entre deux fournisseurs ou plus ;
- exiger du fournisseur l'utilisation d'une équipe stable pour la prestation du service ;
- employer trois équipes spécialisées dans les procédures des contrats (négociation du contrat, gestion du contrat et veille technologique).

En résumé, la compagnie doit s'assurer que la réputation de l'entrepreneur est solide, que le contrat fournit des bénéfices satisfaisants pour l'entrepreneur et qu'elle n'a externalisé aucune activité qui lui procure un avantage concurrentiel (Campbell, 1995).

1.3.1.4. Types de contrats d'externalisation de la maintenance

Le contrat d'externalisation de la maintenance peut varier selon la durée du contrat. Ce contrat peut être de long terme, d'une période déterminée ou saisonnier où il existe un travail interne avec une assistance externe pendant une période de travail maximal (pics). D'après Martin (1997), il y a trois types principaux de contrat que peut offrir un fournisseur externe.

Contrat de package work : Un contrat de "package work" représente le type de contrat le plus fondamental. Les compagnies exécutent, elles-mêmes, toute la logique de planification et de contrôle, c.-à-d. qu'elles fixent aux fournisseurs externes "quand" et "quelles" activités de

maintenance doivent être exécutées. Cette politique de sous-traitance exige que les activités de maintenance soient bien définies, comme l'assistance d'arrêt, la maintenance préventive, les réparations d'urgence simple, etc. La compagnie a le plein contrôle sur la conception des concepts de maintenance, la planification et la gestion des pièces de rechange. Le fournisseur apporte de la main d'œuvre qualifiée et/ou les outils au processus de maintenance de la compagnie. Une variante de ce type de contrat de maintenance est la consultation en management.

Contrat de performance spécifiée : Ce mode de contrat s'applique aux cas où une gamme complète des services de maintenance est attribuée à un seul entrepreneur. Au lieu d'indiquer "quand" et "quelles" activités de maintenance à exécuter, le contrat stipule la performance désirée sur les sorties principales (par exemple, le taux de défaillance, la disponibilité, le temps de réponse et le temps pour la restauration du système) (Tsang, 2002). Les fournisseurs sont responsables de la conception des concepts de maintenance, de la planification et le contrôle des activités de maintenance des systèmes techniques qui leurs sont soumis. La compagnie se concentre sur la définition des rapports de performance associée aux systèmes techniques qui sont sous-traités. Parfois les fournisseurs doivent obtenir l'approbation pour le concept de maintenance qu'ils souhaitent employer par la compagnie. Etant donné le niveau d'effort exigé, dans la plupart des cas, pour établir un contrat de performance et le niveau de confiance mutuelle qui doit être établie avec le temps, ce type de contrat est seulement faisable si la compagnie et le fournisseur travaillent ensemble pendant une longue période de temps (au moins 15 à 30 ans).

Contrat de location : Dans un contrat de location, la compagnie est principalement un utilisateur des systèmes techniques. Le fournisseur est propriétaire et mainteneur des systèmes techniques. La compagnie paye seulement pour le temps durant lequel, elle souhaite se servir de ces systèmes techniques et/ou du nombre de produits qu'elle produira avec ces systèmes. Habituellement, les compagnies doivent être d'accord avec des consignes d'utilisation fournies par le propriétaire des systèmes techniques, avant qu'elles ne puissent se servir d'eux. Le contrat de location est plus connu sous le nom de contrat de leasing.

La Figure 1.11 présente une comparaison entre les précédents types de contrats, selon le degré de complexité, la durée de la relation client-fournisseur et le degré de connaissance en maintenance.

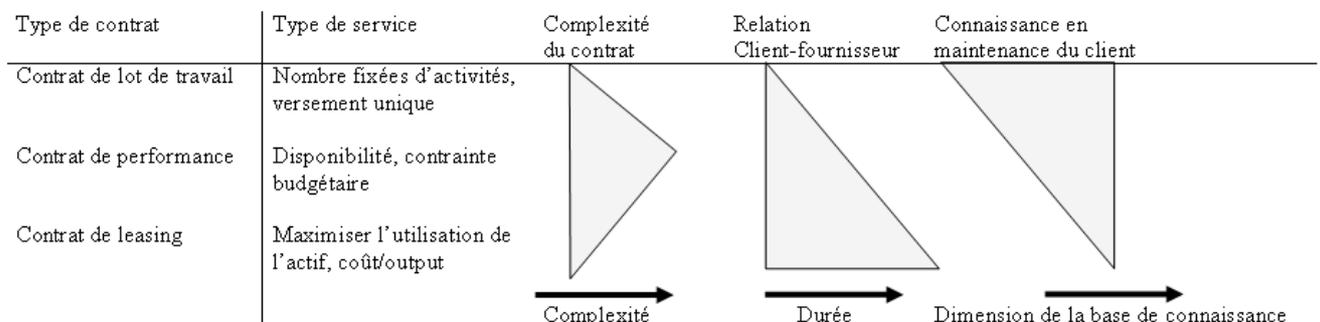


Figure 1.11 – Trois types de base des contrats de maintenance (Martin, 1997)

Les types de contrat précédents, sont des extrémités sur une échelle continue. Il est aussi possible de développer différentes options de contrats pour différents ensembles de systèmes techniques, en fonction des qualifications impliquées et des risques financiers encourus par les fournisseurs et les clients.

1.3.2. Organisation et structure du travail

Dans ce qui suit, nous discutons les décisions stratégiques impliquées dans la conception et la structure d'organisation de la maintenance.

1.3.2.1. Les niveaux de maintenance

Dans la littérature, nous retrouvons plusieurs classifications, sous forme de niveaux, des différentes opérations de maintenance. Ces niveaux de maintenance, font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches.

La norme FD X 60-000, classe les opérations de maintenance selon 5 niveaux, qui sont :

Premier niveau de maintenance : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

Deuxième niveau de maintenance : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

Troisième niveau de maintenance : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

Quatrième niveau de maintenance : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes les instructions de maintenance générales ou particulières.

Cinquième niveau de maintenance : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.

La décomposition détaillée en cinq niveaux de maintenance proposée ci-dessus peut être parfois ramenée à trois ou quatre niveaux selon d'autres normes ou usages. Par exemple, dans la logique de la TPM, la classification se ramène à trois niveaux seulement (Monchy, 2003) :

Niveau I : c'est la maintenance de première ligne transférée progressivement aux opérateurs de production, assistés si nécessaires par les techniciens de maintenance.

Niveau II : comprend les actions réalisées par des équipes polyvalentes de techniciens de maintenance, (par exemple, les diagnostics, interventions techniquement évoluées et mise en œuvre des améliorations).

Niveau III : concerne les travaux spécialisés souvent sous-traités pour que la maintenance puisse recentrer ses moyens sur son savoir faire.

Le travail de maintenance peut aussi être classé, selon ses caractéristiques de planification et de programmation comme suit (Kelly, 1997) :

Travail de première ligne : Ce type de travail est exécuté quotidiennement. Il consiste principalement en travail correctif d'urgence, les travaux qui doivent être effectués immédiatement ou avec un minimum de retard pour des raisons de sûreté ou pour des impératifs économiques. Puisque ces travaux se produisent aléatoirement, ils ne peuvent pas être programmés à l'avance. Les travaux correctifs simples différés et les routines préventives fréquentes telles que les remplacements mineurs, inspection et lubrification, sont également inclus dans cette première ligne.

Travail de deuxième ligne : Il se compose du travail correctif différé qui prend habituellement moins de deux jours pour être accompli et exige relativement peu d'ouvriers. Sont inclus aussi dans cette ligne, les travaux de reconditionnement mineurs, aussi bien que les services de périodicité courtes ou moyennes et le travail préventif. Ce type de travail peut avoir la priorité, être projeté et programmé dans le long terme.

Travail de Troisième ligne : Il comprend l'arrêt principal, révision d'usine, projets importants et modifications. Il crée des charges de travail considérables à moyen et à long terme.

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance, avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. Généralement, trois échelons sont ainsi définis :

Maintenance sur site : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place.

Maintenance en atelier : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention.

Maintenance chez le constructeur ou une société spécialisée : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les deux concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon. Les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier et celles de niveau 5 chez un

spécialiste hors site. Nous pouvons rencontrer en milieu industriel, des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site.

1.3.2.2. Localisation de la main d'œuvre de la maintenance

Le management de maintenance est à la charge d'une ou de plusieurs personnes désignées, dont les responsabilités et autorité doivent être définies. Le rôle des personnes en charge du management de maintenance, consiste à piloter toutes les actions qui concourent à atteindre aux meilleures conditions techniques et économiques, les buts et objectifs qui lui sont définis par la direction en matière de coûts, qualité, sûreté de fonctionnement, sécurité, environnement, etc. (AFNOR, 2002).

Dans beaucoup d'organisations, la fonction de management de maintenance est centralisée à travers le manager de maintenance qui est responsable de tous les aspects de maintenance. Cependant, la concurrence globale a stimulé la décentralisation et a déplacé la maintenance de l'atelier central vers le secteur des opérations. En plus, les expansions dans les capacités de production et le coût énorme lié au temps d'arrêt et aux pertes de production, la vitesse d'intervention de la maintenance peut être un facteur décisif pendant les situations de secours. Pour assurer un accès plus rapide aux services de secours, il pourra être nécessaire de se déplacer vers davantage de décentralisation. Aussi, la complexité croissante des fonctions de machine associée avec l'automatisation signifie que plus de savoir-faire spécialisé est exigé pour les maintenir. Une acquisition plus rapide du savoir-faire spécialisé est un avantage de la maintenance décentralisée.

Un système de maintenance "centralisé" signifie que toutes les fonctions et les services de la maintenance, sont fournis à l'organisation d'un emplacement géré centralement. Ce système est supposé assurer une maîtrise de la politique, des procédures, du système, de la qualité et de la formation. Cependant, son inconvénient principal est le manque de flexibilité qui se manifeste sous plusieurs formes : délai important pour conclure un marché, savoir-faire insuffisant de l'équipement spécifique, mécontentement chez le client, concentration sur l'efficacité et non pas sur l'efficacités, etc. (Marquez and Gupta, 2006).

Dans un système "décentralisé", chaque atelier de production gère sa propre fonction de maintenance, généralement sous la surveillance du manager de la production. La décentralisation de la maintenance s'est avéré un moyen efficace pour améliorer la communication et la coordination, en particulier dans un environnement techniquement complexe. Mais la décentralisation n'est pas la panacée. Avec la décentralisation complète il est facile de perdre de vue le business plan et l'environnement de corporation dans lesquels la fonction de maintenance doit être accomplie (Marquez and Gupta, 2006). La différence entre les systèmes centralisés et décentralisés est schématisée sur la Figure 1.12.

Dans la pratique, l'organisation de la maintenance dans la plupart des usines représente un mélange de ces deux configurations extrêmes. Les systèmes intermédiaires sont décrits comme étant des systèmes "semi centralisés". Un système semi centralisé de la maintenance, signifie habituellement que certaines des fonctions de la maintenance sont centralisées, tandis que les autres fonctions sont localisées dans différents domaines de production. Les fonctions décentralisées peuvent être choisies sur la base de différents critères. Dans certaines usines la décentralisation peut être basée sur les "métiers", par exemple, électrique, instrumentation, mécanique. Dans d'autres organisations, le dispositif de décentralisation peut être basé sur les

types de services tels que les réparations, révisions ou lubrification. Dans quelques usines, elle pourrait être basée sur l'aspect de la planification des services, c.-à-d. réparations de routine ou réparations régulières, réparations de secours, etc. (HajShirmohammadi and Wedley, 2004).

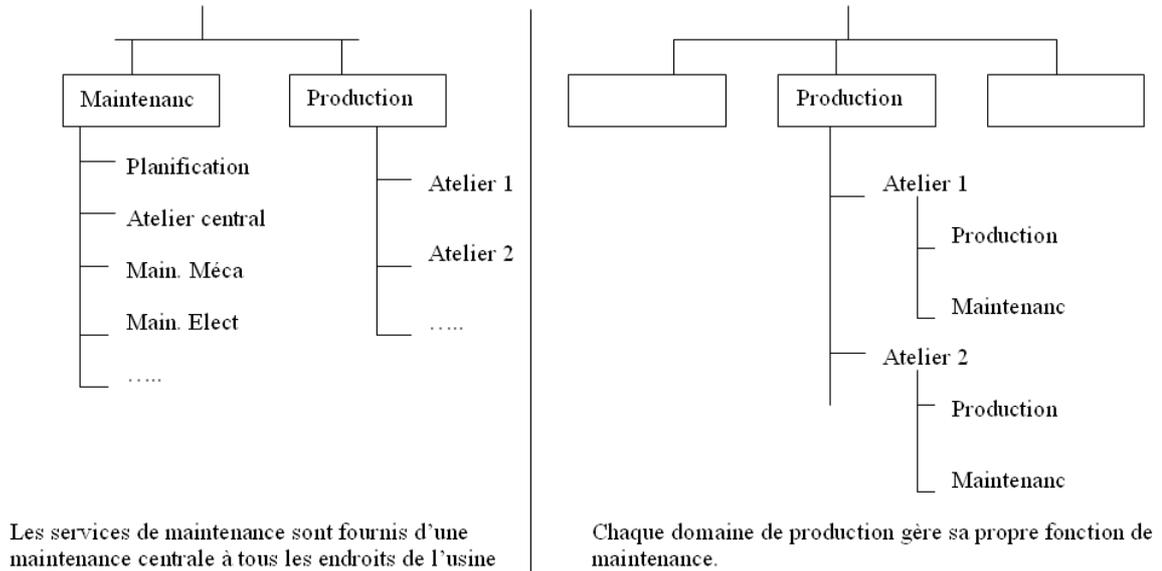


Figure 1.12 – Systèmes centralisés et décentralisés (HajShirmohammadi and Wedley, 2004)

Le système semi centralisé de la maintenance peut être aussi un système dans lequel le management et l'administration de toutes les fonctions de maintenance sont centralisés, mais les travailleurs seraient affectés à certains domaines de production. Cette configuration est schématisée par la Figure 1.13.

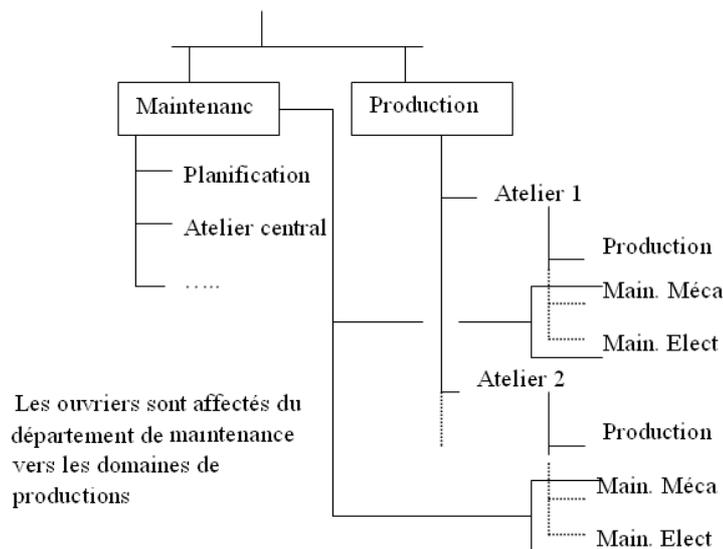


Figure 1.13 – Organisation semi centralisée de la maintenance

Dans ce type d'organisation (Figure 1.13), il peut exister des conflits potentiels devant la dualité de surveillance – un surveillant local du domaine de production et un autre surveillant de maintenance qui est responsable de la performance des travailleurs affectés aux domaines de la production. Pour résoudre un tel conflit potentiel, l'autorité du surveillant de maintenance et celle du surveillant de production doivent être clairement définies. Par exemple, le surveillant de la production prescrirait les priorités du travail puisque elles affectent la production, alors que le contrôle de la performance générale est une responsabilité du surveillant de maintenance (HajShirmohammadi and Wedley, 2004).

Campbell (1995) maintient qu'il n'y a pas de structures correctes pour l'organisation de maintenance, mais seulement des stratégies qui peuvent être efficacement appliquées dans des conjonctures économiques spécifiques.

D'une manière générale, les avantages de la maintenance centralisée sont l'amélioration de la qualité du management des données, la sauvegarde de l'intégrité des fonctions, des procédures et des politiques de maintenance et l'utilisation plus efficace de la main d'œuvre et des outils. De l'autre côté, les avantages de la décentralisation des systèmes de maintenance sont des services et communication plus rapides, une meilleure spécialisation et moins de travail de papier.

1.3.2.3. Spécialisation

La spécialisation peut être de deux natures : spécialisation en équipement et spécialisation en métier. La spécialisation en équipement peut s'étendre d'un travailleur flexible qui intervient sur tous les équipements au spécialiste qui travaille seulement dans un domaine indiqué ou sur un type particulier d'équipement. Les avantages de la spécialisation en équipement incluent la qualité améliorée de travail et une réponse plus rapide due à la plus grande connaissance de l'équipement et au sentiment de propriété chez le travailleur. Un esprit plus fort de travail d'équipe avec les exploitants de l'installation peut également être développé. Cependant, ce mode d'organisation implique une sous utilisation de la force de travail quand la charge de travail change considérablement d'un groupe spécialisé en équipement vers un autre et ne permet pas de réaliser un mouvement de travail flexible entre les groupes.

La spécialisation en métier est une caractéristique des organisations traditionnelles de la maintenance. Dans ces organisations, la structure est hiérarchique et fortement fonctionnalisée, par exemple l'ingénierie est responsable de la conception et la fourniture du nouvel équipement aussi bien que la modification de ceux qui existent déjà, la production est responsable de faire fonctionner l'équipement et la maintenance pour le maintenir. Encore plus, la force de travail de la maintenance est organisée dans des métiers fortement spécialisés. Il est approprié d'adopter la spécialisation du métier, dans des situations où le travail exige des qualifications spéciales et où la charge de travail peut être faite d'une façon relativement cohérente.

Cependant, ce type de conception d'organisation a les problèmes suivants qui peuvent avoir comme conséquence une faible efficacité opérationnelle :

- Faible utilisation des ressources, en raison de nombreux métiers ou groupes de maintenance et de production, appelés lors des pics de la charge de travail variable.

- La polarisation verticale et horizontale dans une structure, n'est pas favorisante d'un savoir d'organisation. Par exemple, il devient difficile de faire retourner l'information (feedback) de la maintenance pour aider à la spécification du nouvel équipement.
- Le sentiment de propriétaire des actifs chez le personnel, n'est pas encouragé.
- La délimitation fine des métiers et des niveaux de compétence crée une inflexibilité qui cause de l'inefficacité dans la planification et l'exécution des travaux de maintenance qui impliquent des tâches multi-métiers.
- Un coût de management élevé en raison d'un grand nombre de couches hiérarchiques et des positions fonctionnelles.

Il est plus habituel de trouver un travail de maintenance qui exige une gamme des qualifications, bien qu'une compétence particulière soit habituellement prédominante. Dans ces cas-ci, une flexibilité inter-métier est d'importance primordiale. Ceci peut être réalisé en développant une force de métier polyvalente. Cependant, faire une transition à partir d'une structure fortement spécialisée vers une autre flexible est un processus souvent prolongé et coûteux en raison de l'investissement dans la formation et l'installation de la nouvelle structure.

1.3.3. Méthodologie de maintenance

Il y a deux approches de base pour la maintenance d'un bien la première est réalisée après la détection d'une panne, c'est la maintenance corrective, la seconde est destinée à être effectuée avant l'occurrence de la défaillance du bien, c'est la maintenance préventive. Lorsque la maintenance préventive n'est pas en mesure d'apporter une solution applicable, efficace et économique pour éviter une défaillance et que la maintenance corrective ne constitue pas une solution acceptable au regard des objectifs visés, il faut envisager des améliorations ou modifications qui peuvent être apportées à ce bien.

Ces modifications visent à réaliser un ou plusieurs des objectifs suivants :

- améliorer la fiabilité intrinsèque en réduisant notablement la probabilité de défaillance ;
- augmenter la maintenabilité en rendant possible des interventions préventives ;
- réduire au minimum les besoins en ressources de maintenance ;
- élimination du besoin de la maintenance de routine ;
- améliorer la sûreté de fonctionnement ;
- limiter l'impact de la défaillance ou diminuer les coûts et l'indisponibilité dus aux actions correctives ou préventives ; etc.

Ces modifications, si elles sont accompagnées d'un changement dans la fonction requise du bien, alors elles ne sont pas considérées comme étant des actions de maintenance, même si elles peuvent être réalisées par le personnel de maintenance.

Dans la norme européenne EN 13306, nous retrouvons les définitions relatives aux différents types de maintenance. Ces derniers sont présentés dans la Figure 1.14.

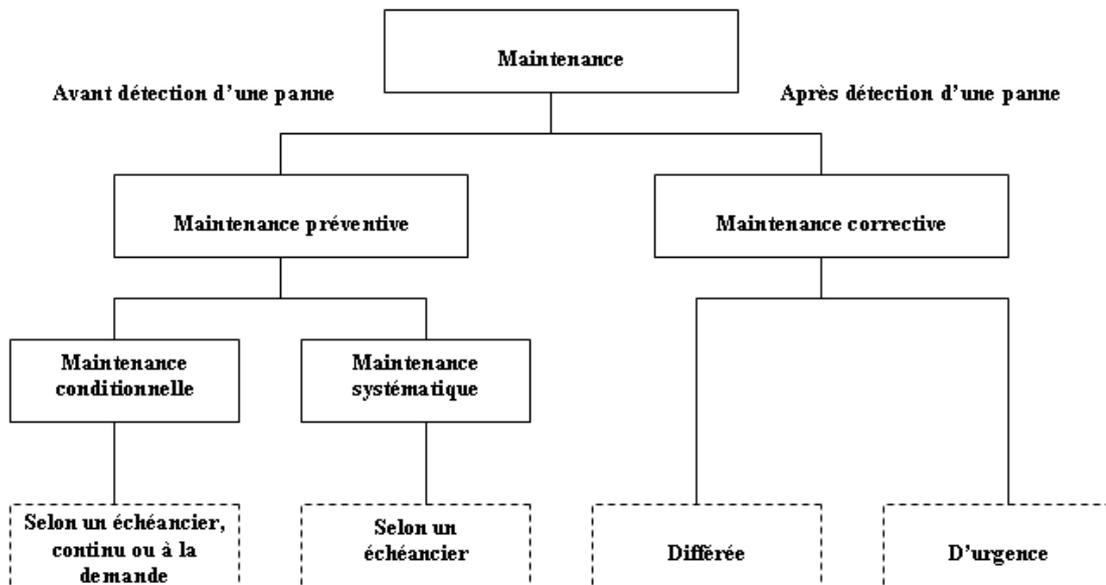


Figure 1.14 – Différents types de maintenance (AFNOR, 2001)

1.3.3.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective vise à rétablir le bien considéré dans l'état d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement et/ou partiellement. Elle comprend en particulier (AFNOR, 2002) :

- le diagnostic de la défaillance (détection, localisation, analyse) ;
- l'action corrective ou palliative immédiate (fonction requise totale ou marche dégradée) ;
- l'action corrective différée avec ou sans amélioration ;
- un essai de fonctionnement.

La maintenance corrective est, par définition, imprévisible mais pas forcément imprévue. Le schéma de la Figure 1.15 montre les différentes étapes qui constituent le processus de la maintenance corrective.

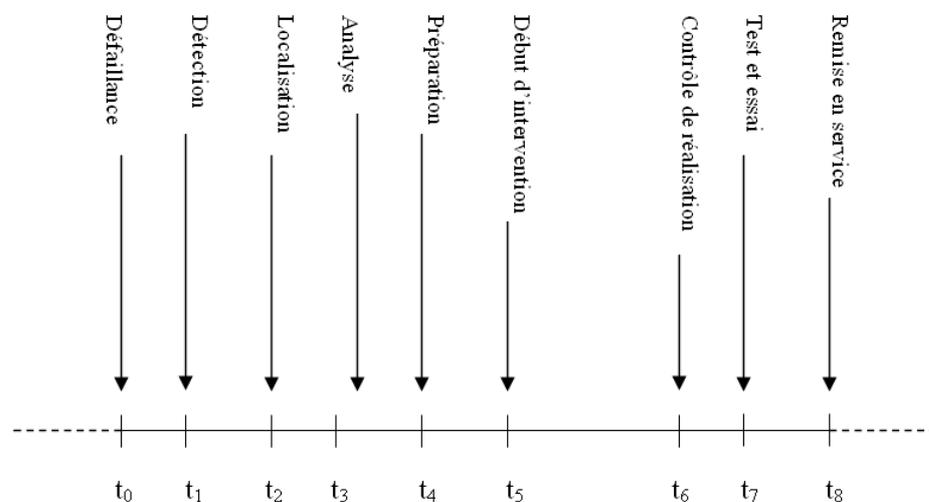


Figure 1.15 – Processus d'une maintenance corrective

Cette dernière Figure montre qu'entre le moment de l'occurrence de la défaillance T_0 et le moment du début de l'intervention T_5 , la durée ($T_5 - T_0$) est consacrée au diagnostic (détection, localisation et analyse) et à la préparation pour l'intervention. La minimisation de cette durée est très importante pour améliorer l'efficacité de la maintenance et la productivité.

La maintenance corrective n'est pas forcément celle qui est la moins coûteuse, d'abord parce que, pour une même intervention, elle peut forcer à engager des moyens exceptionnels justifiés par la criticité de la défaillance, d'autre part parce que l'interruption non programmée du service ou de la production, peut avoir des conséquences préjudiciables pour l'entreprise (AFNOR, 2002). Donc, la maintenance corrective peut être justifiée quand l'impact de la défaillance est sans importance ou l'investissement dans des mesures préventives, excède les avantages prévus d'une fiabilité améliorée ou d'une disponibilité plus élevée (Tsang, 2002).

La norme FD X 60-000 a distingué trois types de maintenance corrective, à savoir :

Maintenance corrective "acceptée" : La recherche permanente du meilleur rapport, usage/coût, peut conduire à accepter la défaillance d'un équipement avant d'envisager des actions de maintenance. Dans ce cas, seulement la maintenance de routine est assurée sur cet équipement jusqu'à ce qu'il échoue.

Maintenance corrective "palliative" : Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment "dépannage", la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

Maintenance corrective "curative" : Action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des actions réalisées doit présenter un caractère permanent.

1.3.3.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive vise à remplacer le bien ou le faire retourner aux bonnes conditions de fonctionnement avant que la défaillance ne se produise. Les formes les plus communes de cette politique sont la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle.

La maintenance préventive systématique inclut les actions de maintenance requises par les dispositions légales et/ou réglementaires. Elle inclut au minimum la planification formelle, la description claire et précise du travail à effectuer (lubrification, changement de filtres, remplacement des roulements, etc.) et l'enregistrement du travail accompli (AFNOR, 2002). La maintenance préventive systématique s'applique à des mécanismes de dégradation dont l'évolution est globalement connue. Ceci explique qu'elle n'inclut pas d'observation préalable de l'état du bien (AFNOR, 2002).

Il y a deux sortes de maintenance préventive systématique, la première est de type bloc et la seconde, de type âge. La politique de remplacement de type âge suggère de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement (par exemple, le changement de l'huile d'une voiture après tous les 4000 Km). La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après la panne et après une période prédéterminée de

temps T , $2T$, etc. indépendamment de l'âge et de l'état du composant. Changer l'huile d'une voiture après chaque deux mois est un exemple d'une politique de remplacement de type bloc. Dans la maintenance systématique, l'action de maintenance est effectuée sur l'article selon un programme qui peut être basé sur l'usage ou sur le temps écoulé, indépendamment de l'état réel de cet article. Ce programme est rarement optimal, puisque il est souvent élaboré sur la base de la recommandation du fournisseur faite avec, le cas échéant, une connaissance locale des conditions réelles d'utilisation, ou de l'expérience antérieure limitée. Les programmes de maintenance préventive qui réduisent au minimum la consommation de ressource ou maximisent la disponibilité, peuvent être déterminés par l'utilisation des modèles quantitatifs de décision. Les paramètres décrits dans ces modèles sont l'information effective comme la distribution du temps jusqu'à-défaillance, coûts intermédiaires (inspection, réparation ou remplacement) et la conséquence de la défaillance. Les modèles pour l'optimisation des décisions de la maintenance préventive systématique sont rapportés, par exemple, par les travaux de Duffuaa *et al.* (1999) et de Campbell and Jardine (2001).

Il est évident que sous le régime de la maintenance préventive systématique quelques articles peuvent être sur-maintenus, c.-à-d., remplacés prématurément. Cependant, si l'état de l'article peut être surveillé sans interruption ou par intermittence, il sera possible d'effectuer des actions de maintenance préventive seulement quand la défaillance est jugée être imminente. Ainsi, la maintenance préventive conditionnelle ou prévisionnelle suppose ici, l'idée de ne pas réaliser une action de maintenance sur un équipement tant qu'il n'est pas sur le point de ne plus assurer sa fonction requise. Ceci pour tenir compte du fait que la durée de vie de certains équipements peut diminuer si ces derniers sont arrêtés et redémarrés trop fréquemment ou s'ils sont démontés plus que nécessaire. Elle peut aussi permettre de réduire la fréquence de certaines actions de maintenance préventive qui nécessitent l'arrêt ou le démontage des équipements (AFNOR, 2002).

La maintenance conditionnelle ou prévisionnelle représente une démarche d'optimisation de la maintenance préventive systématique. Elle est basée sur la mesure objective des paramètres de dégradation du bien. Elle repose sur l'extrapolation de mesures et courbes de tendance en fonction de l'usage du bien. Les courbes sont issues de mesures successives comparées à celle du retour d'expérience (AFNOR, 2002). Pour mieux tenir compte de la dégradation réelle du matériel ou de l'équipement, des mesures périodiques ou continues de paramètres observables et significatifs de l'état de dégradation du bien permettent d'espacer ou de supprimer des tâches répétitives, coûteuses et parfois non justifiées (AFNOR, 2002).

Divers outils comme l'analyse de la vibration, la thermographie et l'analyse d'huile permettent de détecter les signes d'usure ou de dégradation de l'équipement. Ceci s'effectue en mesurant, à chaque inspection, la valeur d'un paramètre de contrôle tel que l'amplitude de déplacement, de vitesse ou d'accélération des vibrations, le degré d'acidité, ou la teneur de particule solide dans l'huile. L'action ne se déclenche que lorsque le paramètre de contrôle dépasse un seuil déterminé empiriquement, fixé par le constructeur ou par les normes de santé et de sécurité au travail. (Kaffel, 2001). Chacune de ces techniques de suivi conditionnel est conçue pour détecter une catégorie spécifique de défauts. Par exemple, la surveillance de vibration peut être employée pour détecter l'usure, le déséquilibre, la déviation d'alignement ou les assemblages détachés chez les machines tournantes. Tsang (1995), Jardine *et al.* (1997) et Jardine *et al.* (1998) donnent un aperçu sur les travaux récents qui concernent les modèles de maintenance conditionnelle.

Le concept de maintenance conditionnelle suppose que la procédure en trois étapes décrite ci-après soit suivie dans son intégralité et de façon systématique (AFNOR, 2002) :

Mesures ou observations : Elles doivent être reproductibles dans le temps et réalisées périodiquement ou en continu. Cette condition indispensable peut demander l'usage d'un appareillage approprié (mesureur à poste fixe ou portable).

Traitement des mesures : C'est la validation et la représentation formalisées des mesures permettant l'analyse.

Analyse : C'est la réflexion menée en particulier sur un graphe décrivant l'évolution des paramètres relevés. Toute tendance doit trouver son explication et conduire à l'établissement d'un diagnostic. Les interventions de maintenance seront planifiées en fonction de la prévision d'atteinte des seuils prédéterminés par retour d'expérience ou de leur franchissement. Le franchissement du seuil peut être mis en évidence par l'information donnée par un capteur ou par tout autre moyen.

1.3.3.3. Maintenance basée sur la fiabilité

L'approche de maintenance la plus adaptée à un article, peut être déterminée en utilisant la méthodologie de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF). La MBF correspond à une politique de maintenance qui identifie d'abord les matériels critiques dont les conséquences des défaillances sont importantes pour les objectifs de l'entreprise (sécurité, disponibilité, coûts, maintenabilité, qualité, etc.). La MBF a pour objectif d'éviter l'apparition de défaillances dont les effets se répercutent en termes de coûts directs et indirects pour l'entreprise (Zwingelstein, 1996).

L'identification des fonctions de système et les défaillances fonctionnelles, aussi bien que le mode de défaillance et les analyses des effets, sont des éléments importants en MBF. Réaliser ces analyses sur des actifs pour la première fois, est un travail intense (grand consommateur de temps et de main-d'œuvre). Elle exige la participation des opérateurs et des mainteneurs. Il y a deux raisons pour un tel besoin. D'abord, elle est dessinée sur la propre connaissance des opérateurs au sujet des actifs concernés. La participation motive les opérateurs à employer leur ressource pour développer des manières innovatrices dans l'accomplissement des tâches de la maintenance préventive. En second lieu, la collaboration consolide l'esprit de travail d'équipe entre le personnel de production et celui de la maintenance, remplaçant ainsi le rapport de rivalité qui existe généralement entre les deux parties. En outre, les résultats des études de MBF augmentent les capitaux intellectuels de l'organisation. La connaissance et l'expérience ainsi acquises sont fermement enfermées dans l'organisation et elles peuvent être mises en bonne utilisation dans de futurs projets.

Etant un processus coûteux et prolongé, la MBF devrait être mise en application sélectivement. Seulement les systèmes complexes et à haut risque ou ceux étant excessivement sur-maintenus, qui sont susceptibles d'obtenir des avantages qui justifient un tel investissement.

Cependant, la MBF peut créer une certaine inquiétude chez la main d'œuvre. Les pratiques en matière de maintenance existantes sont révisées. En conséquence, certaines pratiques courantes sont abandonnées ou éliminées et d'autres nouvelles sont introduites. La

perspective du déplacement du travail, est généralement perçue chez les employés comme une menace pour la sécurité de leur emploi. Le défi pour qu'ils apprennent de nouvelles qualifications exigées par leurs nouvelles conditions de travail, peut également être menaçant. Prendre les étapes pour apaiser ces craintes, est la clé principale pour une exécution réussie de la MBF.

1.3.3.4. Maintenance productive totale

La MBF est une méthodologie centrée sur l'équipement afin de déterminer les décisions optimales à prendre concernant le type de tâches de maintenance à employer. En revanche, la Maintenance Productive Totale (Total productive maintenance, TPM), est une méthodologie avec une très différente orientation. Elle se concentre sur les personnes et est une partie intégrale de la Total Quality Management (TQM). La méthodologie de TPM a été développée dans les industries du Japon, dans le but d'éliminer les pertes de production en raison des pannes des machines dans les systèmes de production "Just-In-Time".

L'approche TPM redéfinit l'organisation du travail de maintenance en appliquant les principes suivants :

- Entretenir un sentiment de propriété chez l'opérateur par l'introduction du concept de l'opérateur de maintenance autonome. L'opérateur prend la responsabilité pour les premiers soins de son équipement. Les tâches impliquées incluent le nettoyage, l'inspection de routine, la lubrification, les ajustements, les réparations mineures, aussi bien que la propreté et l'ordre de l'espace de travail de l'opérateur.
- Optimiser les qualifications et la connaissance de l'opérateur pour son équipement pour maximiser l'efficacité fonctionnelle. L'opérateur est ainsi mobilisé pour détecter tôt les signes d'usure, le mauvais réglage, les fuites d'huile, les morceaux errants ou les pièces endommagées. Il est également impliqué dans la proposition des améliorations pour éliminer les pertes dues aux pannes ou à l'exploitation sous-optimale de l'équipement.
- Employer des équipes inter-fonctionnelles qui se composent des opérateurs, mainteneurs, ingénieurs et managers pour améliorer la performance des personnes et des équipements.
- Etablir un programme de nettoyage et de maintenance préventive pour maximiser le temps de bon fonctionnement.

Etant allégé des activités primaires de l'entretien, l'expertise du Département de maintenance peut ainsi, être redéployé pour se concentrer sur un travail plus spécialisé tel que les réparations majeures, les révisions, améliorer la performance de l'équipement, la création, le remplacement et la modification des actifs physiques. Au lieu de devoir s'occuper des corvées nombreuses, le Département de maintenance peut consacrer ses ressources pour aborder les questions stratégiques comme la formulation des politiques de maintenance, implémenter les systèmes d'information de maintenance, présenter les nouvelles technologies de maintenance, entraîner et développer la force de travail dans les opérations de maintenance, etc.

La TPM n'est pas une solution rapide. Elle exige un changement de l'attitude des employés et de leurs valeurs, qui prend du temps à s'accomplir. Par conséquent, elle exige une pensée et une planification à long terme. Le top management doit démontrer son engagement à la TPM, lui consacrer le temps nécessaire, allouer les ressources suffisantes pour créer et soutenir le changement culturel et fournir la formation nécessaire aux employés pour réaliser la maintenance autonome.

1.3.4. Systèmes de soutien

Le système de soutien qui doit être implémenté par le management pour réussir la maintenance, comporte deux éléments essentiels qui sont les facteurs humains et les flux d'information.

1.3.4.1. Facteurs humains

D'après Tsang (2002), pour réussir les programmes de changement, il est nécessaire de réunir certaines conditions dans le système de gestion des ressources humaines. Parmi les plus importantes, il y a lieu de citer :

Participation et autonomie : le management doit impliquer les employés dans la définition des objectifs de travail, leur indiquer comment les réaliser et régler les cibles tout le long du parcours.

Hierarchie et communication : La fonction de la hiérarchie n'est pas seulement une fonction de contrôle, mais aussi de soutien et d'appui. Les décisions sur l'implémentation ou l'introduction d'un nouveau système, doivent être faites après que les managers aient entamé un dialogue avec les employés affectés.

Formation : La formation ne doit pas être limitée au transfert des qualifications et des connaissances techniques requises pour l'exécution optimale des tâches de maintenance. Elle doit également couvrir des sujets génériques tels que les techniques de résolution des problèmes, la dynamique d'équipe et les techniques de communication.

Récompense et identification : d'après Tsang (2002), l'engagement et la disponibilité du management, la délégation des pouvoirs, la participation à la formation, une organisation basée sur la politique, les processus structurés et la documentation, un solide réseau de communication, un système pour la mesure de performance, etc., sont les facteurs critiques pour réussir le système de récompense dans une organisation.

1.3.4.2. Flux d'information

Ce pilier permet aux managers, aux planificateurs, au personnel de production et de maintenance d'avoir accès à toutes les données d'équipement. Il transforme ces données en information qui serait employée pour déterminer les priorités des actions et pour prendre des décisions à chacun des trois niveaux des activités de l'entreprise : stratégique, tactique et opérationnel. Les outils utilisés pour cela sont :

Mesure de performance : La performance est mesurée en référence aux objectifs clairement définis. Mesurer la performance de la maintenance dans sa totalité est compliquée parce que des objectifs multiples agissant l'un sur l'autre sont impliqués. Certains de ces objectifs affectent les autres dans un rapport inverse.

Les Systèmes d'information : Les systèmes d'information permettent l'écoulement de l'information à travers l'organisation pour soutenir les tâches de gestion. L'apparition des systèmes d'entreprise – des logiciels avec modules entièrement intégrés pour les processus

principaux dans l'organisation entière – offre la possibilité d'intégrer tous les flux d'information dans l'organisation. Si la maintenance est une fonction significative dans l'organisation, le système d'entreprise doit avoir les modules qui soutiennent le management de la maintenance.

e-maintenance : Le volume des données disponibles chez les managers de la maintenance augmente rapidement. Le problème est aggravé dans le cas des organisations avec des opérations couvrant de grandes surfaces géographiques, comme pour les opérateurs d'équipements collectifs publics, de transport et les fournisseurs de services aux constructions.

L'e-maintenance, un concept naissant qui exploite le potentiel des technologies numériques, offre de nouvelles options pour traiter ce problème. Deux des initiatives de l'e-maintenance sont :

- **e-CBM (e-Condition Based Maintenance)** : Des dispositifs de télédétection sont déployés pour surveiller l'état et la performance des équipements. Les données capturées sont transmises par l'intermédiaire du Web vers un site sécurisé pour l'analyse et la prise de décision. Dans cette initiative aucun logiciel autre que le Web browser ne sera exigé, éliminant ainsi le besoin de logiciels.
- **e-CMMS (e-Computerised Maintenance Management System)** : dans cette option les systèmes de GMAO fonctionnent par le Web. Le fournisseur de service est l'expert qui connaît les besoins de l'utilisateur du logiciel et lui fournit une solution totale – il est responsable de l'installation du matériel et du logiciel, personnalisation et surveillance continue de l'application pour assurer la livraison de la performance requise du système.

Cependant, la contrainte importante pour l'adoption rapide de l'e-maintenance est le souci de sécurité résultant des transactions à travers l'Internet. L'e-maintenance rend les systèmes d'entreprise accessibles, non seulement aux employés, mais également aux fournisseurs, aux clients et à n'importe quelle personne avec qui l'organisation est susceptible de faire des affaires. Ce qui permet ainsi, aux concurrents et aux intrus d'avoir un accès possible aux ressources d'information de l'entreprise. Les approches pour adresser un tel souci de sécurité incluent l'authentification, confidentialité, livraison sécurisée, droit privé et non-répudiation.

Le risque de management dans l'e-maintenance est une compensation entre d'un côté la protection et la fonctionnalité et de l'autre côté la performance et la facilité d'utilisation (Tsang, 2002).

1.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé la définition, la mission, les facteurs de succès et le degré de complexité du management de maintenance. Ainsi, nous avons montré que la fonction maintenance inclut plusieurs activités et disciplines et que son rôle dans la survie de l'entreprise est primordial, mais difficilement discernable. Cela rend la mission confiée par la direction, au management de maintenance très complexe à réussir. Pour faciliter cette tâche, quelques cadres théoriques repérés dans la littérature, ont proposé des structures de support et des systèmes de base qui sont nécessaires pour un management efficace de la maintenance. Nous avons repris certains de ces cadres dans ce chapitre. Chacune des contributions présentées, suggère que le management de maintenance doit être aligné avec les actions de maintenance dans les trois niveaux d'entreprise : stratégique, tactique et opérationnel.

Etant donné l'objet de cette thèse, nous nous sommes focalisés sur le management stratégique de la maintenance. En conséquence, nous avons présenté dans ce chapitre les dimensions stratégiques du management de maintenance. Quatre dimensions du management de maintenance ont été discutées, à savoir : options de livraison du service de maintenance, organisation et structure de la fonction maintenance, méthodologie de maintenance et conception de l'infrastructure de soutien à la maintenance. La quatrième dimension stratégique inclut la mesure de performance de la maintenance. Cette dernière est l'objet du prochain chapitre de ce mémoire.

Chapitre 2

Chapitre 2

Mesure de performance de la maintenance

Pendant les deux dernières décennies, la mesure de performance a reçu beaucoup d'attention de la part des chercheurs, il n'est que de penser au nombre d'articles qui sont publiés en la matière ; par exemple, Parida (2006) rapporte qu'entre 1994-1996, 3615 articles ont été publiés sur des sujets en relation avec la mesure de performance. La mesure de performance de maintenance a aussi suscité une grande attention de la part des chercheurs et praticiens. En effet, l'augmentation de la prise de conscience que la maintenance crée de la valeur ajoutée, a encouragé les organisations à traiter la maintenance comme étant une partie intégrale de leurs entreprises (Liyanage and Kumar, 2003). Il est important que la performance du processus de maintenance soit mesurée, de sorte qu'elle puisse être contrôlée et suivie pour prendre les actions de correction appropriées, afin d'augmenter l'efficacité et l'efficience des actifs maintenus, tout en minimisant les risques dans le domaine de la sécurité et en répondant aux exigences réglementaires. Sans aucune mesure formelle de performance, il est difficile de planifier, contrôler et améliorer les résultats du processus de maintenance.

L'objet du présent chapitre est de décrire, dans une première section, les principaux travaux réalisés dans le domaine de la mesure de performance. La deuxième section, passe en revue les travaux de la littérature concernant la mesure de performance de la fonction maintenance.

2.1. La théorie de mesure de performance

Dans cette section nous présentons, quelques définitions concernant les systèmes de mesure de performance (performance measurement, PM), les principaux cadres de PM et l'approche générale de conception d'un système de PM.

2.1.1. Système de mesure de performance

Neely (1999) présente sept (07) raisons principales pour expliquer la révolution actuelle que connaît la théorie de PM :

- le changement dans la nature du travail ;
- l'accroissement de la concurrence ;
- l'apparition des initiatives spécifiques d'amélioration ;
- les prix nationaux et internationaux ;
- les changements dans les rôles organisationnels ;
- les changements dans les demandes externes et
- la puissance de la technologie d'information.

D'après Neely *et al.* (1995), la PM peut être examinée à trois différents niveaux :

- les indicateurs individuels de performance ;
- le système de mesure constitué de l'ensemble des indicateurs individuels de performance et
- le rapport entre le système de mesure de performance et l'environnement dans lequel il fonctionne.

Selon leurs perspectives, les indicateurs de performance peuvent être classés en plusieurs types. Nous retrouvons, ainsi les indicateurs financiers (par exemple le retour sur capitaux propres et la marge bénéficiaire) et les indicateurs non financiers (par exemple la qualité et l'innovation). La plupart des mesures financières reflètent les résultats des décisions passées. Par conséquent, les indicateurs financiers sont des indicateurs de retard puisqu'ils risquent de ne pas montrer les problèmes au moment opportun afin de prendre les bonnes décisions.

Les indicateurs financiers traditionnels sont critiqués parce qu'ils (Neely, 1999) :

- encouragent le court terme ;
- manquent d'intérêt stratégique et ne fournissent pas des données sur la qualité, le degré de réponse et la flexibilité ;
- encouragent l'optimisation locale ;
- encouragent les managers à réduire au minimum l'écart par rapport à une norme plutôt que de rechercher une amélioration continue ;
- ne fournissent pas d'informations sur les clients et les concurrents ;
- impliquent une surcharge de données dont souffre la plupart des managers ;
- sont rarement intégrés entre eux ou alignés sur les processus de l'entreprise ;
- sont souvent mal définis ;
- sont d'intérêt historique ; par exemple, le chiffre d'affaires rapporte simplement ce qui s'est produit la semaine dernière, le mois dernier ou l'année dernière, tandis que la plupart des managers veulent aussi des mesures prédictives qui indiquent ce qui se produira la semaine prochaine, le mois prochain ou l'année prochaine.

Une autre classification des indicateurs de performance est liée au dynamisme de l'indicateur. Il existe ainsi, des indicateurs de résultat (par exemple, la qualité, le revenu et le profit) et des conducteurs de performance (par exemple, la durée de cycle). Les conducteurs de performance, ont la puissance de prévoir les résultats futurs. Ainsi, ils sont désignés également sous le nom d'indicateurs d'avance.

Il est largement accepté en littérature que les dimensions principales de la performance chez les entreprises industrielles, peuvent être définies en termes de qualité, temps, coût et flexibilité (Neely *et al.*, 1995). Cependant, une confusion existe toujours concernant ce que ces termes génériques veulent dire. Le Tableau 2.1 montre que les termes de qualité, temps, coût et flexibilité entourent une variété de dimensions différentes.

Tableau 2.1 – Dimensions multiples de la performance industrielle (Neely et al, 1995)

Qualité	Temps	Coût	Flexibilité
Performance	Délai de fabrication	Coût de fabrication	Qualité de matière
Marque	Rythme d'introduction de production	Valeur ajoutée	Qualité du produit
Fiabilité	Délai de livraison	Prix de vente	Produit nouveau
Conformité	Performance d'échéance	Coût de fonctionnement	Produit modifié
Durabilité technique	Fréquence de livraison	Coût de service	Habilité à livrer
Praticabilité			Volume
Esthétique			Permutation
Qualité perçue			Mélange de ressources
Humanité			
Valeur			

Indicateurs de performance concernant la qualité : Traditionnellement, la qualité est définie en termes de conformité par rapport aux spécifications et par conséquent, les indicateurs de performance basées sur la qualité se concentrent sur le nombre de défauts produits et le coût de qualité. Le coût réel de qualité est une fonction des coûts de prévention, d'évaluation et de défaillance. Avec l'arrivée du management de la qualité totale (TQM), l'accent est mis sur la satisfaction du client plutôt que sur la conformité par rapport aux spécifications. En conséquence, l'utilisation des enquêtes d'opinion de client et de la recherche de marché est devenue plus répandue. D'autres actions de qualité incluent le processus de contrôle statistique et le concept de six-sigma de Motorola (Neely *et al.*, 1995).

Indicateurs de performance concernant le temps : Le temps a été décrit à la fois comme source d'avantage concurrentiel et mesure fondamentale de performance dans l'industrie. Sous la philosophie de "Just-In-Time", la production ou la livraison des marchandises, juste trop tôt ou juste trop tard, sont considérés comme étant un gaspillage. De même, un des objectifs de la technologie d'optimisation de la production est la minimisation des temps de cycle (Neely *et al.*, 1995).

Indicateurs de performance concernant le coût : En raison des critiques adressées à la comptabilité de gestion traditionnelle (par exemple, l'hypothèse d'attribution des frais généraux selon le coût direct de travail, n'est pas adaptée à l'environnement actuel des entreprises), une nouvelle approche de comptabilité, connue sous le nom : *Activity Based Costing* (ABC), a été développée. L'approche ABC était à l'origine conduite par la nécessité de produire des coûts de produit plus précis. L'avantage de l'ABC est, en grande partie, fonction de l'analyse du processus et ceci est lié au concept de re-conception des processus d'entreprise (Neely *et al.*, 1995). Un autre indicateur de performance, largement documenté, basé sur le coût est la productivité. Celle-ci est définie comme étant le rapport entre l'output total et l'input total. Des problèmes surgissent avec la mesure de la productivité parce qu'il ne s'agit pas seulement de définir des entrées et des sorties, mais également de les mesurer.

Indicateurs de performance concernant la flexibilité : Slack (1983), identifie la gamme, le coût et le temps comme dimensions de flexibilité, bien qu'il modifie plus tard ce modèle de sorte qu'il inclue seulement la gamme et la réponse. La gamme se rapporte à la question de la marge à laquelle le système de fabrication peut changer et la réponse se concentre sur la question de la façon, avec laquelle elle peut changer rapidement et à moindre coût. Cox (1989) perçoit le concept de la flexibilité comme mesure de l'efficacité avec laquelle le processus de fabrication peut être changé (Neely *et al.*, 1995).

Plusieurs auteurs ont proposé des cadres pour la conception des systèmes de mesure de performance en se basant sur les quatre types d'indicateurs cités auparavant, à savoir les indicateurs financiers, non financiers, de retard et d'avance. Nous donnons dans ce qui suit, un aperçu sur les approches théoriques les plus connues pour la construction d'un système de mesure de performance.

2.1.2. Cadres pour la conception des systèmes de mesure de performance

La conception des systèmes de mesure de performance appropriés pour les entreprises modernes, est un sujet d'une préoccupation croissante pour les académiciens et les praticiens (Aoudia, 2005). Dans la littérature nous retrouvons plusieurs cadres pour la mesure de performance :

- Balanced Scorecard.
 - Prisme de performance.
 - Matrice de performance.
 - Cadre des résultats et des déterminants.
 - Cadre basé sur le temps.
 - Cadre d'inputs-outputs.
 - Pyramide de performance.
 - European Foundation Model for Quality Management's Business Excellence.
- Un aperçu sur chacun de ces cadres est donné ci-dessous.

2.1.2.1. Balanced Scorecard

Actuellement, un des cadres les plus largement identifiés pour la mesure de performance est la Balanced Scorecard (BSC). La Balanced Scorecard a été proposée par Kaplan and Norton (1992). Les indicateurs pour mesurer la performance dans le cadre de la BSC sont établis autour de quatre perspectives (Kaplan and Norton, 1992) :

- financière (vision de l'investisseur) ;
- client (les attributs de performance évalués par les clients) ;
- les processus internes (les moyens de long et court terme pour réaliser les objectifs) et
- l'apprentissage et la croissance (capacité de s'améliorer et de créer de la valeur).

Ces perspectives sont présentées par la Figure 2.1.

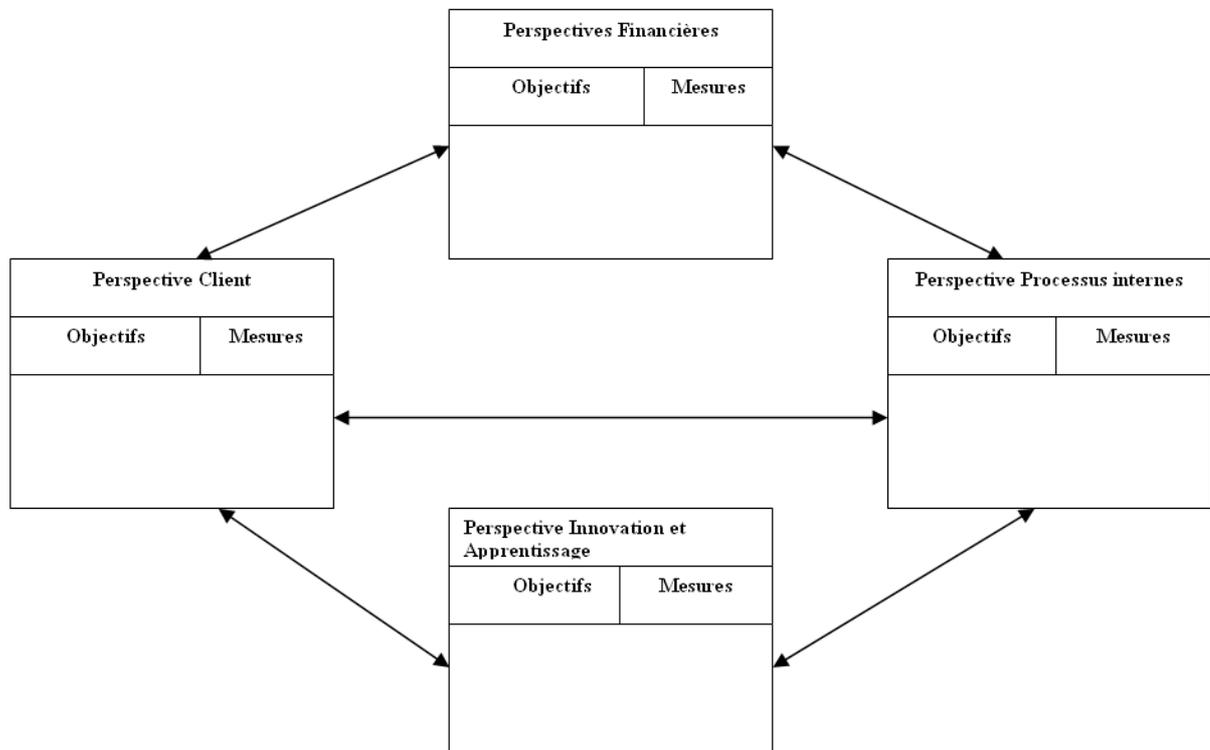


Figure 2.1 – Balanced Scorecard (Kaplan et Norton, 1992)

La BSC fournit un cadre pour établir un système de management de la performance au niveau de la compagnie ou d'une unité d'entreprise (Tsang *et al.*, 1999). La BSC peut être très utile

pour le management, puisqu'elle dirige les managers d'abord, à identifier tous les indicateurs principaux qui sont critiques pour l'organisation et ensuite, à se concentrer uniquement, sur une poignée d'indicateurs qui sont les plus critiques pour le succès continu de l'organisation, en concordance avec la stratégie adoptée.

La BSC fournit un moyen à l'organisation pour articuler et opérationnaliser la stratégie adoptée. La stratégie est traduite dans des objectifs stratégiques de long terme, dont l'accomplissement est déterminé par des mesures de performance appropriées avec leurs cibles relatives. Les plans d'action sont ensuite formulés pour atteindre ces objectifs stratégiques. Par conséquent, les rapports de causes à effets entre les plans d'action et la stratégie adoptée, forment une des hypothèses admises par cette approche (Tsang, 1998), comme le montre la Figure 2.2.

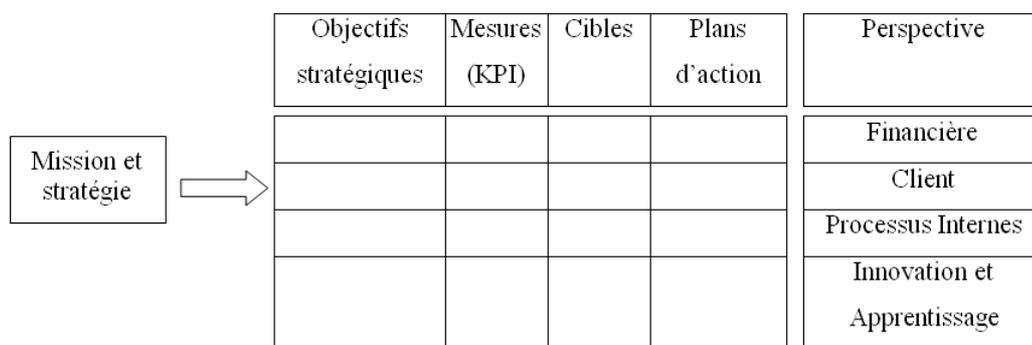


Figure 2.2 – La BSC relie les objectifs stratégiques aux actions de court terme (Tsang, 1998)

Il est important de noter que la BSC ne définit pas la meilleure stratégie que doit adopter une compagnie, d'ailleurs aucun système ne peut faire cela ; mais c'est de la responsabilité du top management de définir sa stratégie à partir de la vision et des objectifs de la compagnie. La BSC ne peut pas également choisir les meilleures mesures de la stratégie. C'est également de la responsabilité des différents niveaux de management (top, moyen et inférieur).

Lorsque des changements de stratégie et/ou de structure de l'entreprise se produisent, la BSC doit être mise à jour. Il est même recommandé par les auteurs de la BSC, de mettre à jour cet outil d'une manière régulière (Gautreau and Kleiner, 2001). La communication est essentielle lors de l'utilisation de la BSC. Le management doit communiquer d'une façon claire, la stratégie adoptée aux employés et la manière avec laquelle, ils s'attendent à ce que les employés contribuent à réaliser les buts de l'entreprise (Gautreau and Kleiner, 2001).

Bien que la BSC apparaisse comme un cadre complet pour la mesure de performance, elle n'échappe pas, cependant, à certaines insuffisances. En effet, l'implémentation et la mise à jour de la BSC sont des tâches difficiles à accomplir et nécessitent un temps et des ressources importants. Le temps total de développement d'une BSC, est souvent un an ou plus (Gautreau and Kleiner, 2001). En outre, les indicateurs non financiers de la BSC, sont souvent difficiles à établir et à relier. En plus de cela, il peut être difficile de mesurer ces indicateurs et l'approche peut mener à un nombre excessif d'indicateurs de performance. Certes, la BSC fournit un cadre utile pour mesurer la performance, mais il y a peu de fondements, en termes de processus de conception du système de mesure de performance.

2.1.2.2. Prisme de performance

Le prisme de performance a été développé par Neely and Adams (2001). Cinq perspectives distinctes, mais logiquement liées, de la performance sont identifiées ainsi que cinq questions principales pour la conception du système de mesure :

- Satisfaction de partenaire : quels sont les partenaires principaux, que veulent-ils et de quoi ont-ils besoin ?
- Stratégies : quelles sont les stratégies qui doivent être mises en place pour satisfaire les ambitions et les besoins des partenaires principaux ?
- Processus : quels sont les processus critiques nécessaires à la réalisation des stratégies ?
- Capacités (capabilities) : quelles sont les capacités nécessaires pour faire fonctionner et améliorer les processus ?
- Contribution du partenaire : quelles sont les contributions à exiger des partenaires pour maintenir et développer les capacités ?

Ces cinq perspectives de performance peuvent être représentées sous forme de prisme, comme le montre la Figure 2.3.

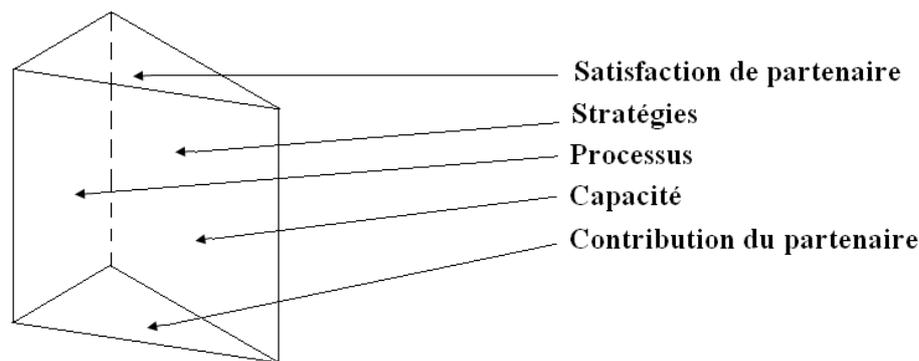


Figure 2.3 – Prisme de Performance (Neely and Adams, 2001)

Le prisme diffuse la lumière. Il illustre la complexité cachée de quelque chose qui apparaît comme simple, telle que la lumière blanche. Il est de même pour le prisme de performance. Il illustre la complexité de la mesure de performance. Dans ce prisme de performance, les facettes du haut et du fond représentent, respectivement, la satisfaction et la contribution du partenaire. Les facettes latérales représentent les stratégies, les processus et les capacités.

2.1.2.3. Matrice de performance

La matrice de performance proposée par Keegan *et al.* (1989) (in Neely *et al.*, 2000) est présentée par le schéma de la Figure 2.4.

La force de cette matrice, se situe dans le fait qu'elle cherche à intégrer différentes dimensions de performance. Aussi, elle utilise les termes génériques "interne", "externe", "coût" et "non-coût" qui lui procure une meilleure flexibilité par rapport à la BSC. C'est-à-dire que la matrice de performance, devrait pouvoir adapter n'importe quel indicateur qui s'ajuste dans le cadre fourni par la BSC, tandis que l'inverse peut ne pas être vrai, par exemple, la performance du

concurrent. Cependant, la matrice de performance, n'est pas aussi bien empaquetée que la BSC et ne rend pas explicites, les liens existants entre les différentes dimensions de la performance de l'entreprise, qui est une des forces de la BSC.

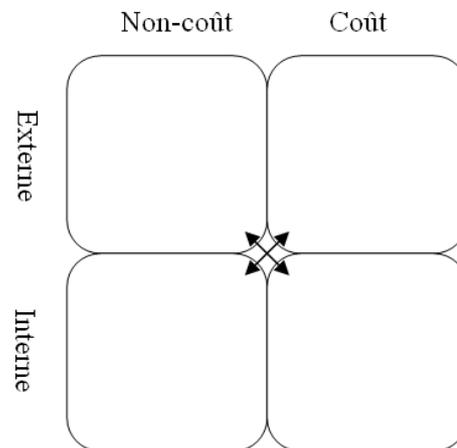


Figure 2.4 – Matrice de mesure de performance (Neely *et al.*, 2000)

2.1.2.4. Cadre des résultats et des déterminants

Une alternative, qui surmonte la critique de la matrice précédente, est le cadre des résultats et des déterminants représenté par le Tableau 2.2. Ce cadre, développé par Fitzgerald *et al.* (1991) (in Neely *et al.*, 2000) suite à leur étude sur la mesure de performance dans le secteur des services, est basé sur l'hypothèse qu'il y a deux types de mesure de performance de base dans toute organisation, ceux qui sont reliés aux résultats (compétitivité, performance financière) et ceux qui se concentrent sur les causes déterminantes des résultats (qualité, flexibilité, utilisation de ressource et innovation). Il ressort de cette distinction, que les résultats sont des indicateurs de retard, tandis que les déterminants sont des indicateurs d'avance.

Tableau 2.2 – Cadre des résultats et des déterminants (Neely *et al.*, 2000)

Résultats	Performance financière
	Compétitivité
Déterminants	Qualité
	Flexibilité
	Utilisation des ressources
	Innovation

2.1.2.5. Cadre basé sur le temps

Certains auteurs ont proposé des cadres de mesure très détaillés et spécifiques. Par exemple, Azzone *et al.* (1991) (in Neely *et al.*, 2000) ont développé le cadre montré au Tableau 2.3, qui cherche à identifier les indicateurs les plus appropriés pour les organisations qui ont choisi de poursuivre une stratégie de concurrence basée sur le temps.

Tableau 2.3 – Cadre pour la concurrence basée sur le temps (Neely *et al.*, 2000)

	Configuration interne	Configuration externe
Temps d'engineering pour R&D	Nombre de changements dans les projets Délai moyen entre deux innovations successives	Temps de développement de nouveaux produits
Temps de capacité de fonctionnement	Adhérence aux échéances Qualité entrante Distance parcourue Temps de valeur ajoutée (pourcentage du temps total) Réalisation du programme	Qualité sortante Coût de fabrication
Délai de traitement des commandes	Complexité des procédures Taille des fichiers	Temps cycle Temps de soumission

2.1.2.6. Cadre de Brown

Le cadre de Brown (1996) (in Neely *et al.*, 2000), qui est montré sur le schéma de la Figure 2.5, est utile parce qu'il accentue la différence entre les inputs, le processus, les outputs et les indicateurs de résultats.

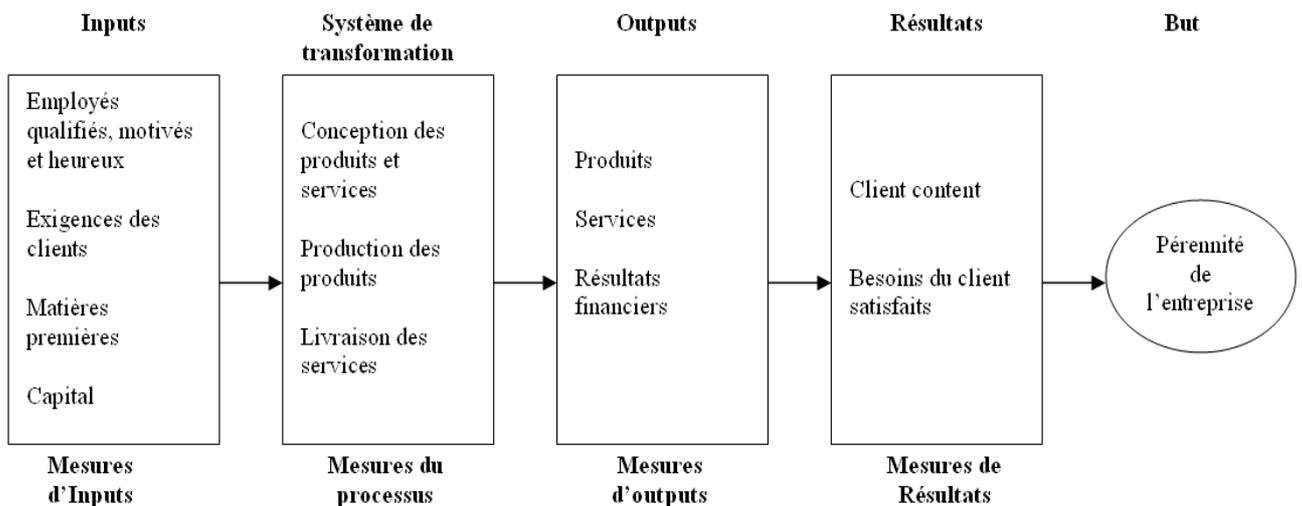


Figure 2.5 – Cadre de Brown (Neely *et al.*, 2000)

2.1.2.7. Pyramide de performance

La pyramide de performance de Lynch et Cross (1991) (in Neely *et al.*, 2000) est représentée par le schéma de la Figure 2.6. Ce cadre relie la vue hiérarchique de la mesure de performance avec la vue de processus. Il rend également explicite, la différence entre les indicateurs qui présentent un intérêt pour les parties externes (satisfaction du client, qualité et livraison) et les indicateurs qui sont principaux pour l'entreprise (productivité, durée de cycle et perte).

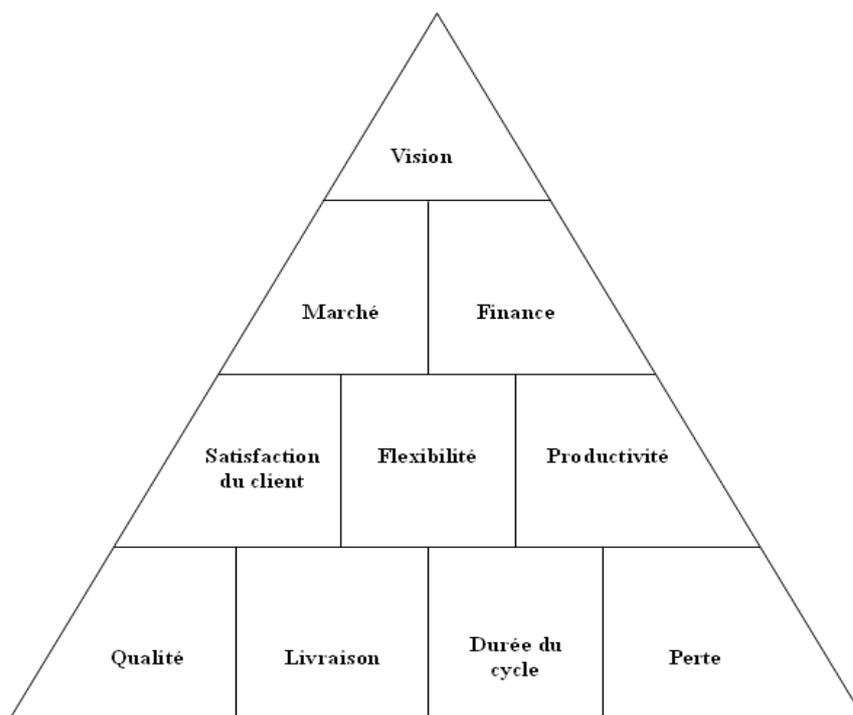


Figure 2.6 – Pyramide de performance de Lynch et Cross (Neely *et al.*, 2000)

2.1.2.8. European Foundation for Quality Management's Business Excellence Model

Il existe aussi un autre cadre de mesure de performance connu sous le nom de Business Excellence Model, élaboré en 1991 par The European Foundation for Quality Management. Ce cadre se compose de deux sous-ensembles distincts de facteurs de performance, les *déterminants* et les *résultats*, comme le montre la Figure 2.9.

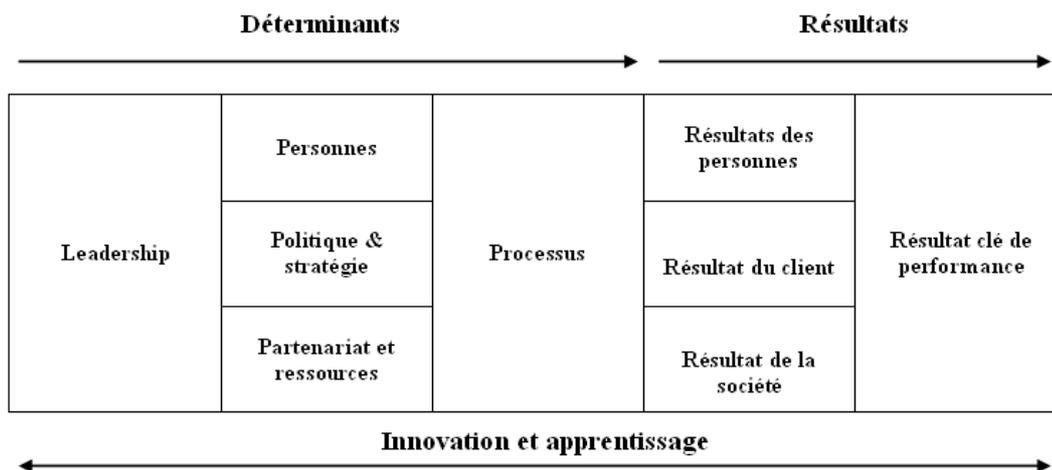


Figure 2.7 – Quality Management's Business Excellence Model (Neely *et al.*, 2000)

La théorie soutenant le Business Excellence Model est que les *déterminants* sont les leviers que le management peut tirer pour fournir de futurs *résultats*.

2.1.2.9. Autres cadres

L'apport des précédents cadres de conception des systèmes de mesure de performance, est de fournir un outil pour inciter les personnes à réfléchir sur les indicateurs non financiers qu'ils devraient inclure dans le système de mesure de performance de leur organisation, pour compléter les indicateurs financiers traditionnels.

Cependant, l'apport de certains autres cadres plus récents, tels que les cartes de stratégie développées par Kaplan and Norton (2001), les cartes de succès et de risque développées par Neely *et al.* (2002) et le modèle d'*IC-Navigator* développé par Chatzkel (2002), est plus significatif, puisqu'ils s'intéressent à la dynamique de création de la valeur en étudiant les transformations des ressources aussi bien que les stocks de ces ressources. Ainsi, l'accent, dans les pratiques de ces cadres, est mis sur les transformations plutôt que sur les indicateurs individuels courants.

La carte de stratégie est une prolongation de la BSC, elle reflète la relation de causalité supposée entre les objectifs sur la scorecard. Une autre amélioration suggérée par Neely *et al.* (2002) est la notion de cartes d'échec ou de risque. Celles-ci identifient potentiellement les points d'échec critique dans l'organisation, qui pourraient mener à l'exposition excessive au risque s'ils ne sont pas pris en charge. Une autre méthodologie pour déterrer les voies les plus influentes dans la création de la valeur chez les organisations est le modèle d'*IC-Navigator*. Comme étant une carte conceptuelle, l'*IC-Navigator* dépeint la présence, l'importance et les transformations des ressources réelles et intangibles tout en respectant la réalisation de l'intention stratégique de l'organisation. Dans la représentation utilisée par l'*IC-Navigator*, la taille des cercles représente les stocks de ressources rangées selon leurs importances relativement aux objectifs stratégiques et la largeur des flèches représente l'importance des transformations d'une ressource vers les autres, encore dans l'accord avec les objectifs stratégiques.

Contrairement aux approches précédentes, l'*IC-Navigator* met l'accent très fort sur le potentiel de création de valeur à long terme. En se concentrant sur le niveau de la ressource, une clarté accrue est donnée aux processus à travers lesquels les ressources de l'organisation contribuent au développement et au déploiement des capacités stratégiques. Avec le navigateur, seulement des mesures qualitatives des ressources et des transformations sont prises, par conséquent toutes les métriques sont des nombres sans dimensions et ordinales. L'évaluation de la performance par l'approche de navigateur, apporte une certaine structure aux complexités et particularités impliquées dans la mesure et le management des actifs intangibles (Neely *et al.*, 2003).

2.1.3. Processus de conception du système de mesure de performance

Globerson (1985) et Maskell (1989), ont réalisé les premières contributions à la littérature de conception des systèmes de mesures de performance. Globerson (1985) suggère les caractéristiques suivantes pour le processus de conception d'un système de mesure de performance :

- les indicateurs de performance doivent être choisis à partir des objectifs de la compagnie ;
- les indicateurs de performance doivent rendre la comparaison possible avec les organisations qui sont dans le mêmes secteur ;
- le but de chaque indicateur de performance doit être clair ;

- la collecte de données et les méthodes pour calculer l'indicateur de performance doivent être clairement définies ;
- les indicateurs de performance basés sur des ratios sont préférables aux nombres absolus ;
- les indicateurs de performance doivent être sous le contrôle de l'unité organisationnelle évaluée ;
- les indicateurs de performance devraient être choisis à travers des discussions avec les personnes impliquées (clients, employés et directeurs) ;
- les indicateurs de performance objectifs sont préférables aux indicateurs subjectifs.

De même Maskell (1989) propose les caractéristiques suivantes pour l'output du processus de conception d'un système de mesure de performance :

- les indicateurs doivent être directement liés à la stratégie de production de l'entreprise ;
- des indicateurs non financiers doivent être adoptés ;
- les indicateurs changent d'un endroit à un autre (un indicateur n'est pas approprié à tous les Départements ou emplacements) ;
- les indicateurs changent selon les circonstances ;
- les indicateurs doivent être simples et faciles à employer ;
- les indicateurs doivent fournir un feedback rapide ;
- les indicateurs doivent être conçus de sorte qu'ils stimulent l'amélioration continue plutôt que d'être utilisé uniquement pour surveiller.

Kennerley and Neely (2003) proposent un certain nombre de tests pour examiner la conformité des différents indicateurs de performance (voir Tableau 2.4). Une défaillance dans l'un de ces tests signifie qu'une modification est nécessaire pour assurer que les indicateurs restent appropriés.

**Tableau 2.4 – Tests de conformité des indicateurs de performance
(Kennerley and Neely, 2003)**

Le test de vérité	Est-ce que l'indicateur mesure certainement ce qu'il veut mesurer?
Le test d'intérêt	Est-ce que l'indicateur mesure seulement ce qu'il est destiné à mesurer?
Le test de cohérence	Est-ce que l'indicateur est régulier lorsqu'il est mesuré n'importe quand et par n'importe qui?
Le test d'accès	Est-ce que les données peuvent être communiquées rapidement et comprises facilement?
Le test de clarté	Est-ce qu'il y a une possible ambiguïté dans l'interprétation des résultats.
Le test d'utilisation	Est-ce que les données peuvent et vont constituer une base pour la prise de décision.
Le test d'opportunité	Est-ce que les données peuvent être analysées aussi tôt que possible pour que des actions soient prises
Le test de coût	Est-ce que le coût de collection et d'analyse des données est considérable?
Le test de comportement	Est-ce que l'indicateur encourage un quelconque comportement indésirable?

Dans leurs écritures préliminaires au sujet de la Balanced Scorecard, Kaplan et Norton ont donné peu d'attention au processus de la conception du système de mesure de performance. Cependant, en 1993, ils ont identifié l'importance de ce sujet en proposant un processus à huit-étapes qu'ils ont considéré susceptible de permettre aux managers de concevoir un système de mesure équilibré (Neely *et al.*, 2000). Le Tableau 2.5 donne une courte description de ce processus.

Tableau 2.5 – Développement de la Balanced Scorecard (Neely *et al.*, 2000)

1. Préparation
Identifier l'unité de business pour laquelle une Balanced Scorecard de top niveau est appropriée
2. Interviews – premier round
Un facilitateur du processus interviewer tous les managers seniors de la firme et leurs demandera d'identifier les objectifs stratégiques de la compagnie et des indicateurs de performance possibles pour la Scorecard
3. Atelier d'exécution – premier round
Le groupe de management senior débâtera le rapport de mission et de stratégie proposé jusqu'à ce qu'ils atteignent un consensus. Le facilitateur de processus demandera au management senior de répondre aux questions suivantes "si je réussisse avec ma vision et ma stratégie, comment changera ma performance pour les partenaires, les consommateurs, les processus de business internes, pour mon habilité à innover, croissance et amélioration?" Une Balanced Scorecard ébauche est développée à la fin de cette étape.
4. Interviews – second round
Le facilitateur de processus résumera le résultat du premier atelier d'exécution et le discutera avec chaque manager senior. Le facilitateur cherchera aussi des opinions sur les sujets impliqués dans l'implémentation.
5. Atelier d'exécution – second round
Un atelier plus large dans lequel le management senior et ses rapports directs débâteront l'état de la mission et de la stratégie. "les participants, en travaillant en groupe, commentent les indicateurs proposés, lient les programmes de changement différents, mis en place, avec les indicateurs, et commenceront à développer un plan d'implémentation". Des intervalles de cibles sont aussi formulés pour chaque indicateur.
6. Atelier d'exécution – troisième round
"L'équipe de l'exécutif senior se réunie pour arriver à un consensus final sur la vision, les objectifs, et les indicateurs développés dans les deux premiers ateliers, pour développer des intervalles de cibles pour chaque indicateur de la scorecard, et identifier des programmes préliminaires d'action pour atteindre les cibles. L'équipe doit se consentir sur un programme d'implémentation, comprenant la communication de la scorecard aux employés, intégrer la scorecard dans la philosophie du management, et développer un système d'information pour soutenir la scorecard.
7. Implémentation
Une nouvelle équipe d'implémentation formulera le plan d'implémentation détaillé. Cela inclut des sujets comme : comment les indicateurs peuvent être reliées aux systèmes d'information et aux bases de données, comment la scorecard peut être communiquée à travers l'organisation, et comment un groupe de second niveau de métriques peut être développé.
8. Révisions périodiques
Chaque trimestre ou mois, un livre d'information sur les indicateurs de la balanced scorecard est préparé pour à la fois la révision et la discussion du top management avec les managers des divisions et départements décentralisés. Les métriques de la scorecard équilibrée sont révisées annuellement comme partie de la planification stratégique, l'installation des buts, et les processus d'allocation des ressources.

Neely *et al.* (2000) proposent un autre processus pour la conception d'un système de mesure de performance. Ces auteurs proposent de suivre l'approche suivante à six étapes :

Première étape - conception du processus : Construire un processus pour la conception du système de mesure de performance. Ce processus comprend les 12 phases décrites ci-dessous :

Phase 1 : Quelles sont les indicateurs exigés ?

- But : Identifier les informations dont a besoin chaque manager pour gérer sa partie de l'entreprise.
- Procédé : Séance de Brainstorming.
- Output : Liste de secteurs possibles pour l'indicateur de performance.

Phase 2 : Analyse coûts et avantages

- But : Assurer que les indicateurs identifiés sont de profit élevé.
- Procédé : Tracer l'output de la phase 1 sur la matrice des coûts et avantages.
- Output : Liste de secteurs de profit élevé pour l'indicateur de performance.

Phase 3 : But de l'indicateur

- But : Assurer qu'il y a un but clair mis en évidence par chaque indicateur.
- Procédé : Compléter le but de la feuille de vérification de l'indicateur.
- Output : Liste de secteurs de noyau pour l'indicateur de performance (ceux qui sont à la fois à profit élevé et fondamentaux).

Phase 4 : Vérification de globalité

- But : Examiner que tous les secteurs importants, pour assurer la mesure, ont été considérés.
- Procédé : Séance de Brainstorming avec des motivations d'un facilitateur.
- Output : Liste des secteurs supplémentaires pour la performance – Ils doivent être toujours soit de profit élevé ou fondamentaux.

Phase 5 : Conception détaillée (fonction)

- But : Déterminer la structure pour chaque indicateur de performance.
- Procédé : Accomplissement des feuilles d'enregistrement d'indicateur de performance avec l'aide d'un facilitateur.
- Output : Série de feuilles d'enregistrement, dont chacune récapitule les questions principales associées avec les indicateurs de performance d'un manager donné.

Phase 6 : Intégration (fonction)

- But : Déterminer si les indicateurs de performance identifiés peuvent être intégrés.
- Procédé : Accomplissement des feuilles de vérification d'évaluation de l'intégration.
- Output : Un ensemble intégré d'indicateurs de performance pour l'unité.

Phase 7 : Considérations environnementales (fonction)

- But : Vérifier si chacun des indicateurs principaux est approprié pour l'environnement courant de la fonction.
- Procédé : Accomplissement d'un audit environnemental de la mesure de performance avec l'aide d'un facilitateur.
- Output : Ensemble approprié et complet d'indicateurs de performance pour chaque manager.

Phase 8 : Essai Inter-fonctionnel

- But : Déterminer si les indicateurs de performance identifiés par différents managers peuvent être intégrés.
- Procédé : Réunion de groupe et accomplissement des feuilles de vérification d'évaluation de l'intégration.
- Output : Un ensemble intégré d'indicateurs de performance pour une entreprise donnée.

Phase 9 : Considérations environnementales (inter-fonctionnelles)

- But : Vérifier si tous les indicateurs sont appropriés pour l'environnement courant de l'organisation.
- Procédé : Accomplissement d'un audit environnemental de l'indicateur de performance avec l'aide d'un facilitateur.
- Output : Un ensemble complet d'indicateurs de performance appropriés.

Phase 10 : Essai (inter-fonctionnel)

- But : Déterminer comment les nombres peuvent être utilisés pour maximiser la performance plutôt que de mesurer la performance réelle.
- Procédé : Réunion de groupe et accomplissement des feuilles de vérification de l'essai.
- Output : Ensemble intégré amélioré d'indicateurs de performance (avec des domaines problématiques potentiels accentués).

Phase 11 : Institutionnalisation

- But : Institutionnaliser le système de mesure de performance.
- Procédé : Introduction et formation concernant le nouveau système de mesure. Des audits réguliers pour établir s'il y a un système informel et contradictoire de mesure de performance en opération.
- Output : Un ensemble intégré mis en application d'indicateurs de performance.

Phase 12 : Maintenance continue

- But : Assurer que les mesures redondantes sont supprimées et que les nouvelles sont introduites d'une manière appropriée.
- Procédé : Accomplissement continu des feuilles de vérification de la révision d'indicateur de performance.
- Output : Un procédé systématique pour assurer que les indicateurs de performance sont régulièrement mis à jour non seulement par un manager indiqué, mais également par le groupe de management.

Deuxième étape - développement de processus : enrichissement du processus par des actions d'études et des recherches participatives dans des entreprises.

Troisième étape - documentation du processus : documenter le processus révisé sous la forme de cahier de travail de sorte que d'autres personnes puissent l'appliquer.

Quatrième étape - essai du processus : essai du processus sous la forme de cahier de travail par la recherche active non-participatives dans des entreprises complémentaires.

Cinquième étape - publication du processus : publication du cahier de travail révisé.

Sixième étape - L'acceptation du processus : faire une enquête des acheteurs de cahier de travail pour évaluer le niveau de familiarisation avec le processus.

2.2. Mesure de performance pour la fonction de maintenance

Aujourd'hui, la maintenance est considérée comme partie intégrale du processus de l'entreprise. Ainsi, tout cadre de mesure de performance de la maintenance doit constituer une partie essentielle et intégrée du cadre de mesure de performance globale de l'organisation. Le cadre de mesure de performance de la maintenance a le rôle de soutenir le management en lui facilitant le contrôle et le suivi de la performance qui doit être alignée avec les objectifs et la stratégie de l'organisation, afin de prendre les décisions correctives opportunes.

La mesure de performance de la fonction maintenance, n'est pas facile et la manière de construire un cadre de mesure de performance de la maintenance, n'est pas évidente pour les raisons suivantes :

- Les académiciens et les praticiens ont, pendant longtemps, échoué à reconnaître la maintenance comme étant une fonction stratégique pour les entreprises.
- A la différence des autres domaines telles que la production ou la logistique, c'est seulement assez récemment que certaines approches scientifiques de la performance de la maintenance ont été entreprises (Pintelon and Puyvelde, 1997).
- La maintenance est une fonction de soutien de la production. Cela étant, les mérites et les imperfections du service rendu ne sont pas immédiatement évidents (effet de retard) (Pintelon and Puyvelde, 1997).
- La fonction de maintenance est elle-même complexe, ce n'est pas seulement les paramètres quantifiables qui sont considérés, mais également la qualité de la maintenance exécutée et son organisation (De Groote, 1995).
- Il est difficile de développer un rapport causal entre les décisions de management et le succès ou l'échec global du système réel de maintenance (Kutucuoglu *et al.*, 2001).
- Il y a toujours un manque de lien entre les objectifs de la maintenance et la stratégie de corporation globale des entreprises (Kutucuoglu *et al.*, 2001).
- La performance de maintenance perçue dépend également de la perspective appliquée. Ainsi, le top management est intéressé par le budget, les ingénieurs se concentrent sur les techniques, la production verra la performance en termes de disponibilité d'équipement, etc. (Pintelon and Puyvelde, 1997).

Le sujet principal de la présente section est d'essayer de répondre à la question "comment mesurer la performance de la maintenance ?".

2.2.1. Les indicateurs individuels de performance en maintenance

La plupart des indicateurs individuels de performance de maintenance, sont des ratios mesurant l'efficacité, l'efficacité ou la productivité des travaux de maintenance. Pour définir ces mesures, nous utilisons le schéma de la Figure 2.8.

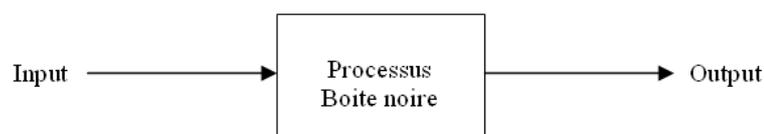


Figure 2.8 – Définition générique des indicateurs de performance (Pintelon and Puyvelde, 1997)

Le schéma précédent considère le processus de maintenance comme une boîte noire dont l'entrée (par exemple les heures de travail) et la sortie (par exemple les travaux accomplis) doivent être clairement défini. Ainsi les ratios mesurant l'efficacité, l'efficience ou la productivité de ce processus sont donnés par les formules suivantes :

$$\text{Efficience} = \frac{\text{Input théorique}}{\text{Input réel}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{Output réel}}{\text{Output théorique}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Le schéma suivant (Figure 2.9) présente une illustration de l'utilisation de ces dernières définitions.

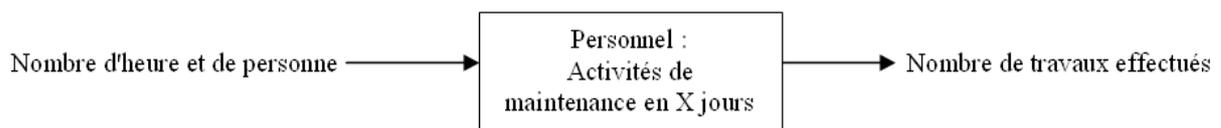


Figure 2.9 – Illustration de la définition générique (Pintelon and Puyvelde, 1997)

Supposons que théoriquement, il devrait y avoir 10 ouvriers qui travaillent 08 heures/jour pour réaliser 50 tâches de maintenance et que réellement, il y a 08 ouvriers qui travaillent 08 heures/jour en plus de 02 ouvriers supplémentaires qui travaillent 10 heures/jour pour réaliser 45 tâches. Ainsi nous pouvons mesurer l'efficacité, l'efficience et la productivité du personnel de maintenance de la manière suivante :

$$\text{Efficience} = \frac{10 \text{ travailleurs} \times 08 \text{ heures} / \text{jour}}{08 \text{ travailleurs} \times 08 \text{ heures} / \text{jour} + 02 \text{ travailleurs} \times 10 \text{ heures} / \text{jour}} \times 100\% = 95\%$$

$$\text{Efficacité} = \frac{45 \text{ tâches}}{50 \text{ tâches}} \times 100\% = 90\%$$

$$\text{Productivité (théorique)} = \frac{50 \text{ tâches}}{08 \text{ travailleurs} \times 08 \text{ heures} / \text{jour}} = 0,625$$

$$\text{Productivité (réelle)} = \frac{45 \text{ tâches}}{08 \text{ travailleurs} \times 08 \text{ heures} / \text{jour} + 02 \text{ travailleurs} \times 10 \text{ heures} / \text{jour}} = 0,536$$

$$\text{Indice de productivité} = \frac{\text{Productivité réelle}}{\text{Productivité théorique}} \times 100\% = \frac{0,536}{0,625} \times 100\% = 86\%$$

2.2.2. Classification des indicateurs de performance de maintenance

Nous retrouvons dans la littérature, plusieurs classifications des indicateurs de performance de la fonction maintenance. Nous citons quelques-unes dans ce qui suit.

2.2.2.1. Classification selon l'horizon du temps

Selon Arts *et al.* (1998), le management exige de l'information sur la performance pour pouvoir contrôler le processus de maintenance. Cette information devrait concerner l'état du processus de maintenance, les développements dans ce processus et l'environnement dans lequel la fonction de maintenance fonctionne. Elle se concentre sur l'efficacité, l'efficience et l'organisation du processus de maintenance ainsi que sa coopération avec les autres processus de l'organisation. Arts *et al.* (1998) emploient l'horizon du temps pour classer les décisions de maintenance. Trois niveaux de contrôle peuvent ainsi être distingués, à savoir stratégique, tactique et opérationnelle. Chaque niveau nécessite que certaines décisions soient prises, pour lesquelles des indicateurs de performance peuvent être utilisés. Ainsi la mesure de performance est nécessaire sur tous les niveaux de contrôle. Dans la pratique, ceci signifie que des indicateurs de performance sont requis par le manager de maintenance, superviseurs, agents de maîtrise et ingénieurs aussi bien que par les planificateurs.

Planification stratégique : La planification stratégique est le processus décisionnel menant à la formulation de la stratégie d'une organisation. Cette stratégie développe les objectifs à atteindre et les moyens avec lesquels les objectifs seront atteints. La stratégie de la fonction maintenance est déduite de la stratégie de la compagnie et de la politique de production. L'expression, du point de vue de maintenance, des exigences de conception ou de sélection des unités de production, à développer ou à acquérir, sont considérées à ce niveau. La théorie du CCV, estimant tous les facteurs de coût y compris la maintenance pendant la vie de l'unité de production, peut être employée pour soutenir la décision de sélection ou de conception.

Contrôle tactique : Le contrôle tactique consiste en toutes les décisions contribuant à l'utilisation efficace et efficiente des ressources. Ces décisions prennent en considération l'urgence des actions de maintenance et l'influence qu'a la fonction de production sur l'établissement du programme des actions de maintenance. La charge de capacité par catégorie, la flexibilité de volume des différentes capacités aussi bien que la charge de travail de la fonction maintenance, sont limitées à ce niveau. Les décisions prises dans le développement des concepts de maintenance pour les unités de production sont également considérées à ce niveau de contrôle.

Contrôle opérationnel : Le contrôle opérationnel est le processus de prise de décision pour l'exécution efficace et efficiente des activités spécifiques. Il concerne l'allocation, à court terme, de la capacité de maintenance à la demande de maintenance et résulte dans les ordres de travail. Les décisions concernent maintenir maintenant ou plus tard, maintenir ou remplacer, faire appel à des sous-traitants ou travailler pendant les heures supplémentaires.

2.2.2.2. Classification selon le domaine d'intérêt

Campbell (1995) classe les mesures de performance généralement utilisées en maintenance dans trois catégories sur la base de leur domaine d'intérêt :

Mesures de performance d'équipement : par exemple la disponibilité, la fiabilité et l'efficacité globale d'équipement.

Mesures de performance de coût : par exemple le coût d'opération et de maintenance (O&M), le coût de main-d'œuvre et le coût des matières.

Mesures de performance de processus : par exemple le ratio du travail planifié et du travail non planifié et le degré de conformité au programme de maintenance.

2.2.2.3. Classification selon l'efficacité

Coetzee (1998) a fourni une liste d'indicateurs et de ratios pour la mesure de performance de la maintenance, classés dans quatre catégories qui sont :

- efficacité de la maintenance de machine/équipement ;
- efficacité de la tâche ;
- efficacité de l'organisation ;
- efficacité du profit/coût.

Le Tableau 2.6 présente le sommaire de ces indicateurs et de leur catégorie correspondante.

Tableau 2.6 – Paramètres de performance de la maintenance par catégorie de mesure (Coetzee, 1998)

Efficacité d'équipement	Efficacité de tâche	Efficacité d'organisation	Efficacité de profit/coût
Temps total de la production Temps d'arrêt Nombre de pannes Production	Nombre de tâches complétées Nombre de tâches reçues Nombre de tâches différées Temps alloué pour les tâches Temps réalisé sur les tâches	Temps planifié pour les tâches programmées Temps planifié pour les tâches programmées différées Temps réalisé sur les tâches programmées Temps réalisé sur les pannes Coût des pannes Coût total direct de maintenance	Coût total de la maintenance Coût de perte de production Valeur de stock à la fin de la période Valeur d'investissement en équipement

Coetzee (1998) suggère également, l'utilisation des ratios de performance, parallèlement, aux paramètres de mesure définis dans le Tableau précédent. De tels ratios servent à augmenter la compréhension du message donné par les divers paramètres de mesure de performance. Quelques exemples de ces ratios de performance incluent la disponibilité, le temps moyen entre défaillances, l'utilisation de la main d'œuvre et la rentabilité globale de la maintenance.

2.2.2.4. Classification des mesures de performance selon l'utilisation

Selon De Groot (1995), il y a deux catégories de ratios dans lesquelles les indicateurs de performance de la maintenance peuvent être présentés :

Ratios économiques : ils permettent de suivre l'évolution des résultats internes et de réaliser certaines comparaisons, entre les services de maintenance des usines semblables.

Ratios techniques : ils donnent au manager de maintenance les moyens pour suivre la performance technique des installations. Les ratios techniques sont beaucoup plus nombreux et plus variés que les ratios économiques. Contrairement aux ratios économiques, qui sont souvent en relation avec l'ensemble de la maintenance dans l'usine, les ratios techniques concernent souvent des lignes de production, des machines ou des appareils seuls. Ils peuvent être placés dans deux catégories :

- ceux qui intéressent les utilisateurs de l'équipement et mesurent l'efficacité de la maintenance.
- ceux qui intéressent, plus directement, le manager de la maintenance et mesurent l'efficacité de la politique de maintenance.

2.2.3. Approches de Mesure de performance de maintenance

Il y a peu de littérature qui couvre le développement d'une approche systématique de mesure de performance de la maintenance et qui entoure chaque aspect de la maintenance, à savoir stratégique, tactique et opérationnel (Kutucuoglu *et al.*, 2001). Dans ce qui suit, nous présentons les approches proposées en littérature pour mesurer la performance de la maintenance.

2.2.3.1. Approche d'audit de la qualité de maintenance

L'audit de la qualité de maintenance renseigne sur la performance de la maintenance à travers l'évaluation des problèmes existants du point de vue organisationnel et opérationnel ce qui permet de suggérer des mesures d'amélioration, déterminer les priorités pour les mesures recommandées et installer un plan d'action.

L'audit de la qualité de maintenance contient les quatre étapes suivantes (De Groote, 1995) :

- enquête sur la situation régnante des paramètres influents ;
- analyse des informations et formulation des conclusions et des recommandations ;
- définition et adaptation des priorités et du plan d'action ;
- analyse coûts-avantages pour justifier les actions proposées.

Les étapes précédentes exigent le choix et l'utilisation des indicateurs économiques et techniques quantifiables de la performance de maintenance. Ces indicateurs sont des ratios qui donnent au manager de la maintenance les moyens pour évaluer et suivre la performance économique et technique de la fonction maintenance. Les différentes étapes de l'audit sont expliquées ci-dessous.

Première étape – Réaliser un audit de la situation régnante : L'évaluation des informations concernant la situation régnante est une étape décisive dans la phase d'enquête. Ceci peut être fait de diverses manières. La méthode proposée par De Groote (1995) est basée sur une analyse de la fonction de maintenance et commence par l'équipement de production dans le cadre d'un plan global de management (voir Figure 2.10). Cette évaluation devrait donner une image objective de la situation régnante dans une période minimum. Dans ce cadre, un nombre aussi grand que possible de paramètres influents devrait être étudié dans les divers Départements qui traitent, directement ou indirectement, avec la fonction maintenance. Les questions sont posées non seulement aux chefs de service mais également aux agents de maîtrise et aux ouvriers dans les ateliers.

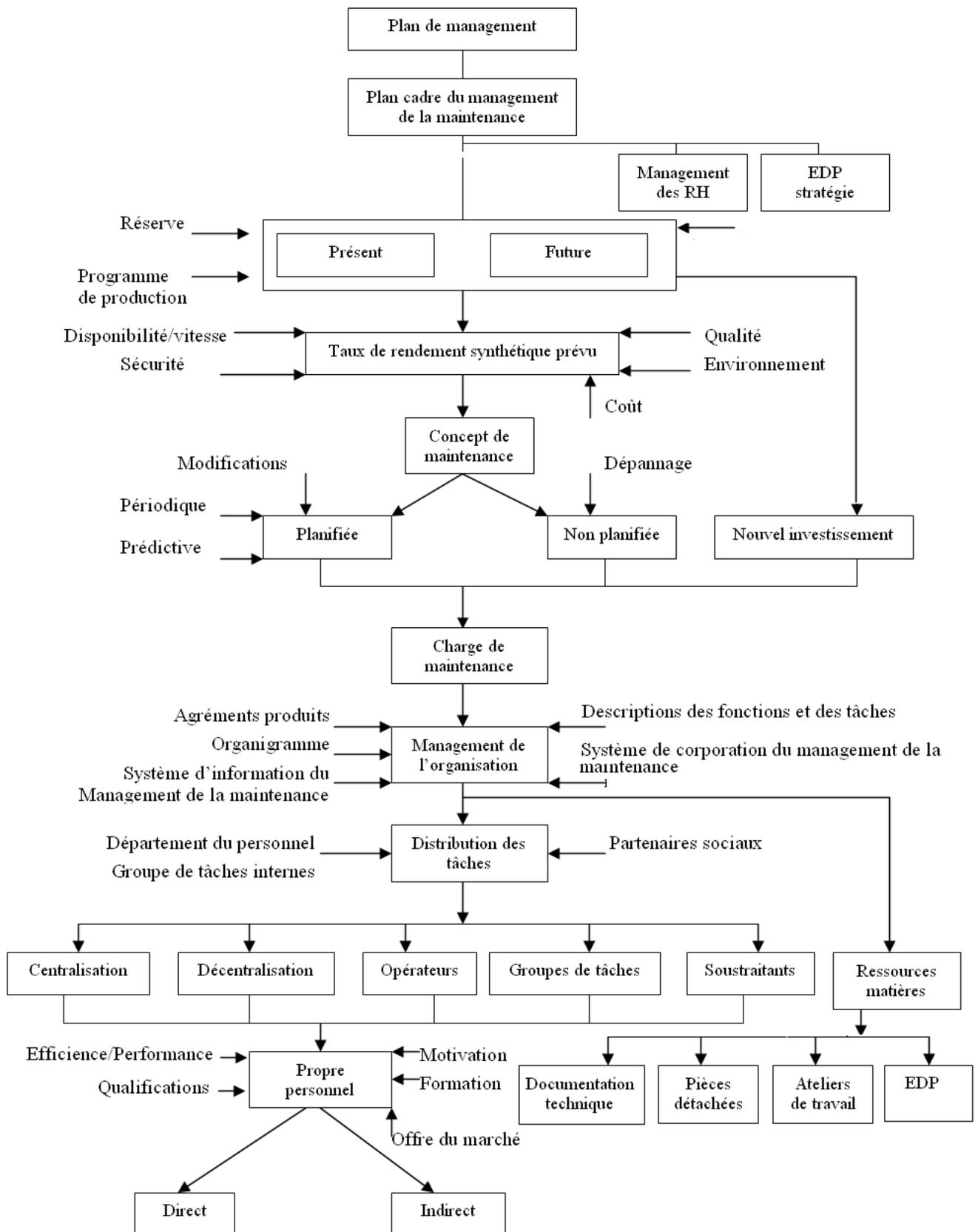


Figure 2.10 – Méthodologie d'audit de maintenance (De Groot, 1995)

Afin d'effectuer cet audit, les phases à suivre sont énumérées ci-dessous :

Phase 1 : des informations générales au sujet des options stratégiques et des relations internes et externes sont obtenues à travers des réunions avec le management.

Phase 2 : l'enquête commence ensuite dans les Départements de production. Les installations sont visitées selon un itinéraire qui suit les flux de processus. L'objectif est d'obtenir une connaissance de base des biens à maintenir et de leur "attitude de maintenance". Les projets d'extension ou de modernisation sont également pris en considération.

Phase 3 : Après avoir eu connaissance de l'état des équipements, des exigences de production et du profil du processus d'exploitation, le sujet de la maintenance peut être analysé. L'enquête traitera d'abord les sujets qui concernent l'existence d'un programme-cadre de la maintenance. Les approches telles que la TPM et la MBF seront considérées en détail (c'est-à-dire leur conception, implémentation et performance). Ensuite, il est nécessaire de continuer l'enquête dans les domaines qui résultent de la structure d'organisation de la maintenance, par exemple, selon l'ordre suivant :

- organigramme de maintenance ;
- bureau central de planification de maintenance ;
- maintenance de première-ligne faite par des opérateurs ou des groupes de travail ;
- atelier mécanique et interventions mécaniques ;
- atelier électrique et interventions électriques ;
- service instrumentation ;
- gestion des pièces de rechange et des magasins ;
- maintenance générale ;
- personnel de maintenance ;
- dépenses et budgets de maintenance.

Phase 4 : Les composantes "ressources humaines" et "management de coût" pour chacun des domaines précédents, sont étudiées en détail. Pendant l'enquête, il est important d'obtenir une vue globale en plus des questions spécifiques, parce que c'est seulement en ayant une vue globale, aussi complète que possible, que certaines questions peuvent être clarifiées. En effet, les interdépendances qui existent dans une usine, peuvent souvent influencer considérablement sur les divers sujets de l'enquête. Pour cette raison, il est souvent préconiser d'interroger divers acteurs dans divers niveaux hiérarchiques.

Une fois les visites sont terminées, une liste des conclusions est élaborée sur la base des réponses reçues et des impressions individuelles.

Deuxième étape - Analyser les données : L'analyse des données rassemblées a pour but de recommander des améliorations pour accroître la performance de la maintenance. En se basant sur les résultats de l'enquête, les sujets suivants doivent faire l'objet d'une analyse détaillée afin de décrire leur impact sur la production, la qualité, la sûreté et l'environnement :

- possibilités de sous-traitance ;
- type de contrat ;
- profil de processus ;
- complexité de machines et d'équipements ;
- variété de fabricants et de fournisseurs ;
- standardisation d'appareils électriques et mécaniques ;
- accessibilité à l'équipement pour le travail de maintenance ;
- état des machines et équipements (disponibilité et fiabilité) ;
- programme-cadre de management de maintenance ;

- concept de maintenance ;
- diverses approches TPM et MBF ;
- position de la maintenance dans l'organigramme de l'usine ;
- existence et efficacité des divisions ou des services de maintenance ;
- quantité et qualité de la documentation technique et l'accès à cette documentation ;
- forme et traitement de données ;
- organisation et équipements d'atelier ;
- étude des besoins en pièces de rechange ;
- codification uniforme des pièces ;
- efficacité du management et commande des pièces de rechange ;
- niveau de stocks de pièces de rechange ;
- efficacité des installations de stockage ;
- degré de satisfaction des demandes en pièces ;
- qualifications de la force de travail de maintenance ;
- formation et développement de ressources humaines ;
- collecte des données sur les coûts de maintenance ;
- informatisation des coûts de maintenance ;
- systèmes de management de maintenance ;
- ratios de performance (technique et économique).

Cette analyse aura pour conséquences des conclusions et des recommandations, qui pourront être subdivisés sous les rubriques suivantes :

- équipement de production : standardisation, maintenabilité, sécurité, nettoyage, opération, suivi des paramètres techniques, mesures à prendre lors d'une implémentation de nouveaux investissements, etc. ;
- organisation et management de maintenance : programme-cadre du management de maintenance et politique de sous-traitance, stratégie d'informatisation, type de structure organisationnelle, organigramme, description des fonctions et travaux, participation des opérateurs dans la maintenance de première ligne, organisation des équipes d'intervention, collecte de données et traitement, méthodes, maintenance planifiée, traitement des demandes de travail, préparation et planification du travail, suivi des indicateurs de performance et diagramme de surveillance ;
- ressources matérielles : documentation technique (recommandations pratiques pour l'installation des dossiers de machine), contrôle de l'inventaire, outils et instruments de mesure, machines-outils et ateliers, logiciels et matériels informatiques, suivi des coûts et budgets ;
- ressources humaines : Tableau de personnel, qualifications, politique de formation, recrutement et méthodes de promotion/motivation ;
- environnement de travail : infrastructure sociale, transport, rapports avec les syndicats.

Troisième étape 3 - Définir les priorités et les plans d'action : Les recommandations doivent ensuite être hiérarchisées selon des priorités prédéfinies, par exemple, en termes de production, sécurité, qualité et protection de l'environnement. Cette étape doit avoir pour résultats des plans d'action de court, moyen et long termes.

Quatrième étape 4 - Analyser les coûts et les avantages : Finalement une analyse coûts & avantages devrait être faite, ce qui augmentera l'acceptabilité d'un possible projet d'amélioration.

2.2.3.2. Approche d'évaluation de l'incident

Dwight, (1999) a défini la performance comme étant : "le niveau atteint du but". La définition du but ici est "ce qui pourrait être réalisé étant données les ressources physiques et intellectuelles, qui étaient disponibles au moment de la mesure de la performance".

Dwight (1999) considère que le but d'une entreprise peut être "l'augmentation de la richesse future" et que les flux de valeur entre une entreprise et son milieu se présentent comme des sommes de cash-flows futurs.

Ainsi, la définition qu'il donne à la performance, pour la période $t-1, t$, est formulée ainsi :

$$P = \frac{V_r - V_l}{V_r^*} \dots\dots\dots(2.4)$$

Où

- P : Performance
- V_r : valeur ou cash-flow réalisé durant la période $t-1, t$.
- V_l : valeur future perdue

V_l représente la perte de cash flow futur. Elle est donnée par l'expression :

$$V_l = V_{t-1}^*(t) - V_t^*(t) / t - 1, t \dots\dots\dots(2.5)$$

Où $V_t^*(t)$ et $V_{t-1}^*(t)$ sont les meilleures valeurs futures disponibles au temps t (c.-à-d. les meilleures sommes atteignables estimées des cash-flows futurs), obtenues en considérant les opportunités existantes aux temps t et $t-1$ respectivement. $V_t^*(t)$ et $V_{t-1}^*(t)$ doivent être calculées à posteriori.

V_r^* est la meilleure valeur connue qui peut être réalisée pendant la période $t-1, t$. Elle est donné par :

$$V_r^* = V_{t-1}^*(t-1) - V_{t-1}^*(t) / t - 1, t \dots\dots\dots(2.6)$$

Où $V_{t-1}^*(t)$ et $V_{t-1}^*(t-1)$ représentent les meilleures sommes atteignables estimées des futurs vrais cash flow aux temps t et $t-1$, respectivement, obtenues en considérant les opportunités existantes au temps $t-1$. V_r^* doit être calculée à posteriori. Elle est la norme par rapport à laquelle la performance est mesurée. Il convient de noter que la performance ne peut pas être supérieure à 1.

Dans la détermination de $V(t)$, une étude des niveaux absolus des revenus futurs estimés et des coûts est nécessaire, soit à travers l'analyse théorique des comportements du système ou à travers l'observation du comportement du système lui-même.

Pour rendre son approche plus pratique, Dwight (1999) propose de commencer par l'audit du système. Ceci permet la détermination de l'importance relative et des attributs requis des divers éléments du système. Les attributs réels du système peuvent alors, être analysés par rapport au système idéal se manifestant par des exigences d'excellence, dans les activités particulières qui constituent le système. Cette technique tend à être qualitative dans ses méthodes, puisqu'elle cherche à quantifier les jugements des personnes qui ont une connaissance du système de maintenance, les exigences de l'organisation et les éléments possibles du système dans le but de mesurer la performance.

- L'approche d'audit de Dwight (1999), semble être caractérisée par les hypothèses suivantes :
- la performance provient des activités du système en place et de leur pertinence avec la situation.
 - la norme résulte de l'établissement de l'activité de système "la mieux connue" relativement aux systèmes techniques concernés.
 - la signification de la performance d'une activité donnée du système, est régie par son influence sur le comportement du système technique. Le comportement du système technique, est déterminé par sa conception, fonctionnement et maintenance en accord avec le comportement désirable pour le succès de l'organisation.

Méthodologie détaillée

Les objectifs spécifiques, de cette approche de mesure, se concentrent sur les éléments ou les activités du système et peuvent être énoncés comme suit :

- évaluer les éléments ou les activités du système en termes de leur importance pour le succès de l'organisation ; et
- établir la nature des activités requises qui seront compatibles avec les facteurs de succès de l'organisation.

Pour atteindre les deux objectifs, il est nécessaire de déterminer les conducteurs de coût et de valeur pour l'organisation et qui sont contrôlés par le système de maintenance. Une fois ces relations sont comprises, la conception requise de la chaîne de valeur liée au système de maintenance peut être établie.

Les efforts de management de maintenance agissent à travers les systèmes techniques opérationnels pour influencer le succès de l'organisation. Cette transition est schématisée par la Figure 2.11, où des influences successives sur la performance de l'entreprise sont connectées en série. Le système de maintenance agit sur les systèmes techniques. Ces derniers, par le biais de leurs caractéristiques, modifient l'impact des efforts du système de maintenance sur les divers attributs de défaillance. La diffusion des attributs de défaillance, est considérée dans l'évaluation de la performance lorsque ces attributs ont un effet sur les objectifs de l'entreprise.

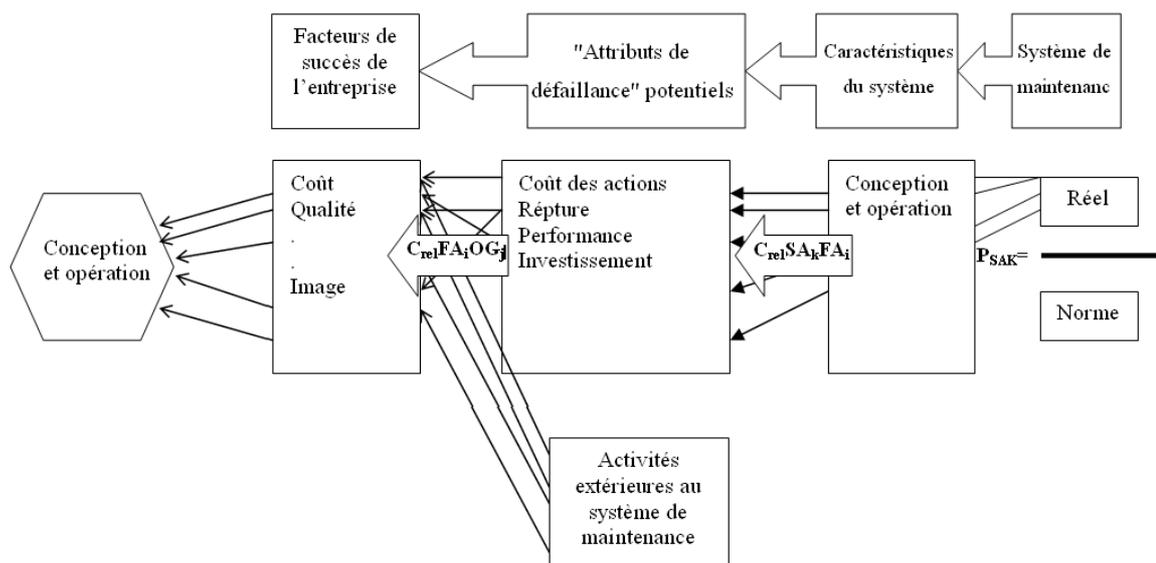


Figure 2.11 – Illustration des processus de base dans l'approche de Dwight (1999)

L'expression de la performance est donnée par la formule :

$$Performance = \sum_{k=1}^P \frac{PSA_k}{SPSA_k} \times \left\{ \frac{C_{rel}SA_k}{\sum_{k=1}^P C_{rel}SA_k} \right\} \dots\dots\dots(2.7)$$

Où la performance dans chaque activité k du système de maintenance (PSA_k) est comparée avec une norme ($SPSA_k$) et ensuite pondéré avec un coefficient de transformation ou coefficient d'influence ($C_{rel}SA_k$) qui représente la corrélation entre la performance d'un élément ou d'une activité particulière d'un système et le succès de l'organisation. $C_{rel}SA_k$ peut être développé à partir de la relation :

$$C_{rel}SA_k = \sum_{i=1}^N C_{rel}SA_k FA_i \times C_{rel}FA_i \dots\dots\dots(2.8)$$

Où $C_{rel}SA_k FA_i$ représente la contribution relative de l'activité k du système à l'attribut de défaillance i et $C_{rel}FA_i$ indique l'importance relative, ou corrélation, de l'attribut de défaillance i aux buts particuliers de l'organisation. $C_{rel}FA_i$ est donné par :

$$C_{rel}FA_i = \sum_{j=1}^M C_{rel}FA_i OG_j \times C_{rel}OG_j \dots\dots\dots(2.9)$$

Où $C_{rel}FA_i OG_j$ est la corrélation entre l'attribut de défaillance i et les buts particuliers de l'organisation j et $C_{rel}OG_j$ représente la corrélation entre les buts j et le succès global de l'organisation. Une liste générique des attributs de défaillance est présentée dans le Tableau 2.7.

Pour chaque attribut de défaillance FA_i une liste des buts potentiels de l'organisation (OG_j) doit être établie, pour cela il est nécessaire de répondre à la question "jusqu'à quel degré, les comportements identifiés du système technique, ou les attributs de défaillance, sont-ils responsables de l'accomplissement des buts de l'organisation ?".

Le Tableau 2.8 fournit un exemple restreint des types de considérations qui rentrent dans la détermination de $C_{rel}FA_i$.

Les attributs de défaillance dérivent de l'importance de leur effet sur les buts de l'organisation. Les activités du système de maintenance, dérivent de l'importance à la fois de leur capacité d'influencer les attributs de défaillance, tout comme de l'importance des attributs de défaillance eux-mêmes. Les activités génériques traditionnelles du système de maintenance sont identifiées dans le Tableau 2.9.

Tableau 2.7 – Attributs de défaillance (Dwight, 1999)

Code	Attribut d'échec
FA1	Coût des activités associées , se compose de :
FA1.1 *	Coût fixe d'être capable d'effectuer l'action
FA1.2 *	Coût prévu par action effectuée
FA1.3 *	Fréquence des actions effectuées
FA1.4 *	Temps requis pour des réparations
FA2	Perturbation du fonctionnement
FA2.1	La fréquence des actions effectuées
FA2.2	La rupture provoquée par des pertes non planifiées de la capacité de fonctionnement
FA2.3	Temps de fonctionnement perdu pendant la réparation
FA3	Performance pendant le fonctionnement
FA3.1	Matières premières requises par output opérationnel
FA3.2 :	Output défectueux
FA3.3	Sécurité de fonctionnement
FA4	Coût par cycle de remplacement
FA4.1	La longueur du cycle de remplacement, ou la "vie du système technique"
FA4.2	Le coût de remplacement qui inclut le coût d'élimination

Remarque : * Ceux-ci sont combinés réellement pour déterminer le coût direct des actions de maintenance : c.-à-d. (coût/heure) × (nombre d'actions) × (temps par actions). Tous les autres sous-ensembles FA identifient des coûts séparés liés à l'activité de production

Tableau 2.8 – Détermination de $C_{rel}FA_i$ (Dwight, 1999)

Buts d'organisation	$C_{rel}OG_j$	Contribution relative des FA aux buts de l'entreprise $C_{rel}FA_iOG_j$	
		FA1 coût direct de maintenance	FA2 Rupture d'opération
Coût de production	0.40	Est ce que le coût est significativement relié aux autres coûts associés avec les produits de l'entreprise ? Combien en relation avec les autres déterminants du coût de production ? dire que le coût de maintenance est 25 % du coût total. Ceci implique que $C_{rel}FA_iOG_j=0.25$	Est ce qu'il y a normalement une perte de production significative lorsque la production s'arrête pour la maintenance ? combien coûte cette influence en relation avec les autres influences ? Supposant que les pertes majeures en produit durant l'arrêt et le démarrage, $C_{rel}FA_iOG_j=0.15$
Qualité de production	0.20	Normalement il n'y a pas de relation $C_{rel}FA_iOG_j=0.0$	Est ce que l'arrêt de la ligne augmente significativement la possibilité du produit défectueux ? Combien, relativement aux autres causes du produit défectueux ? dans ce cas c'est la seule influence autre que la vigilance de l'opérateur, $C_{rel}FA_iOG_j=0.50$

Tableau 2.9 – Activités génériques du système de maintenance (Dwight, 1999)

Activités du système SA_k	Options typiques
Planification de la maintenance	Recommandations du fabricant Adoption des approches précédentes Analyses détaillées utilisant la connaissance courante (exceptionnelle) Analyses détaillées continues
Plan de ressources	Travail ad hoc Plan détaillé basé sur l'expérience précédente Modifié et révisé régulièrement
Initiation d'action	Basé sur la défaillance Par calendrier ou basé sur la défaillance Par calendrier ou basé sur la situation de la fabrication A travers un processus de décision formel impliquant toutes les parties concernées
Spécification du travail	Ad hoc Recommandations du fabricant Planificateur spécifié Analyse formelle
Programmation de ressource	Programmation des groupes de travail Equipe de programmation formelle Programmation de discipline individuelle Réunion de planification hebdomadaire
Préparation du travail	Travail ad hoc Equipe de préparation séparée
Action d'exécution de la maintenance	Equipes spécialisées Equipes multidisciplinaires Equipes coordonnées centralement
Mesure de performance	Ad hoc Mesures établies pour le management Approche de type ProMES Approche d'audit
Source de personnel	Location horaire Equipes propres au département Equipes de grands-travaux Equipes contractuelles
Source de pièces de rechange	Responsabilité de département séparé Responsabilité du département de maintenance

Il est possible, sous l'approche d'audit, de considérer d'autres attributs du système de maintenance comme des "activités". Celles ci peuvent, par exemple, inclure des attributs divers comme le rapport entre la maintenance et le personnel d'exploitation, le rapport entre les techniciens de la maintenance et l'organisation, les flux d'information dans le cycle d'amélioration, ou l'environnement des opérations du système technique. Les activités identifiées pour la mesure de performance, peuvent être en réalité des combinaisons variées d'activités. Selon l'équation qui détermine $C_{rel}SA_k$, la connaissance de l'importance relative de l'attribut de défaillance i dans les buts de l'entreprise ($C_{rel}FA_i$) et la contribution de l'activité du système à chaque attribut de défaillance approprié ($C_{rel}SA_kFA_i$), permet au coefficient d'influence ($C_{rel}SA_k$), d'être estimé.

Pour déterminer $C_{rel}SA_kFA_i$ les questions appropriées pour chaque attribut de défaillance sont:

- Pour quelles activités de système, la bonne performance mènera au comportement désiré ?
- En comparaison avec d'autres causes de performance dans cet attribut de défaillance, combien d'influence a chacune des activités identifiées du système ?

Si le coefficient est égal à 1, alors la performance dans cette activité particulière du système, contrôle totalement le comportement de l'attribut de défaillance considéré. Ce comportement, dans ce cas, ne se relie à aucune autre partie de la maintenance ou à un autre système de l'organisation.

Selon cette approche la contribution d'un attribut de défaillance donné qui est influencé par le système de maintenance au succès de l'organisation est définie seulement après la connaissance du meilleur système et de ses effets correspondants. L'influence globale du système de maintenance sur un attribut de défaillance particulier, devrait être représentée par une combinaison de l'influence des diverses composantes du système. Aussi, l'influence totale du système de maintenance sur le succès de l'organisation *CIMS* peut alors être déterminée par la formule :

$$CIMS = \sum_{i=1}^N C_{rel} SA_k FA_i \times C_{rel} FA_i \dots\dots\dots(2.10)$$

Ou

$$CIMS = \sum_{i=1}^N C_{rel} SA_k \dots\dots\dots(2.11)$$

CIMS forme la norme globale de performance.

Ainsi la contribution d'un élément du système à la performance, peut être obtenue par la formule :

$$PCSA_k = \frac{PSA_k}{\sum C_{rel} SA_k} \times C_{rel} SA_k \dots\dots\dots(2.12)$$

Nous résumons ci-dessous, les étapes essentielles de cette approche :

1. établir et évaluer les buts de l'organisation appropriés tels qu'ils peuvent se relier aux systèmes techniques qu'ils utilisent et leur importance relative ou contribution ($C_{rel} OG_j$) ;
2. déterminer ($C_{rel} FA_i OG_j$) et par conséquent ($C_{rel} FA_i, i = 1,2,\dots,N$) : l'importance de chaque attribut de défaillance (FA_i) au succès d'organisation ;
3. identifier les activités importantes du système ($SA_k, k = 1,2,\dots,P$) ;
4. établir, par l'opinion d'expert, la contribution des activités de système à chacun des attributs de défaillance ($C_{rel} SA_k FA_i, i = 1,2,\dots,N, k = 1,2,\dots,P$) ;
5. calculer le coefficient d'influence de chaque activité identifiée du système et par conséquent *CIMS* ;
6. déterminer les états possibles des activités de système ;
7. choisir "la meilleure alternative connue" à partir des états disponibles pour chaque activité de système ;
8. déterminer PSA_k pour chaque activité de système, par la comparaison entre la configuration d'activité réelle et celle identifiée dans l'étape 7 ;
9. calculer $PCSA_k$;
10. calculer la performance globale.

2.2.3.3. Approche de la Balanced Scorecard

Tsang (1998) propose d'adopter le cadre de la Balanced Scorecard (BSC), pour mesurer la performance de la maintenance. Pour cela, il propose un certain nombre d'étapes formant ainsi un processus de management dans lequel la performance de maintenance sera dirigée vers l'accomplissement du futur succès de l'organisation. Ce processus est résumé par le schéma de la Figure 2.12. Les étapes proposées par Tsang (1998) sont présentées ci-dessous.

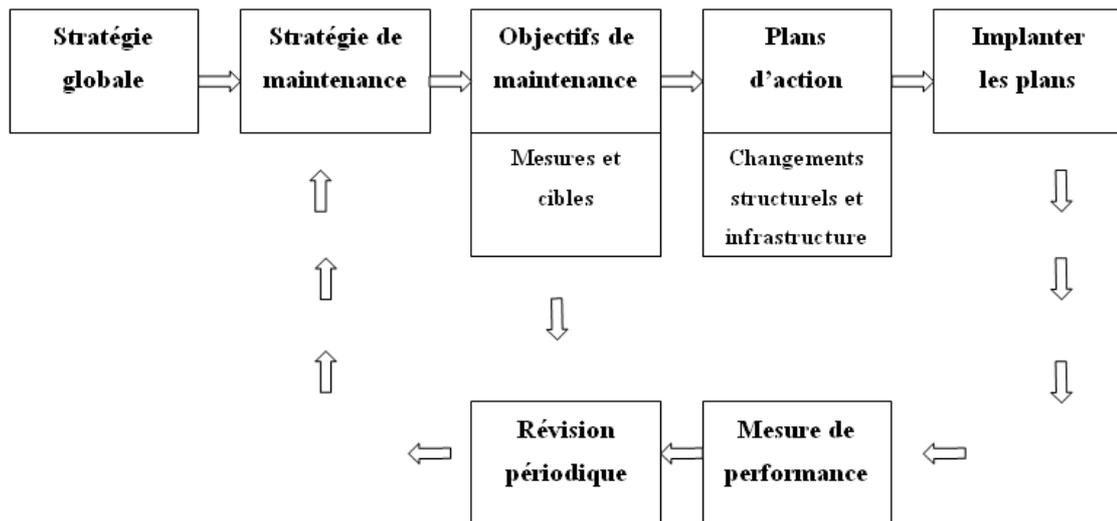


Figure 2.12 – Processus du management stratégique de la performance de maintenance (Tsang, 1998)

Etape 1 - Formuler la stratégie de maintenance : Les partenaires d'un système de management de performance de maintenance sont les utilisateurs du système. Ils incluent le top management, le personnel clé de la maintenance dans les unités opérationnelles et les récepteurs des services fournis par la maintenance (les clients internes). Le centre de discussion de ce groupe de partenaires est conduit pour formuler la stratégie de maintenance. La stratégie de maintenance devrait être liée à la stratégie globale de l'entreprise. Précisément, elle dresse les besoins pour soutenir la mission de corporation et maintenir les valeurs principales de l'organisation. La stratégie de maintenance qui contribuera au succès de l'organisation peut être identifiée en utilisant, par exemple, l'analyse (SWOT) : forces, faiblesses, opportunités et menaces.

Quelques exemples des options stratégiques de maintenance sont donnés par Tsang (1998) et Tsang *et al.* (1999)

- maximiser l'utilisation de capitaux ;
- améliorer le degré de réponse de la maintenance ;
- se concentrer sur le développement du cœur de compétences ;
- développer les capacités internes ;
- externaliser la maintenance ;
- autoriser les opérateurs de première ligne à pratiquer la maintenance autonome ;
- développer une main d'œuvre polyvalente de maintenance ;
- implémenter la maintenance conditionnelle.

Etape 2 - Opérationnaliser la stratégie : Dans cette étape, la stratégie de maintenance convenue est traduite en objectifs de long terme. Les indicateurs principaux de performance (Key Performance Indicators, KPI), couvrant les quatre perspectives de la BSC, sont identifiés. Ils assurent une évaluation équilibrée de la performance de maintenance et des cibles de performance sont établies et étalées sur une période future de trois à cinq années. Supposons par exemple que l'externalisation de la maintenance et la réparation des équipements génériques, des équipements communs et des véhicules de la flotte ont été choisies comme stratégie, pour permettre à une compagnie d'électricité de se concentrer sur le cœur de ses compétences qui est de gérer son système de transmission et de distribution. Les KPI et les cibles de performance qui se relient à cet objectif stratégique sont : "externaliser 20 % du travail de maintenance" et "réduire les coûts de maintenance de 30 %" en deux ans. Le premier indicateur appartient à la perspective de "processus interne" et le dernier à la perspective "Financière" (Tsang *et al.*, 1999). Le Tableau 2.10 donne des exemples des indicateurs de performance principaux (KPI), d'une BSC, appliquée pour mesurer la performance de maintenance d'une compagnie de transmission et de distribution d'électricité.

Tableau 2.10 – KPI d'une compagnie de transmission et de distribution d'électricité (Tsang *et al.*, 1999)

Perspectives	Objectifs stratégiques	KPI
Financière	Réduire les coûts d'opération et de maintenance (O&M)	Coûts (O&M) par client
Client	Augmenter la satisfaction du client	Client-minute perdu Taux de satisfaction du client
Processus internes	Améliorer l'intégrité du système	% du temps de tension excèdent les limites Nombre des plans de contingence révisés
Apprentissage et croissance	Développer une force de travail multidisciplinaire et responsabilisée	% de personnel formé Nombre d'heure de formation par employée

Tant que les indicateurs de performance sont dérivés des objectifs stratégiques de l'organisation, chaque BSC reste spécifique à l'organisation pour laquelle elle a été développée. Par exemple l'application de la BSC à la maintenance d'un système ferroviaire urbain donne les indicateurs de performance suivant (Tsang, 1998) :

- perspective financière – coûts d'opérations et maintenance par véhicule / kilomètre ;
- perspective du client – les retards induits par la panne pour 1.000 passagers en voyages ;
- perspective du processus interne – le temps pour accomplir une révision majeure ;
- perspective d'apprentissage et de croissance – le pourcentage de personnel avec formation interdisciplinaire.

Si certains (KPI) sont facilement quantifiables, quelques autres exigent la création d'indicateurs qualitatifs, tels que la perception du client pour la qualité de service ou la satisfaction des employés. La faisabilité d'adopter un indicateur spécifique devrait être déterminée en répondant aux questions suivantes :

- Quels sont les types de données à exiger ?
- Comment et quand capturer de telles données ?
- Quelle sera la qualité prévue des données capturées ?
- Quel sera le coût impliqué ?
- Comment analyser les données capturées ?

Des cibles de KPI sont établies, par exemple, par l'extrapolation des anciens résultats. Cependant, il est plus proactif d'utiliser le niveau de performances des organisations best-in-class identifiées par le benchmarking, comme base pour fixer des cibles étendues des KPI. Afin d'accomplir le niveau supérieur des objectifs de la stratégie de maintenance adoptée, les objectifs, les KPI et les cibles sont cascades sous forme de buts pour les équipes et les individus. L'adoption de processus appropriés est la clef pour l'alignement réussi de ces buts permettant d'exploiter l'énergie et la créativité des managers et des employés engagés pour conduire les transformations organisationnelles désirées. L'engagement des divers partenaires dans les délibérations et l'utilisation de la BSC, pour communiquer le raisonnement derrière les décisions concernant le choix des KPI, sont les démarches à suivre pour adopter les principes d'un processus approprié dans le management de performance de maintenance (Tsang *et al.*, 1999).

Etape 3 - Développer des plans d'action : Les plans d'actions sont des moyens pour atteindre les objectifs stratégiques et les cibles établis dans la deuxième étape. Des initiatives doivent être tracées de sorte que les plans d'action nécessaires puissent être développés. Des cibles de court terme, sont également établies pour servir d'étapes importantes pour atteindre le progrès. A ce niveau, la participation de tous les partenaires de la fonction de maintenance est essentielle. La communication des concepts et des éléments de la BSC aux employés affectés et le développement d'un système d'information, pour capturer les données requises par les mesures de la BSC, sont aussi importants. Dans l'exemple précédent, la cible concernant l'externalisation des travaux de maintenance était formulée ainsi "externaliser 20 % du travail de maintenance". Pour réaliser cette cible, il est nécessaire, par exemple, de développer des capacités dans au moins trois domaines qui sont nécessaires dans le processus d'externalisation, à savoir : la négociation de contrat, le management de contrat et la capacité de capitaliser les opportunités émergentes qui se présentent dans le domaine de maintenance (Tsang *et al.*, 1999). Ces plans d'action devraient également prendre en considération tous les changements nécessaires dans l'infrastructure de soutien de l'organisation, tels que la structure du travail de maintenance, les systèmes de management d'information, les systèmes de récompense et de reconnaissance et les mécanismes d'allocation de ressource, etc. (Tsang *et al.*, 1999).

Etape 4 - Réviser périodiquement les performances et la stratégie : Après l'implémentation des plans d'action, le progrès accompli dans la réunion des objectifs stratégiques est surveillé en suivant, à intervalles définis, les KPI. L'analyse de corrélation peut être appliquée pour valider les rapports de cause-à-effet présumés entre les indicateurs. Quand les données ne valident pas les liens prévus entre les indicateurs ou progressent d'une manière insatisfaisante, la cause de l'anomalie doit être identifiée. Elle pourrait être due aux plans d'action inefficaces, ou à des erreurs dans les rapports de cause-à-effet. Il peut-être aussi, que les indicateurs sélectionnés, étaient inappropriés. Ainsi, les résultats de la révision peuvent rendre nécessaire le réexamen ou la modification de l'implémentation ou de la conception des plans d'action, la révision de la BSC ou même la reformulation de nouveaux objectifs stratégiques. En effet, la formulation d'une stratégie est un processus d'essai et d'erreur. L'efficacité de la stratégie adoptée doit être passée en revue périodiquement. Les faux débuts devraient être détectés tôt et remplacés par une nouvelle stratégie. Comme dans l'étape de formulation de la stratégie, la sagesse collective des divers partenaires devrait être exploitée à travers le travail d'équipe en conduisant ces révisions périodiques (Tsang *et al.*, 1999).

2.2.3.4. Quality Function Deployment

Les Japonais ont développé une approche appelée déploiement de la fonction de qualité (Quality Function Deployment, QFD) pour répondre aux exigences des clients dans tout le processus de conception des systèmes de production. Aussi, la QFD est souvent appelée "maison de qualité". La raison de cela est que les matrices dans la QFD sont ajustées ensemble pour former un diagramme qui a la forme d'une maison.

Kutucuoglu *et al.* (2001) considèrent que la structure de matrice de la QFD, est convenable pour développer un cadre de mesure de performance de la maintenance. Le cadre a été développé par des chercheurs à l'université de Salford (Royaume Uni). Le cadre suggéré pour construire un système de mesure de performance de la maintenance se compose des trois étapes principales suivantes.

Etape 1 - identifier et aligner les indicateurs principaux de performance : À ce stade, les éléments critiques de la performance sont déterminés. Chaque indicateur de performance est évalué et associé avec un score selon sa contribution au succès global de l'entreprise. Ceci permet aux organisations de concentrer leurs attentions sur les domaines les plus critiques.

Pour réaliser cette étape, Kutucuoglu *et al.* (2001) proposent de suivre les pas suivants :

1. Former une équipe composée des ingénieurs, mainteneurs, superviseurs, utilisateurs et concepteurs (si disponible).
2. Faire des séances de réflexion (Brainstorming) sur les objectifs stratégiques et diviser en sous-niveau les buts liés à la maintenance en considérant les trois niveaux de performance (organisation, processus, job/performer).
3. Elaborer les trois matrices pour les trois niveaux de performance en se basant sur le schéma de la Figure 2.13.

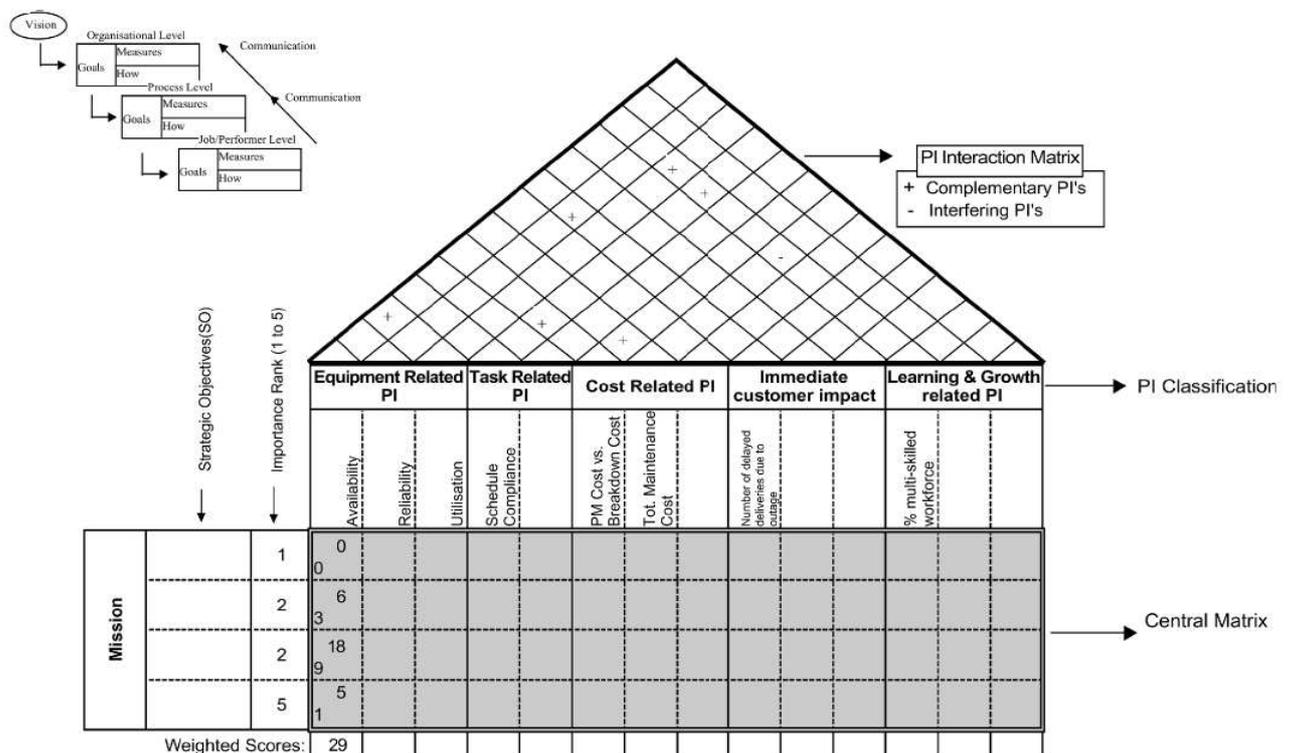


Figure 2.13 – Identification et alignement des KPI (Kutucuoglu *et al.*, 2001)

4. Faire des séances de réflexion sur les indicateurs de performance appropriés à chaque niveau de performance (organisation, processus, job/performer) en considérant les objectifs stratégiques et la classification des indicateurs de performance de maintenance.
5. Placer les objectifs et les buts stratégiques définis dans les matrices en les rangeant selon leur importance de 1 à 5 (colonne du rang d'importance).
6. Placer les indicateurs de performance dans les classes et les matrices appropriées.
7. En utilisant le bas gauche de chaque cellule dans la matrice centrale assigner les poids 0, 1, 3 ou 9 selon l'ampleur qu'a l'indicateur individuel pour refléter l'accomplissement des objectifs ou des buts stratégiques.
8. Pour chaque cellule, multiplier le poids dans la phase 7 par le poids de l'objectif stratégique ou le but dans la rangée ; placer le résultat dans le haut droit de la cellule.
9. Pour chaque colonne d'indicateur de performance, calculer la somme des résultats obtenus à la phase précédente ; ceci donnera un score qui reflète la capacité de chaque indicateur de refléter l'accomplissement des objectifs ou des buts stratégiques.
10. Définir les corrélations entre divers indicateurs de performance.
11. Se concentrer sur les indicateurs de performance possédant un grand score et continuer à poursuivre les autres périodiquement.

Les révisions périodiques de cette matrice permettent de répondre aux besoins changeants de l'entreprise.

Etape 2 - sélectionner les indicateurs spécifiques de chaque unité de mesure : Les sources des éléments critiques de performance, qui peuvent également s'appeler des unités de mesure, sont identifiées et liées aux différents indicateurs de performance. La matrice à ce stade peut, également, être utilisée pour suivre des groupes de mesures comme la disponibilité totale d'usine. Les pas suivants, sont donnés pour expliquer la manière de réaliser l'étape 2.

1. déterminer et énumérer les unités de mesure (utiliser l'analyse de criticité ou AMDE) ;
2. en passant par chaque cellule, décider si l'indicateur de performance est applicable ou critique à l'unité de mesure spécifique ; marquer en croix les cellules éliminées ;
3. exécuter les phases 1 et 2 pour chaque matrice développée à l'étape 1 ;
4. dessiner les matrices des unités de mesure spécifiques (voir Figure 2.14).

La rangée de mesure dans cette matrice (Figure 2.14) est facultative et peut être employée quand des sommaires ou des groupes de mesures sont nécessaires. La matrice de corrélations peut aussi être utilisée à ce stade.

Etape 3 - mesurer et évaluer : C'est l'étape à laquelle, pour chaque unité de mesure, la performance mesurée est enregistrée, évaluée et comparée avec la cible. Pour effectuer cette étape, Kutucuoglu *et al.* (2001) suggèrent de suivre les pas suivants :

1. définir les corrélations entre les divers indicateurs de performance ;
2. fixer des cibles réalisables pour chaque mesure (voir Figure 2.15) ;
3. conduire les mesures ;
4. évaluer les résultats ;
5. tracer un plan d'action.

Les matrices fournies dans les Figures 2.13, 2.14 et 2.15 sont des exemples de l'utilisation du cadre proposé par Kutucuoglu *et al.* (2001) pour la mesure de performance. Les trois étapes précédentes sont appliquées pour les trois niveaux de performance (niveau d'organisation, niveau de processus et niveau de job/performer). Par conséquent, il y a trois matrices inter-reliées à chaque étape. Au niveau de l'organisation, la mesure de performance doit inclure les fonctions de base de l'organisation de maintenance, ses relations avec les autres Départements et son environnement externe. Les stratégies de maintenance, la structure d'organisation et le

déploiement des ressources, sont quelques exemples des sujets de préoccupation de la mesure de performance de maintenance à ce niveau. Au niveau du processus, l'organisation de la maintenance devrait employer et mesurer tous les processus de valeur ajoutée qui sont exigés pour réaliser les buts du niveau d'organisation. Les processus inter-fonctionnels sont le souci principal à ce niveau. Au niveau du job/performer, la mesure de performance devrait se pencher sur les individus qui exécutent les diverses fonctions de maintenance et qui contrôlent les processus.

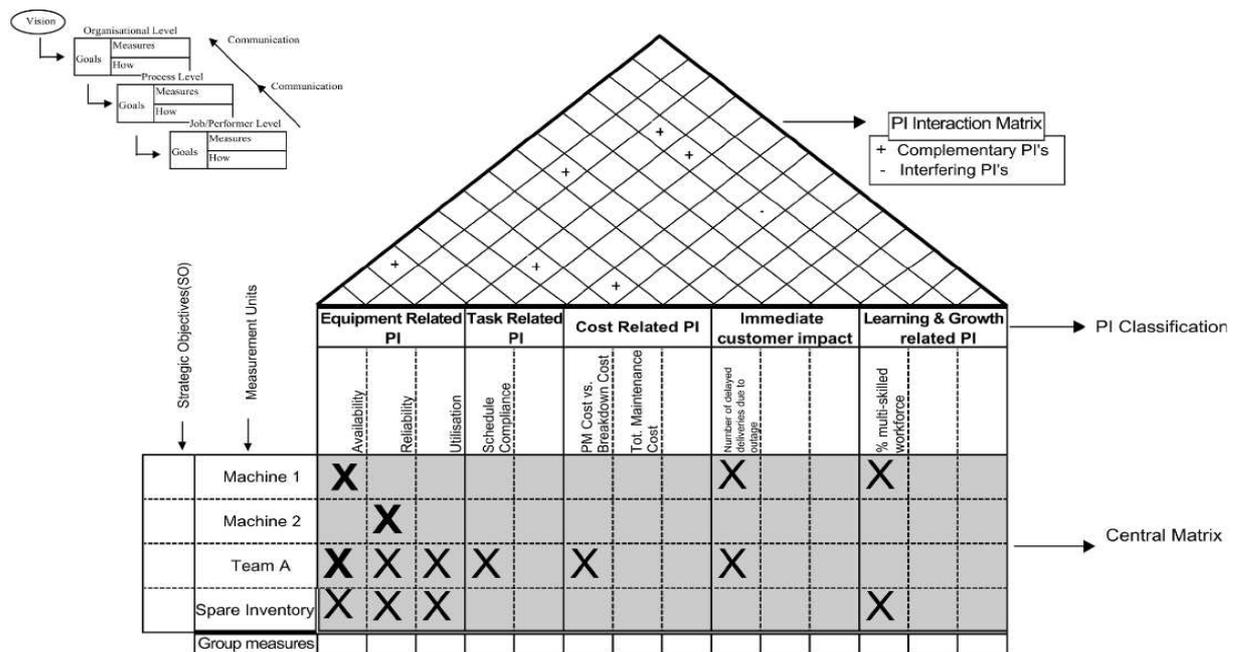


Figure 2.14 – Sélection des indicateurs spécifiques d'unité de mesure (Kutucuoglu *et al.*, 2001)

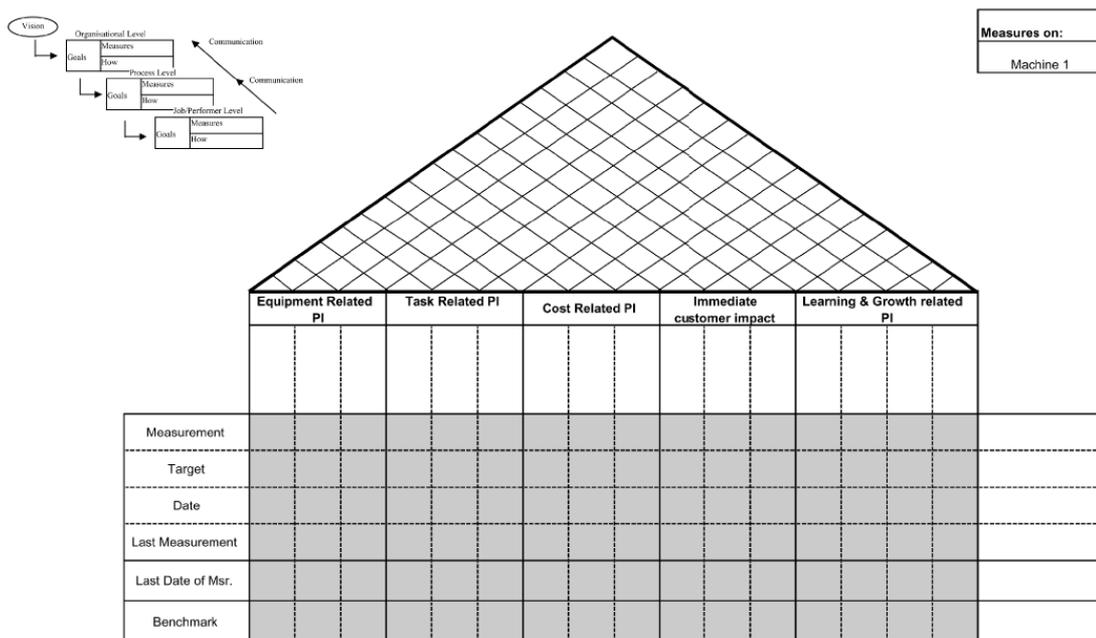


Figure 2.15 – Mesure et évaluation (Kutucuoglu *et al.*, 2001)

2.2.3.5. Cadre hiérarchique et multicritère

Pour refléter la contribution du processus de maintenance à la réalisation du but de la compagnie, le développement et l'implémentation d'un système, pour la mesure de performance de la maintenance, doit se concentrer sur la mesure de l'efficacité totale de cette fonction (Parida and Kumar, 2006). L'efficacité totale de maintenance est basée sur un modèle d'efficacité organisationnelle qui considère à la fois l'efficacité externe et l'efficacité interne. Le schéma de la Figure 2.16 présente les composants de l'efficacité totale de maintenance. Le concept d'efficacité totale de maintenance enveloppe l'organisation toute entière. L'efficacité totale est un produit de l'efficacité interne (caractérisée par des sujets reliés à l'utilisation efficace et efficiente des ressources) et de l'efficacité externe (caractérisée par la satisfaction du client et la croissance dans la part du marché).

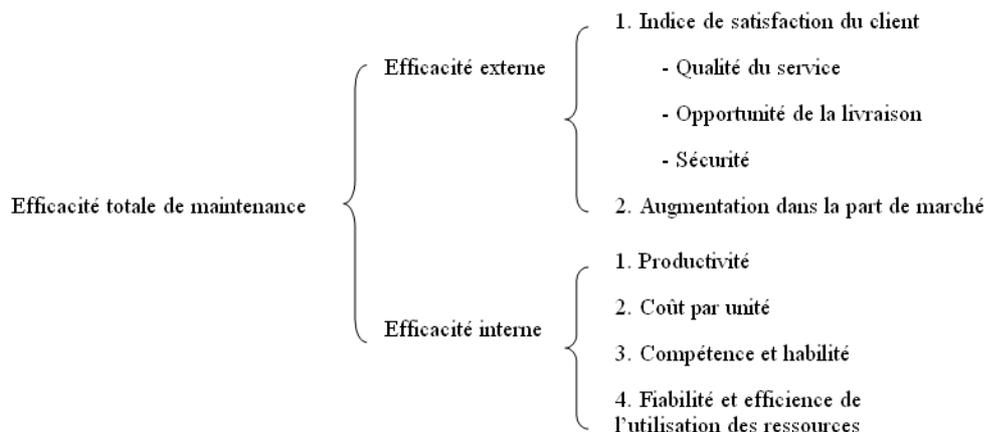
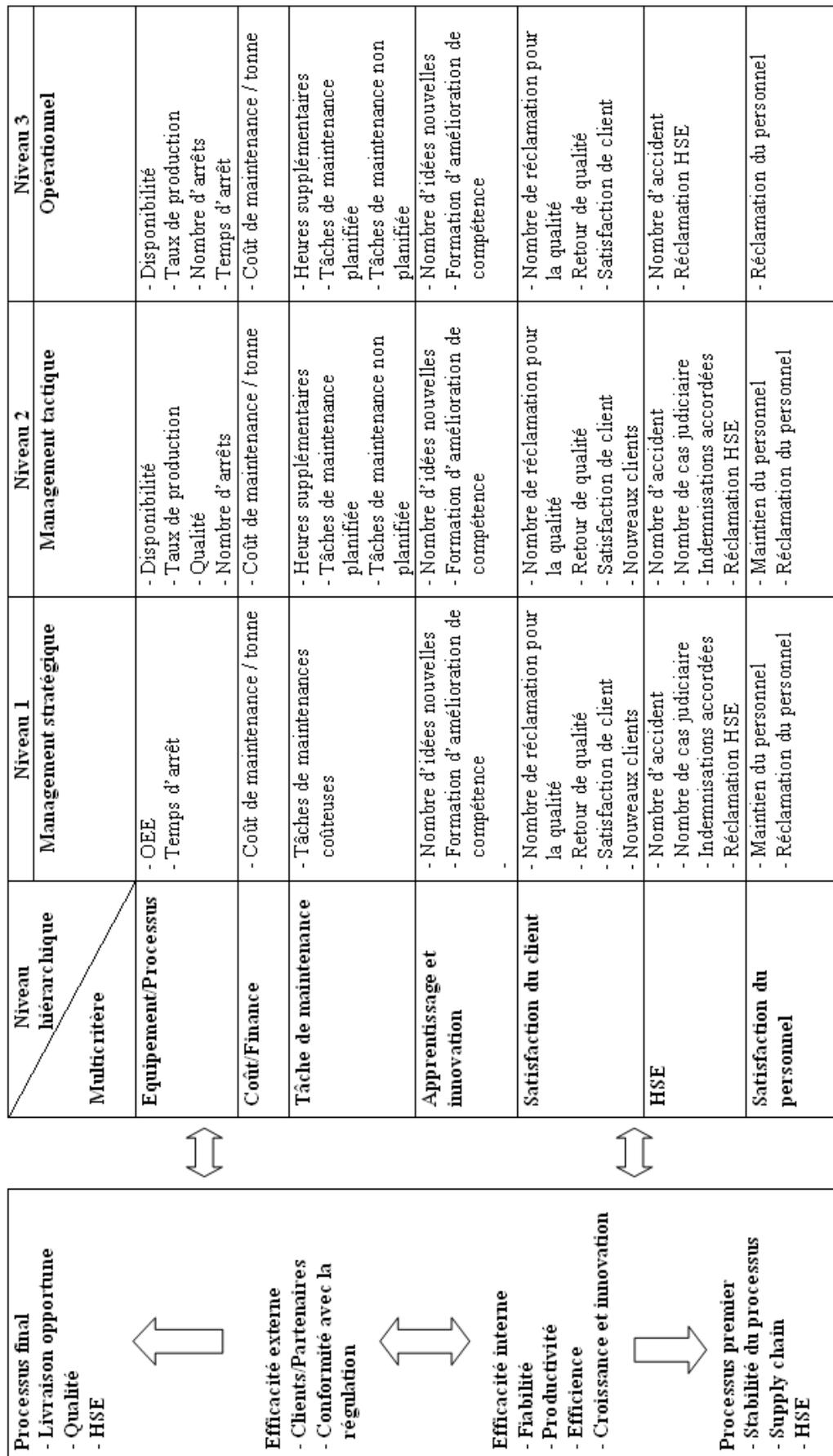


Figure 2.16 – Efficacité totale de la maintenance (Parida and Kumar, 2006)

L'efficacité interne s'intéresse à faire les choses dans la bonne manière et peut être exprimée, par exemple, en termes de rentabilité (coûts de maintenance par unité produite) et de productivité (nombre d'ordres de travail accomplis par unité de temps). L'efficacité interne concerne la gestion des ressources pour produire des services selon les spécifications.

L'efficacité externe concerne les sujets qui ont un effet à long terme sur la rentabilité de l'entreprise et est caractérisée par la fourniture des bons services de maintenance que veut le client. Afin de répondre aux diverses perspectives de la mesure de performance de maintenance, différents critères se composant d'un certain nombre d'indicateurs de performance de maintenance (Maintenance Performance Indicators, MPI) doivent être considérés. Le cadre de mesure de performance de la maintenance a besoin de considérer plusieurs sujets comme les exigences des partenaires et l'efficacité totale de maintenance pour identifier les MPI appropriés et aligner ensuite ces MPI avec la stratégie de la compagnie. Les MPI doivent être considérés de différents niveaux hiérarchiques de l'organisation, de sorte qu'ils puissent être cascades du niveau stratégique vers le niveau fonctionnel ou agrégés du niveau fonctionnel vers le niveau stratégique pour réaliser l'efficience et l'efficacité (Parida and Kumar, 2006). Les secteurs stratégiques critiques changent d'une compagnie à une autre, mais incluent généralement des secteurs tels que (Parida, 2006) : les sujets financiers ou relatifs aux coûts, les sujets reliés à la santé, la sécurité et l'environnement, les sujets reliés aux processus, les sujets reliés aux tâches de maintenance, les sujets reliés à l'accroissance, l'apprentissage et l'innovation et, en même temps, les aspects internes et externes de la compagnie. Les éléments du cadre hiérarchique et multicritère sont rassemblés dans le Tableau 2.11.

Tableau 2.11 – Cadre hiérarchique et multicritère pour la mesure de performance de maintenance (Parida and Chattopadhyay, 2007)



Aussi, il important de lier, dans le cadre de mesure de performance de maintenance, les objectifs et la stratégie de la compagnie et les indicateurs de performance. Cette liaison est nécessaire pour accroître à long terme la valeur de la compagnie, comme le montre le schéma de la Figure 2.17.

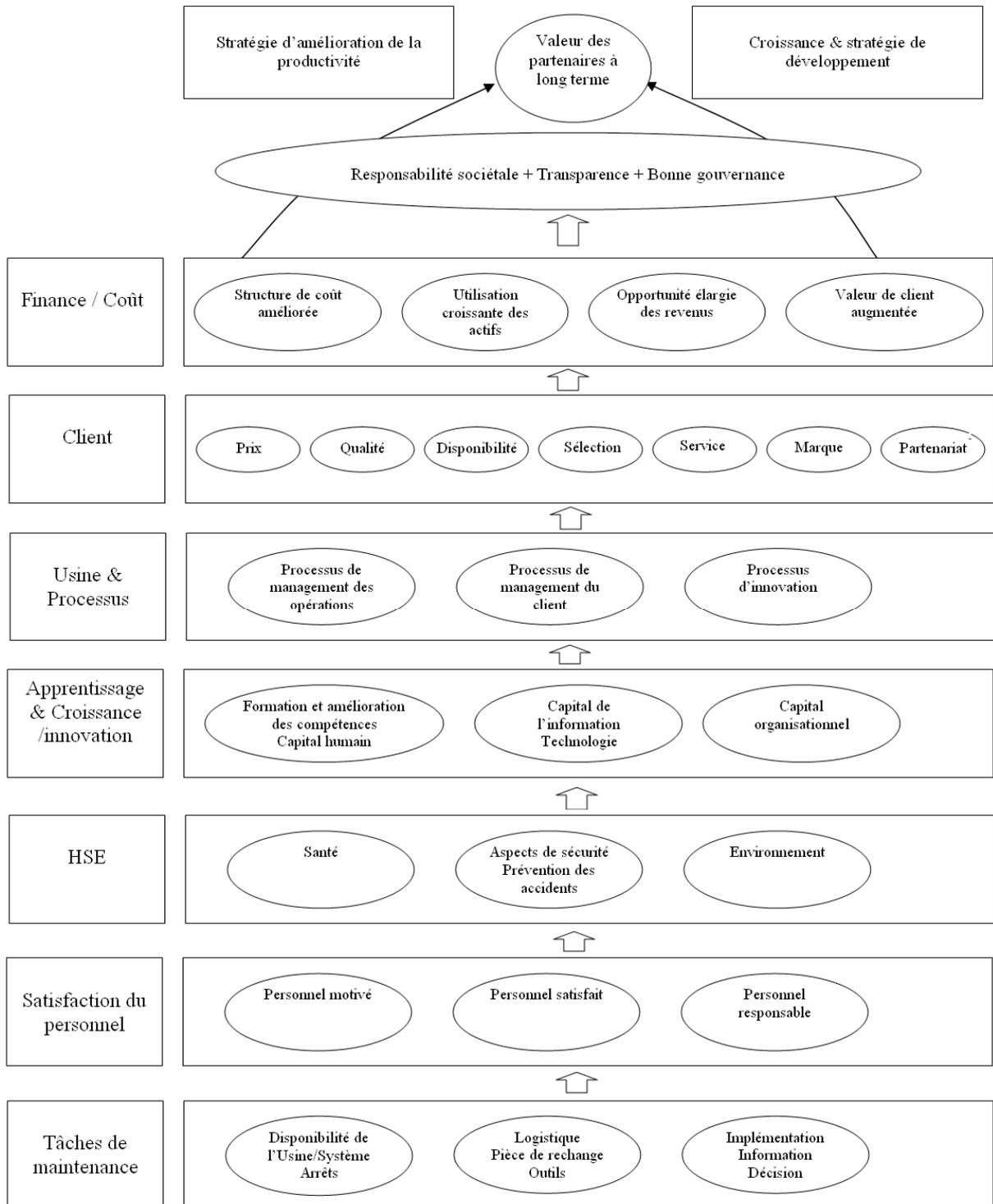


Figure 2.17 – Liaison entre les différents MPI et les critères (Parida, 2006)

2.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les principaux cadres proposés en littérature pour mesurer la performance d'une organisation. Dans le passé, les organisations ont employé indépendamment des indicateurs financiers et non financiers pour évaluer la performance. Les indicateurs financiers étaient utilisés comme moyen principal pour évaluer la performance au niveau du top management, tandis que les indicateurs non financiers étaient employés à des niveaux plus bas.

Aujourd'hui, plusieurs auteurs ont proposé des cadres de mesure pour agrandir cette vue limitée de la performance. Ces cadres ont fait l'objet de la première section du présent chapitre. Chaque cadre proposé, fournit différentes perspectives pour classer les indicateurs par catégorie de performance, afin de réaliser un certain équilibre et surmonter les imperfections des cadres de mesure basé sur la comptabilité traditionnelle. Cependant, les études ont montré que dans la plupart des cas, l'implémentation de ces cadres conceptuels a échoué et que les bonnes mesures non financières n'ont pas été identifiées.

Plus particulièrement, la mesure de performance de maintenance a formé, aussi, un domaine d'intérêt chez plusieurs chercheurs, leurs principaux travaux ont été présentés dans la deuxième section de ce chapitre. Dans la littérature existante, l'intérêt a été porté à l'efficacité interne de la maintenance et aucun effort remarquable n'a été fait pour mesurer la participation de la maintenance dans la réalisation du but global de l'entreprise. Ce constat, nous a incité à proposer un nouveau cadre pour mesurer la performance de la maintenance basé sur le CCV. Ce cadre fera l'objet des prochains chapitres de ce mémoire.

Deuxième partie
Elaboration de l'approche

Chapitre 3

Chapitre 3

Approche du Coût de Cycle de Vie

Le premier chapitre de cette thèse a mis en évidence l'avantage concurrentiel que peut fournir la maintenance ainsi que sa contribution à la réalisation des objectifs stratégiques de l'entreprise. La mesure de cette contribution a suscité l'intérêt de certains chercheurs qui ont proposé, à ce propos, des cadres de mesure de performance de la maintenance. Ces cadres, présentés dans le deuxième chapitre, avaient pour souci d'aider le manager de la maintenance à sélectionner les indicateurs de mesure appropriés.

Cependant, la plupart de ces approches ont négligé la dimension économique de la maintenance (à l'exception de l'approche de mesure de l'incident), alors qu'elle constitue un souci majeur chez le top management. En effet, plusieurs auteurs affirment que, pour beaucoup d'industries à capital-intensifs, les coûts de maintenance représentent une partie significative du coût de fonctionnement. Par exemple, les dépenses annuelles de la maintenance pour l'Europe est autour de 1500 milliards euros (€) (Parida, 2006) et de 20 milliards € par an pour la Suède (Ahlmann, 2002). Blanchard (1997) signale qu'une étude menée en 1989, a montré que le coût de maintenance pour un groupe de compagnies sélectionnées a atteint 600 milliards \$ en 1989 alors qu'il était de 200 milliards \$ en 1979. Aussi, Dhillon and Liu (2006) indiquent que, chaque année, plus de 300 milliards \$ sont dépensés pour la maintenance des usines industriels aux Etats Unis et qu'environ 80% de cette somme est dépensée pour corriger les défaillances fréquentes des machines, des systèmes et des personnes. D'après Murthy *et al.* (2002), le coût annuel de la maintenance (corrective and préventive) dans l'industrie minière, s'élève à 40 - 50 % du budget de fonctionnement total (équivalent de 0,5 milliard \$ par année pour une grande firme minière). Cette proportion varie entre 20 et 30 % dans l'industrie du transport (Murthy *et al.*, 2002).

Les coûts, cités précédemment, ne représentent que les coûts directs de la maintenance qui sont les montants dépensés pour maintenir les systèmes techniques en état de bon fonctionnement. Les coûts indirects 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. Par exemple, dans l'industrie minière, le manque à gagner (pertes en revenue) résultant de l'arrêt d'une dragline typique est évalué à 0,5 - 1,0 M\$ par jour. Dans le cas des opérations aériennes, la perte en revenu pour un avion 747 à l'arrêt est approximativement 0,5 M\$ par jour (Murthy *et al.*, 2002).

Cette dimension économique, dans le management de la maintenance, ne doit pas être utilisée uniquement pour l'estimation des dépenses de la maintenance, mais aussi pour son amélioration. Par exemple, Sherwin (2000) a indiqué qu'une étude publiée en 1970 par le Ministry of Technology du Royaume Uni a montré que plus de 3 milliards pounds (£) étaient dépensés, chaque année, par l'industrie manufacturière. Au moins 8-10 % de cette somme pouvait être épargnée seulement par des améliorations très élémentaires, comme la prévention de la rouille par une peinture plus efficace. Un autre exemple est donné par Saranga (2002). Cet auteur affirme qu'en maintenance systématique, les coûts de réparation peuvent être réduits, mais les pertes en production peuvent croître considérablement, si l'équipement est complexe et que sa maintenance exige des jours ou de semaines pour être accomplie. Pour

argumenter cette affirmation, Saranga (2002) a cité l'exemple de The Electric Power Research Institute (EPRI), qui a rapporté qu'un tiers de l'argent dépensé sur la maintenance systématique dans l'industrie de production d'énergie électrique était perdue (60 milliards \$ pendant l'année considérée). Cette perte pouvait être épargnée si la politique de maintenance adoptée était plus efficace et qui consistait à prévoir les défaillances et à arrêter l'équipement uniquement lorsque les réparations sont nécessaires.

Cette évaluation économique de la 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. En effet, Sherwin (2000) affirme que le langage du top management est l'argent. Ainsi, les coûts et les valeurs de la maintenance dans la compagnie doivent être exprimée, par le biais d'une partie du système de management, en termes de cash (Sherwin, 2000). Dans ce cadre, l'utilisation de l'approche du Coût de Cycle de Vie (CCV) pour améliorer la maintenance est appropriée.

Les racines de l'approche CCV se retrouvent dans les programmes du Département Américain de la défense qui a incorporé, dès les années 70, l'optimisation de CCV dans ses activités, telles que la logistique, les opérations et l'acquisition. Jusqu'au début des années 80, l'analyse de CCV a été appliquée principalement dans le domaine militaire. Après cette période, les applications de l'analyse de CCV se sont étendues à d'autres domaines tels que l'aéronautique, les systèmes ferroviaires, les usines d'électricité, les industries chimiques et de pétrole (Kawauchi and Rausand, 1999)

L'objet de ce chapitre est de présenter le CCV, comme une approche utilisée non seulement dans la conception et la construction (ou la production) de nouveaux systèmes mais aussi dans l'amélioration de l'exploitation et de la maintenance des systèmes qui sont en phase d'utilisation dans leurs cycle de vie. La première section de ce chapitre, présente quelques concepts attachés au CCV. La deuxième section, définit le processus d'analyse du CCV ainsi que les outils utilisés dans cette analyse. Le coût global de maintenance fait l'objet de la dernière section de ce chapitre.

3.1. Aperçu sur le CCV

La connaissance des coûts d'un bien tout le long de son existence est un des soucis de l'ingénierie industrielle auquel répond, le plus convenablement, le concept de CCV. En conséquence, ce dernier concept est appelé, aujourd'hui, à remplacer la notion du prix d'acquisition ou celle du prix d'achat d'un bien.

Dans cette section, nous présentons le cycle de vie d'un bien, ses différentes étapes, son coût et ses principales composantes. Ensuite, nous insistons sur l'importance de l'étape de conception dans la détermination du CCV d'un bien.

3.1.1. Cycle de vie d'un bien

La norme européenne EN 13306, donne la définition suivante d'un bien "tout élément, composant, mécanique, sous système, unité fonctionnelle, équipement, ou système, qui peut être considéré individuellement". Les biens peuvent être classés dans plusieurs catégories. Une de ces classifications est proposée par Blischke and Murthy (2003) :

Biens consommables : à la fois durable ou non durable (par exemple, les appareils électroménagers, micro-ordinateurs et petits outils). Ces biens sont classés du simple au complexe et ils sont caractérisés par un grand nombre de producteurs et un grand nombre d'acquéreurs.

Biens commerciaux : tels que les avions commerciaux, les équipements médicaux, les systèmes de communication, les grands ordinateurs, etc. Ces biens sont relativement caractérisés par un petit nombre à la fois de producteurs et d'acquéreurs.

Biens industriels : par exemple : les machines de coupe, les presses et les grandes turbines. Pour cette catégorie de biens, il y a relativement peu de fournisseurs et peu d'acheteurs.

Biens gouvernementaux : militaires, aérospatiaux et autres biens hors infrastructures, tels que les avions militaires, les radars, les fusées, les bâtiments, les monuments, etc. Ces biens sont relativement caractérisés par peu de fabricants et un seul acquéreur.

Infrastructure : par exemple : les barrages, les routes, les usines de production de l'énergie électrique et les ponts. Dans ce cas encore, il y a typiquement peu de fournisseurs et très peu d'acheteurs. Le plus souvent il y a un seul acheteur qui est l'agence gouvernementale.

Cependant, il faut noter que ces catégories ne sont pas mutuellement exclusives et que la catégorisation est beaucoup plus complexe que celle suggérée par la liste précédente. Dans toutes les catégories, les biens eux-mêmes peuvent se ranger du simple au complexe.

Le bien peut être examiné d'une perspective encore plus large, en considérant le cycle de vie d'un bien enveloppé dans sa courbe de vie. La norme EN 13306 a défini le cycle de vie d'un bien comme étant "l'intervalle de temps qui commence à la conception du bien et se termine avec son élimination". Il est possible que le cycle de vie du bien, du point de vue de son producteur, soit différent du point de vue de son utilisateur. Pour ce dernier, le cycle de vie d'un bien est égal à la durée pendant laquelle il utilisera ce bien. Pour le producteur, le cycle de vie du produit est lié à la durée de ses ventes, on parlera alors de la courbe de vie d'un produit.

La Figure 3.1 présente quelques modèles de courbe de vie. En général, la courbe de vie d'un produit se compose des phases suivantes :

- Phase d'introduction : le produit n'est matérialisé que par des plans et autres documents.
- Phase de lancement : le produit passe d'un état virtuel à un état matériel.
- Phase de croissance : le chiffre d'affaires lié au produit croît rapidement.
- Phase de saturation : le produit est figé dans ses attributs morpho-techniques.
- Phase de déclin : recyclage ou retrait progressif du bien en question.

Le processus de cycle de vie d'un bien commence par une idée de construction du bien en question, pour répondre à certains besoins identifiés chez le consommateur. Cela est basé, habituellement, sur l'étude du marché et l'estimation de la demande potentielle du produit projeté. L'étape suivante est l'étude de faisabilité. Elle implique l'évaluation de la possibilité d'atteindre les cibles, à l'intérieur des limites de coûts. Si ces analyses indiquent que le projet est faisable, alors une conception initiale du produit est considérée. Le prototype est ensuite développé et testé. A ce stade, il n'est pas inhabituel de trouver que les niveaux de performance du prototype sont au dessous des valeurs ciblées. Dans ce cas, davantage de développements du produit sont considérés pour résoudre les problèmes identifiés. Une fois

que cela est réalisé, l'étape suivante est de mener des épreuves pour déterminer la performance réelle du produit et commencer l'exécution de la pré-production. Cela est nécessaire pour que le processus de fabrication puisse fonctionner correctement. Toutefois, des procédures de contrôle de qualité sont établies pour assurer que les biens produits ont les mêmes caractéristiques de performance que celles du prototype final. Après cela, les efforts de production et de marketing commencent. Les biens sont fabriqués et vendus et la production continue jusqu'à ce que le produit soit retiré du marché, à cause de l'obsolescence ou l'introduction d'un produit remplaçant (Blischke and Murthy, 2003). Toutes les différentes étapes précédentes du cycle de vie d'un bien peuvent être regroupées dans deux phases essentielles qui sont la phase d'acquisition et la phase d'exploitation ou d'utilisation. Les étapes constituanes des deux phases précédentes sont illustrées par la Figure 3.2 et détaillées ci-dessous (dans ce qui suit nous utilisons le terme "système" au lieu du terme "bien").

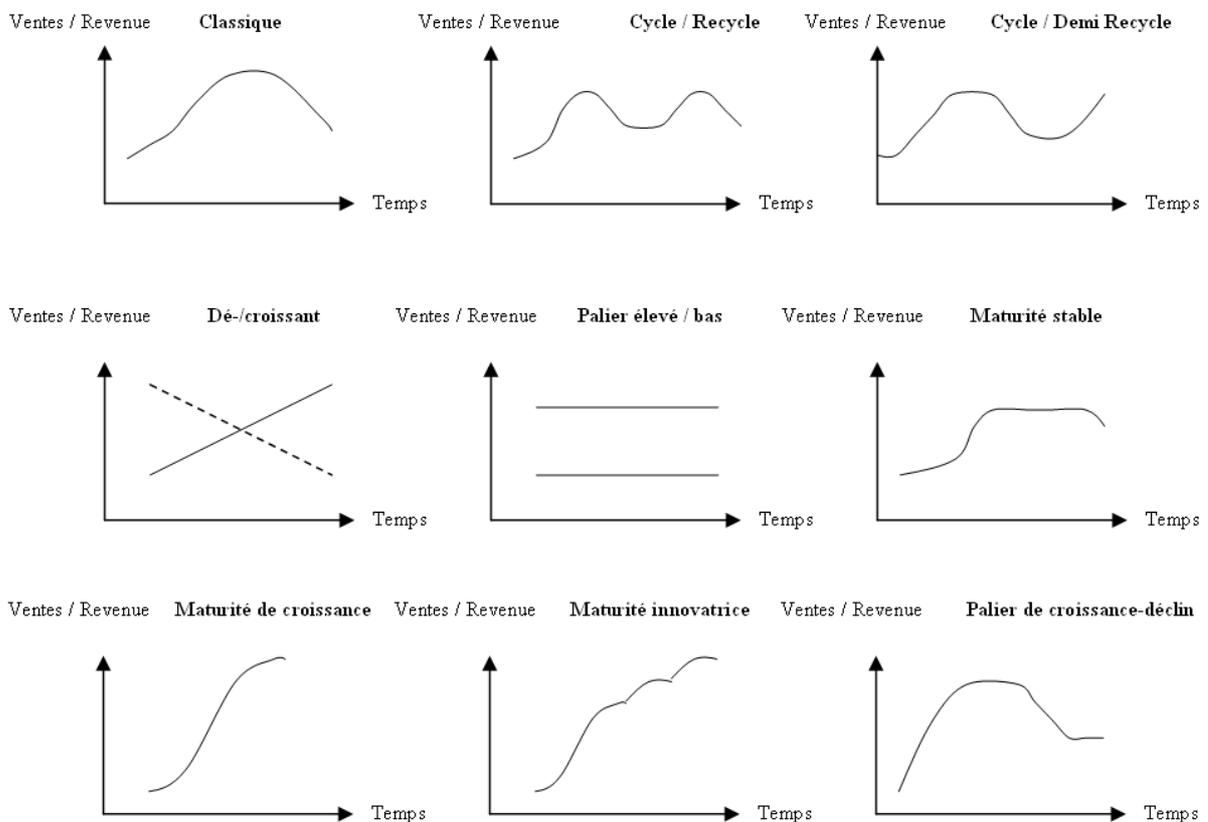


Figure 3.1 – Quelques modèles de courbe de vie de bien (Rink & Swan 1979)

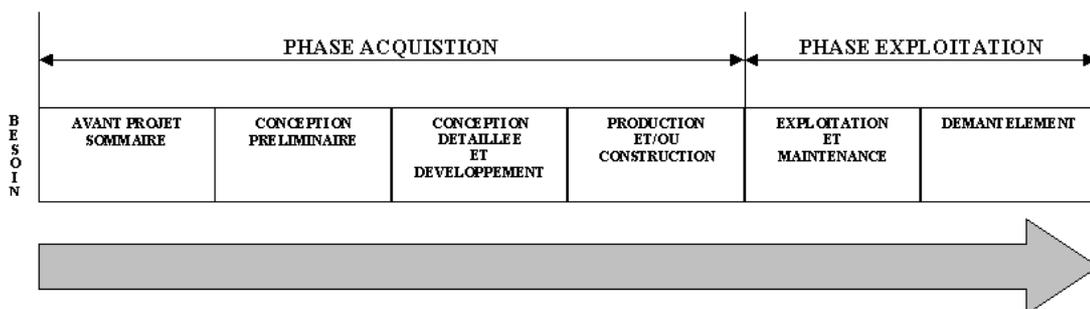


Figure 3.2 – Phases de cycle de vie d'un système (Blanchard and Fabrycky, 1990)

3.1.1.1. Avant projet

Le cycle de vie du système commence à partir de l'identification des besoins. Ensuite, il est nécessaire de définir les exigences de base pour le système en termes de critères d'inputs pour la conception.

Pour faciliter ce processus, Blanchard and Fabrycky (1990) propose de répondre aux questions nécessaires suivantes :

- Qu'est ce que le système accomplira en termes d'opérations et de caractéristiques fonctionnelles de performance (gamme, précision, vitesse d'exécution, output d'énergie, quantités de produits, vitesse d'écoulement du liquide, nombre d'articles traités, etc.) ?
- Quand est ce qu'il y aura une nécessité du système ? Quels sont les exigences du consommateur ? Quel est le cycle de vie opérationnel prévu pour le système ?
- Comment le système sera t-il utilisé en termes d'heures opérationnelles par jour, nombre de cycle on-off par mois et ainsi de suite ?
- Comment, le système, sera t-il distribué et déployé ? où seront localisés les différents éléments du système et pour combien de temps ?
- Quelles sont les conditions d'efficacité que le système devra montrer (rentabilité, disponibilité, fiabilité, maintenabilité, supportabilité, etc.) ?
- Quelles sont les exigences environnementales du système (température, humidité, choc et vibration, etc.) ; est ce que le système fonctionnera dans des zones arctiques, zones tropicales ou dans des terrains plats ou montagneux et quels sont les modes de transport, de manutention ou de stockage ?
- Comment le système sera t-il soutenu dans son cycle de vie ? Cela inclut la définition des niveaux de maintenance, les fonctions à chaque niveau et les exigences de soutien logistique anticipés (équipement de test et de soutien, appui d'approvisionnement et pièces détachées/rechange, personnel et formation, exigences de transport et de manutention, infrastructures, logiciels et données techniques).
- Quand est ce que le système deviendra obsolète ou quand est ce que les biens seront enlevés de l'inventaire, quelles sont les exigences pour l'élimination du système ? Est ce que des biens spécifiques peuvent être recyclés ? Quel sera l'effet sur l'environnement ?

Les réponses évoluent généralement à partir des études de faisabilité, du développement des concepts d'exigences opérationnelles et de maintenance et la préparation des spécifications du système.

3.1.1.2. Conception et développement

Le processus de conception vient suite à un ensemble d'exigences indiquées et progresse selon les étapes suivantes (Blanchard and Fabrycky, 1990) :

- avant projet de conception (établissement des paramètres de performance, exigences opérationnelles et politiques de soutien)
- conception préliminaire des systèmes (quelques fois appelée développement avancée) et
- conception détaillée.

Ce processus commence généralement avec la visualisation de ce qu'est exigé et se prolonge à travers le développement, le test et l'évaluation d'un modèle d'engineering ou de prototype d'un système. L'output constitue une configuration qui peut être directement produite ou construite à partir des spécifications, d'un ensemble de schémas et de documents de support.

Durant cette phase, il y a une variété de fonctions à réaliser :

- accomplir les analyses fonctionnelles pour identifier les fonctions majeures opérationnelles et de soutien que le système devra réaliser ;
- établir les critères de conception du système (paramètres techniques qualitatifs et quantitatifs, limites et contraintes) ;
- évaluer les différentes approches alternatives de conception à travers l'accomplissement d'analyses de rentabilité du système et des études de compromis (tradeoff) ;
- préparer le développement du système et les spécifications des matériaux ;
- sélectionner les composants du système et préconiser des sources d'approvisionnement ;
- préparer les documents de spécification de fournisseur et la documentation de contrat ;
- définir complètement le produit à travers la documentation (schémas préliminaires, schémas d'interface, schémas d'installation, schémas de fabrication et les bases de données associées) ;
- évaluer la conception par la réalisation des prévisions, des analyses et des révisions périodiques de la conception.
- développer les modèles d'engineering et prototypes dans le but de tester et d'évaluer le système ;
- développer des logiciels, bases de données et documentation associées exigés pour définir, concevoir, tester, produire, exploiter et maintenir le système ;
- développer les spécifications et les procédures de test du système et de ses composants et accomplir les tests spécifiques pour assurer que toutes les exigences de conception sont respectées ;
- réaliser les modifications de conception nécessaires pour corriger les déficiences et/ou pour améliorer la conception du système.

3.1.1.3. Production et/ou construction

Le processus de production, indépendamment du type de produit, implique des inventaires, acquisition de matériel et provisions de contrôle, équipement d'outillage et de test, méthodes de transport et de manutention, installations, personnel et données.

Parmi les fonctions incluses dans cette phase il y a (Blanchard and Fabrycky, 1990) :

- les fonctions de conception des installations pour la fabrication du produit, assemblage et test ; cela inclut la détermination de la capacité et de la localisation à la fois des installations de fabrication et de stockage, les exigences en service, les besoins des équipements principaux et de manutention et les provisions en matériaux ;
- la conception des processus de fabrication (ordonnancement des tâches, opérations, spécifications des processus, etc.) ;
- la sélection de matériaux et la détermination des exigences en inventaire ;
- la conception d'outillage spécial, d'équipement de test, d'équipement de transport, de manutention et de montage à utiliser dans les opérations de production/construction ;
- l'établissement des méthodes et processus de travail, normes de temps et de coût et paramètres d'évaluation subséquente des opérations de production/construction ;
- l'évaluation des opérations de production/construction pour assurer que la performance du produit, qualité, fiabilité, maintenabilité, sûreté et autres dispositifs désirés sont maintenus dans tout le processus de production/construction.

3.1.1.4. Exploitation et maintenance

Les fonctions durant la phase d'utilisation contiennent :

- l'utilisation du système par le consommateur dans tout son cycle de vie prévu ;
- l'incorporation des modifications de produit pour son amélioration ;
- le support logistique nécessaires et
- la maintenance du système.

Ces fonctions peuvent être accomplies par le consommateur tout seul, par le consommateur avec le soutien du producteur dans certains domaines, ou par le consommateur avec le soutien d'une organisation externe (autres que le producteur) réalisant des tâches spécifiques (Blanchard and Fabrycky, 1990).

3.1.1.5. Retrait du système

Il est important de remarquer que les coûts de soutien atteignent rapidement un maximum en fin de cycle d'exploitation du matériel. C'est à ce moment que la phase de retrait de service commence. Cette phase peut être :

- une phase de mise au rebut induisant des coûts de recyclage et de démantèlement (dépenses pour le client),
- une phase de revente des équipements pour une autre utilisation (profits pour le client).

3.1.2. Définition du CCV

Le CCV d'un bien est défini par la norme européenne EN 13306 comme étant "l'ensemble des coûts engendrés pendant le cycle de vie du bien". Dans la littérature, le concept de CCV peut être trouvé sous diverses appellations (Zwingelstein, 2006) :

- Coût Global de Possession (ou coût total de possession) : traduction française de Life Cycle Cost (LCC) qui se synthétise très souvent sous le sigle CGP.
- Coût Global : expression souvent employée par les industriels ferroviaires et les économistes.
- Coût global de cycle de vie : expression donnée par les normes AFNOR.
- Coût global de durée de vie : autre expression donnée par les normes AFNOR.
- Total Cost Ownership : expression anglo-saxonne très utilisée dans l'industrie informatique (exemple : Compaq) sous le sigle TCO et dans les pays anglophones comme la Suède.
- Through-Life Cost : employée au USA au même titre que LCC mais particulièrement au domaine civil.

3.1.2.1. Composantes du CCV

Pour plusieurs systèmes, certains coûts sont relativement bien connus, tels que les coûts associés à la conception, la construction, la fourniture initiale et l'installation des équipements. Mais d'autres coûts sont légèrement cachés, tels que les coûts associés à l'exploitation ou l'utilisation, la maintenance et le soutien du système tout le long de son cycle de vie planifié. C'est ce que montre la Figure 3.3, appelée Iceberg des coûts.

Les composantes du CCV peuvent être associées aux différentes étapes du cycle de vie. Ainsi, nous obtenons les catégories générales de coût suivantes (Halog, 2002) :

Coût de conception, recherche et développement : coût lié à la planification, analyse du marché, études de faisabilité, recherche & développement, ingénierie de conception, documentation, logiciel, essai et évaluation des modèles d'ingénierie et différentes fonctions associées au management.

Coût de production et de construction : coût lié au génie industriel et analyse des opérations, fabrication, assemblage, essai, construction, développement de processus, opérations de production, contrôle de qualité et besoins en appui logistique initial (par exemple, soutien initial du consommateur, fabrication des pièces de rechange et production d'équipement d'essai et de soutien).

Coût d'exploitation et de soutien : coût lié à l'exploitation ou à l'utilisation du système, distribution de la production, maintenance, approvisionnement, équipement d'essai et de soutien, transport et manipulation, données techniques, équipements, modifications de système, etc.

Coût de retrait et de déclassement : coût lié à la mise au rebut des articles irréparables dans tout le cycle de vie, retrait du système, réutilisation des matières, besoins en soutien logistiques, activités de management des déchets, recyclage etc.

La Figure 3.4 présente une répartition des différents coûts qui peuvent être engendrés durant le cycle de vie d'un système. Cet arbre de coûts donne les principaux postes de coûts et n'est pas exhaustif pour recouvrir tous les cas spécifiques. L'annexe 2 donne plus de détails sur les composantes du CCV.



Figure 3.3 – Iceberg du CCV (Zwinglestein, 1996)

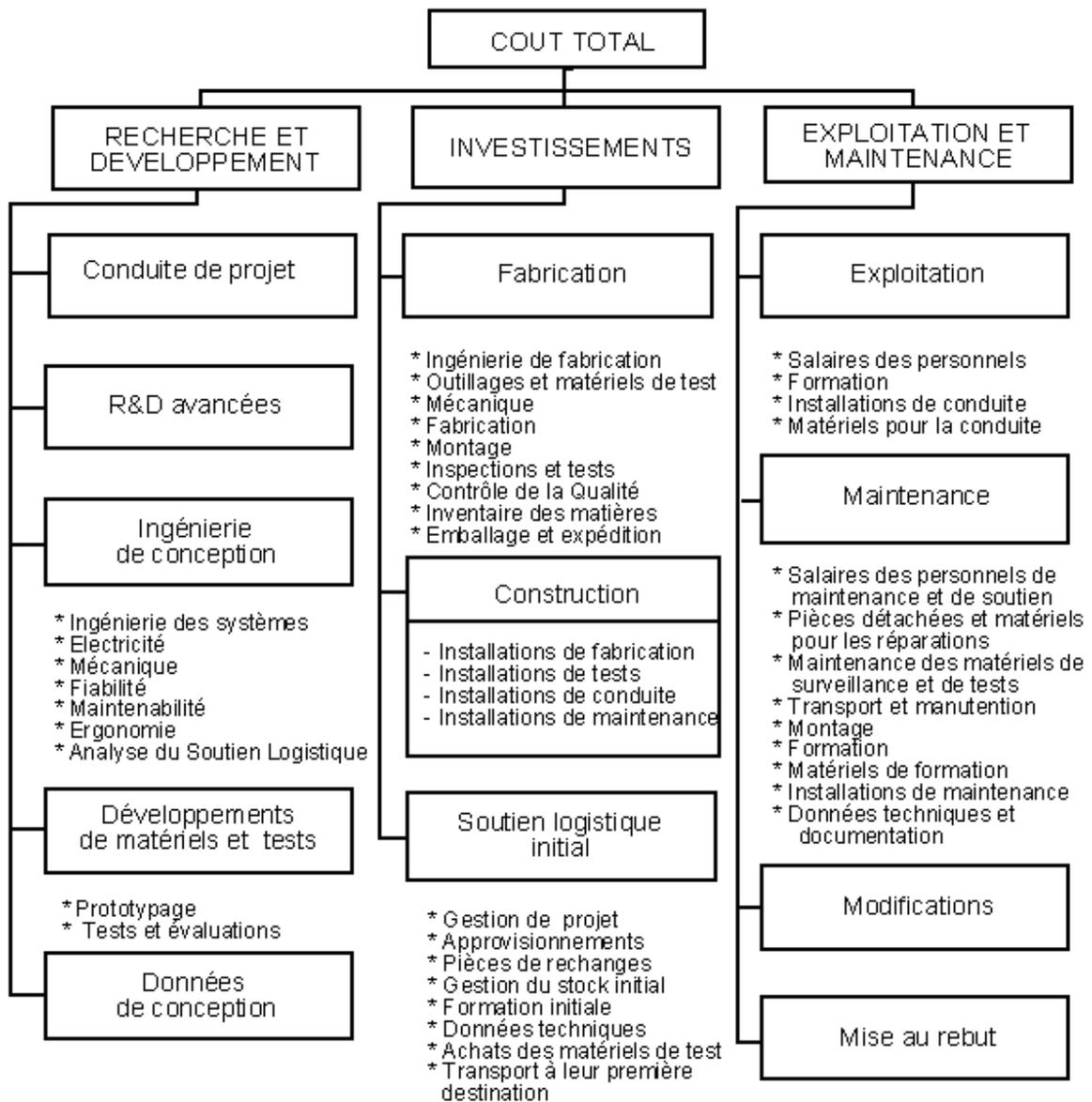


Figure 3.4 – Postes de coûts (Zwingelstein, 1996)

3.1.2.2. Importance de la conception dans le CCV

Une bonne conception d'un système reflète un équilibre optimum entre les paramètres physiques du système (capacité, précision, vitesse, volume, poids, forme, etc.), les facteurs de soutien du système (disponibilité, fiabilité, maintenabilité, supportabilité, transportabilité, etc.) et les facteurs économiques du système (coût d'exploitation et de maintenance, CCV, etc.). Cet équilibre est atteignable à travers un effort de compromis et d'analyses accomplis dans les premiers stades du développement du système. Les résultats de cet effort conduisent vers des décisions qui ont un impact significatif sur ce qui va survenir durant la construction, l'exploitation, la maintenance et l'élimination du système. L'attention appropriée donnée à certains facteurs très tôt dans le cycle de vie peut éviter des problèmes plus tard, tandis qu'ignorer d'autres peut s'avérer tout à fait coûteux (Blanchard and Fabrycky, 1990).

En effet, une grande partie du CCV d'un système est le résultat des décisions faites dans les premières phases de son cycle de vie, alors que seulement 5% à 10% du coût global est dépensé réellement durant ces étapes (Halog, 2002). Ainsi, les décisions concernant l'utilisation de nouvelles technologies dans la conception, la sélection des matériaux et des composants, la sélection du processus de fabrication, des schémas d'assemblages d'équipements, des politiques de maintenance, etc., ont un grand impact sur les coûts "en aval" et ainsi, sur le coût global de cycle de vie et sur la rentabilité du système (Blanchard, 1999). Par exemple, dans les industries de l'automobile et de l'électronique, Halog (2002) rapporte qu'environ 80% du CCV des biens produits, est la conséquence des étapes de concept et de design préliminaire et que le coût de changement de conception a un taux d'augmentation croissant au fur et à mesure qu'un produit avance vers le développement complet et le prototypage. La Figure 3.5 représente deux courbes montrant d'une part, l'allure des dépenses en fonction de choix retenus et d'une autre part, la répartition des dépenses pendant la phase de durée de vie.

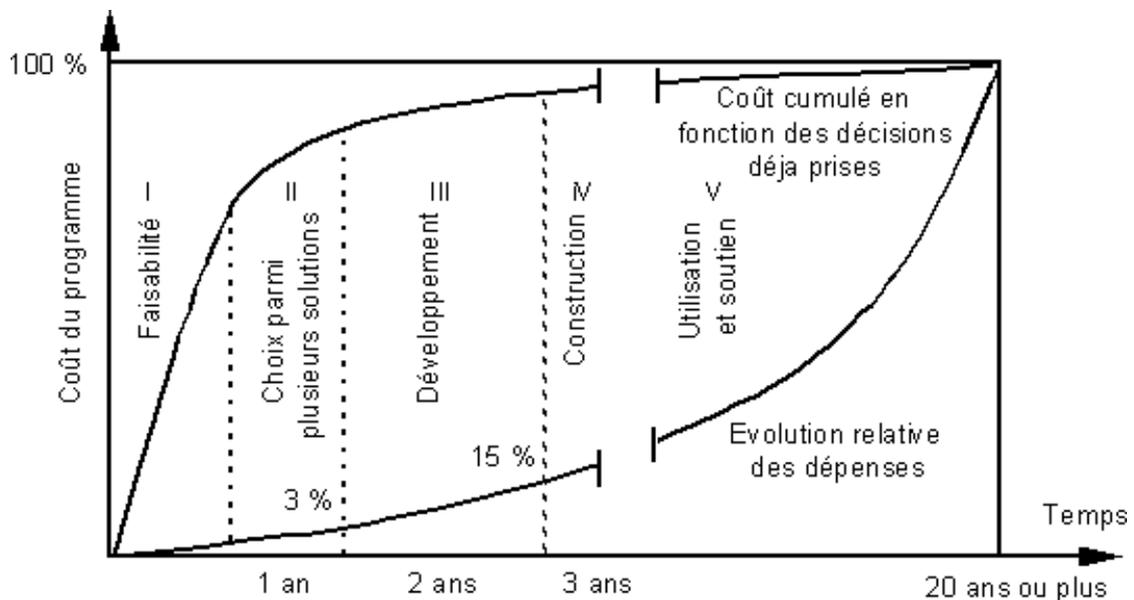


Figure 3.5 – Allure des dépenses pendant la durée de vie d'un produit

La Figure 3.6 montre les possibilités de changements de la conception. Au début du cycle de vie, les possibilités de changement de conception sont très importantes, puisqu'il s'agit d'un travail sur papier ou virtuel, encore à ce stade, plusieurs essais sont faits pour améliorer la conception du prototype. Mais une fois que le choix définitif est arrêté, il sera très difficile ou très coûteux de remédier à une conception réalisée trop hâtivement. Si une erreur de conception a été commise, les coûts de possession vont s'avérer très importants. Dans ce cas, l'utilisateur devra dépenser beaucoup d'argent sur le poste des coûts récurrents, entraînant ainsi son insatisfaction et une non-valeur (Zwingelstein, 2006).

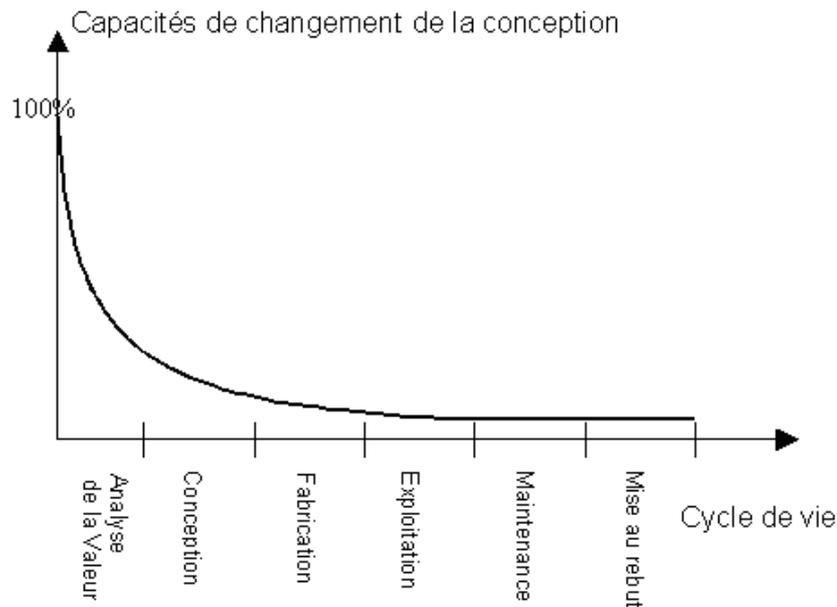


Figure 3.6 – Possibilité d'influencer la conception en fonction du cycle de vie

3.2. L'analyse de CCV

Nous avons montré précédemment, qu'une part significative du CCV revient aux conséquences des décisions faites durant les premières phases de l'avant-projet de conception (*conceptual design*). Donc, la phase de conception dans le cycle de vie est une phase majeure pour la maîtrise de la compétitivité, puisque c'est aux premiers stades du cycle de vie que les plus grands gains peuvent être réalisés en termes de CCV du système final. C'est pour cette raison que le CCV, est utilisé comme une approche d'analyse pour évaluer les conséquences des décisions de conception et de management, dans le but d'identifier les vrais risques associés à ces décisions. D'ailleurs, il est préconisé par la commission électrotechnique internationale, d'intégrer, dans la mesure du possible, l'analyse du CCV dans le processus de conception pour optimiser les coûts et les caractéristiques du produit (CEI, 2004).

L'analyse du CCV peut être définie comme étant un processus analytique et systématique d'évaluation des diverses lignes de conduite alternatives, avec l'objectif de choisir la meilleure manière d'utiliser les ressources rares. L'analyse constitue une approche pas-à-pas utilisant le CCV comme critère pour arriver à une solution rentable (Halog, 2002).

3.2.1. Domaines d'application de l'analyse du CCV

L'évaluation du coût du cycle de vie est le processus d'analyse économique qui détermine le coût total de l'acquisition, de la propriété et du démantèlement d'un produit. L'analyse est itérative en nature et peut être appliquée à n'importe quelle phase du cycle de vie d'un système. Elle peut aussi être adoptée dans tout problème spécifique, où il y a des solutions de rechange et une seule décision est exigée dans le choix d'une approche préférée (Halog, 2002).

L'analyse du CCV fournit d'importants apports pour la prise de décision dans la conception, le développement, l'utilisation et le démantèlement du produit. L'analyse de coût cycle de vie d'un produit fournit une base pour une analyse de coût, d'une perspective large, puisqu'elle fournit une information importante pour la planification financière à long terme, chez le fabricant et chez l'utilisateur (Blischke and Murthy, 2003).

Chez le maître d'ouvrage (le client ou l'utilisateur), la décision d'achat n'est pas influencée uniquement par le coût d'acquisition, mais par le coût d'utilisation et de maintenance du bien considéré pendant sa durée de vie et aussi par le coût de son démantèlement (CEI, 2004). Le maître d'œuvre (le producteur) doit satisfaire le client, pour cela il doit concevoir des produits fiables qui répondent aux exigences à un prix compétitif, en optimisant le CCV. Idéalement, il convient que ce processus d'optimisation commence dès la conception du produit et se développe pour prendre en compte tous les coûts relatifs à sa durée de vie. Toutes les décisions prises concernant la conception et la fabrication d'un produit peuvent affecter sa rentabilité, sa sécurité, sa fiabilité, sa maintenabilité, les exigences du support de maintenance, etc. ; et en dernier lieu, déterminer son prix et les coûts de propriété et de démantèlement (CEI, 2004). Les fournisseurs de produits peuvent optimiser leurs conceptions par l'évaluation d'alternatives et en réalisant des études de compromis. Ils peuvent évaluer diverses stratégies de fonctionnement, de maintenance et de démantèlement pour optimiser le coût du cycle de vie. L'évaluation du coût du cycle de vie peut effectivement être appliquée pour déterminer les coûts associés à une activité spécifique, par exemple, les effets de différentes approches ou concepts de maintenance, pour couvrir une partie spécifique d'un produit, ou pour couvrir seulement une phase sélectionnée ou des phases du cycle de vie d'un produit (CEI, 2004).

D'après Blanchard (1999), l'analyse de CCV peut, aussi, être appliquée dans plusieurs situations, par exemple :

- évaluer des propositions alternatives de différents fournisseurs ;
- évaluer des configurations alternatives de conception ;
- évaluer des profils de production alternatifs ;
- comparer des politiques de support logistique et de maintenance ;
- justifier des décisions de remplacement d'équipements ou de composants ;
- identifier les inducteurs de coût ;
- planifier les budgets et l'allocation des ressources à long terme et
- diriger et contrôler les projets.

D'une manière générale, la méthode d'analyse de CCV peut être implémentée dans la conception d'un nouveau système ou dans l'amélioration (réingénierie) d'un système existant. Dans le second cas, il s'agit d'évaluer l'aptitude d'un système existant, avec l'objectif d'implémenter une approche d'amélioration continue tout en réduisant le CCV de ce système. Pour cela, il est nécessaire de définir les nouvelles exigences pour le système. Etant donné le nouvel ensemble d'exigences, il y a lieu d'évaluer la situation de départ (c'est-à-dire l'aptitude actuelle et ses coûts associés) et ensuite déterminer les étapes qui vont être nécessaires dans le but d'évoluer à partir de cette ligne de base initiale, vers les nouveaux buts établis. L'identification des inducteurs de coût et de leurs causes est une étape fondamentale avant de lancer les recommandations nécessaires pour améliorer l'exploitation ou la maintenance du système (Blanchard, 1999). Donc, l'approche du CCV est un processus itératif continu qui est à la fois, une approche d'évaluation (Life Cycle Costing) et d'analyse (Life Cycle Cost Analysis).

3.2.2. Processus d'analyse de CCV

Nous avons signalé dans le paragraphe précédent, qu'il y a une large variété de domaines où les méthodes d'analyse de CCV peuvent être appliquées efficacement. Dans chaque situation, il y a un processus à suivre qui est relativement commun. L'organigramme de la Figure 3.7, illustre le processus d'analyse de CCV et donne les étapes à suivre pour développer un modèle de CCV d'un système. Les étapes de base du processus d'analyse du CCV sont les suivantes :

Définir le problème : Il peut s'agir d'évaluer des technologies de conception alternatives, des politiques alternatives d'opérations ou de maintenance, des approches alternatives de fabrication, des méthodes alternatives de distribution et de transport et ainsi de suite.

Identifier des solutions de rechange critiques et faisables : identifier les solutions de rechange faisables et projeter chaque alternative choisie dans le contexte du cycle de vie entier. Bien que les détails puissent changer, une ligne de base doit être établie dès le départ.

Développer la structure de répartition des coûts (Cost Breakdown Structure, CBS) : développer une structure pour l'allocation ou la collection des coûts, tels qu'ils sont reliés aux activités, pour chaque alternative étant évaluée. La CBS doit considérer tous les futurs coûts, elle doit couvrir tous les éléments des activités de cycle de vie et doit tenir compte de la présentation des coûts sur une base fonctionnelle.

Choisir un modèle de coût pour l'analyse au sein de CBS : il y a différentes catégories de coût, de relations entre paramètres d'entrée et de sortie, de relations d'estimation de coût (CER) et ainsi de suite. À cet effet, l'analyste doit identifier les techniques ou les méthodes analytiques appropriées et un modèle qui peut être utilisé pour faciliter le processus d'analyse.

Développer des estimations de coûts : des estimations de coûts sont développées en utilisant des méthodes appropriées. Les CER, développés à partir des données des expériences passées, sont employés pour faciliter le processus d'estimation.

Développer des profils de coût : projeter les coûts dans le futur pour chaque configuration alternative étant évaluée.

Accomplir des analyses de rentabilité : L'analyse doit développer un calcul des seuils de rentabilité. La décision finale ne sera pas seulement basée sur les profils de coût et les coûts associés, mais aussi sur les seuils de rentabilité. Naturellement, l'analyse doit considérer d'autres facteurs tels que l'obsolescence, la concurrence, etc.

Identifier les inducteurs de coût : identifier les secteurs à risque potentiel et si possible des améliorations peuvent être présentées avec l'objectif de réduire le CCV.

Accomplir une analyse de sensibilité : identifier et étudier les éléments d'informations spécifiques qui peuvent de manière significative affecter les résultats d'analyse (prendre en considération la source, la validité et la fiabilité des données).

Accomplir une analyse de risque : identifier et éliminer les secteurs à risque potentiel en réexaminant de nouveau certains facteurs critiques d'entrée.

Néanmoins, le présent processus d'analyse peut être modifié pour convenir au cas étudié, nous distinguons, en particulier, le cas d'un nouveau système et le cas d'un système existant.

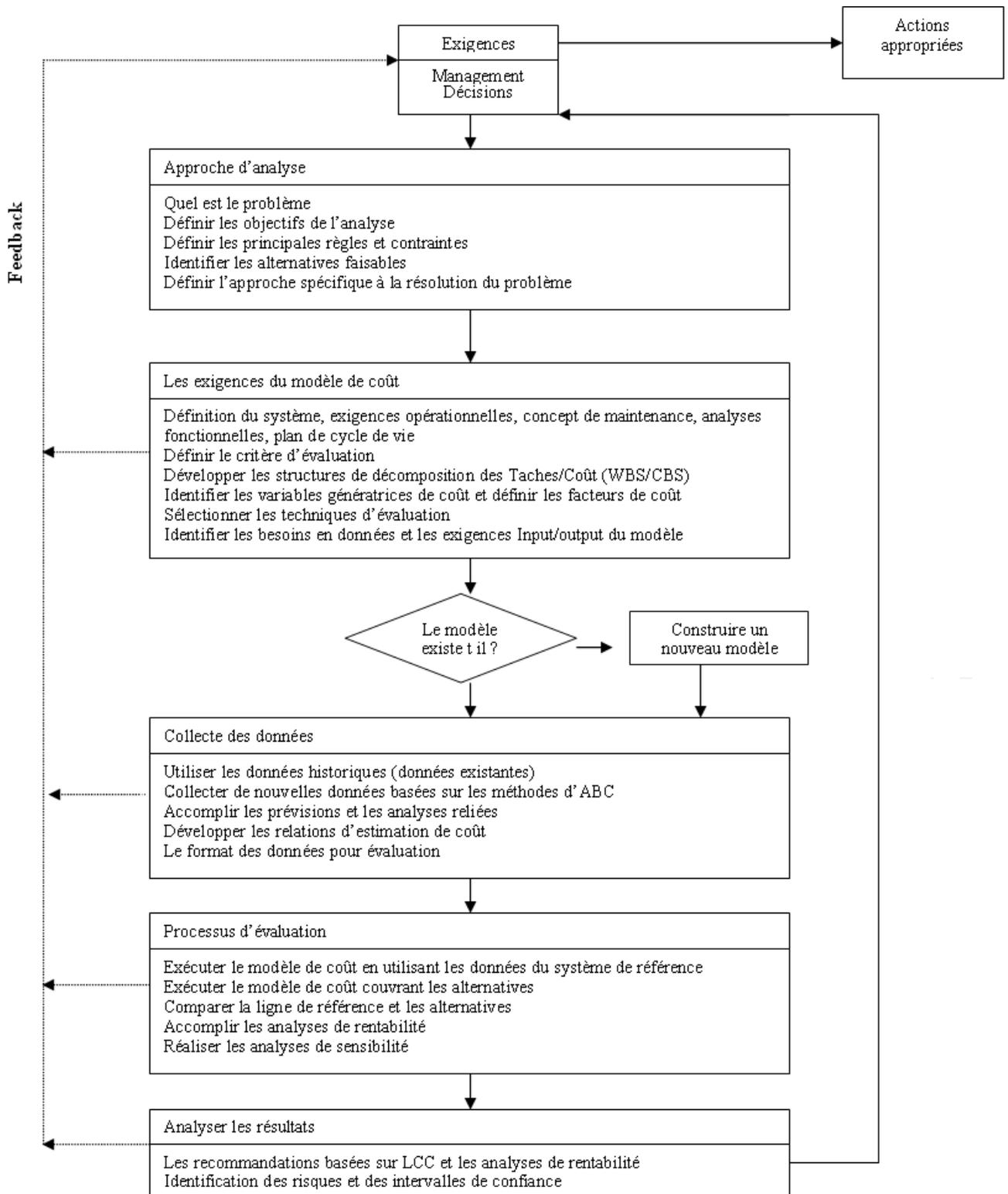


Figure 3.7 – Le processus d'analyses du CCV (Blanchard, 2004)

3.2.2.1. Conception d'un nouveau système

Dans le développement d'un nouveau système, le processus illustré dans la Figure 3.8 peut être appliqué.

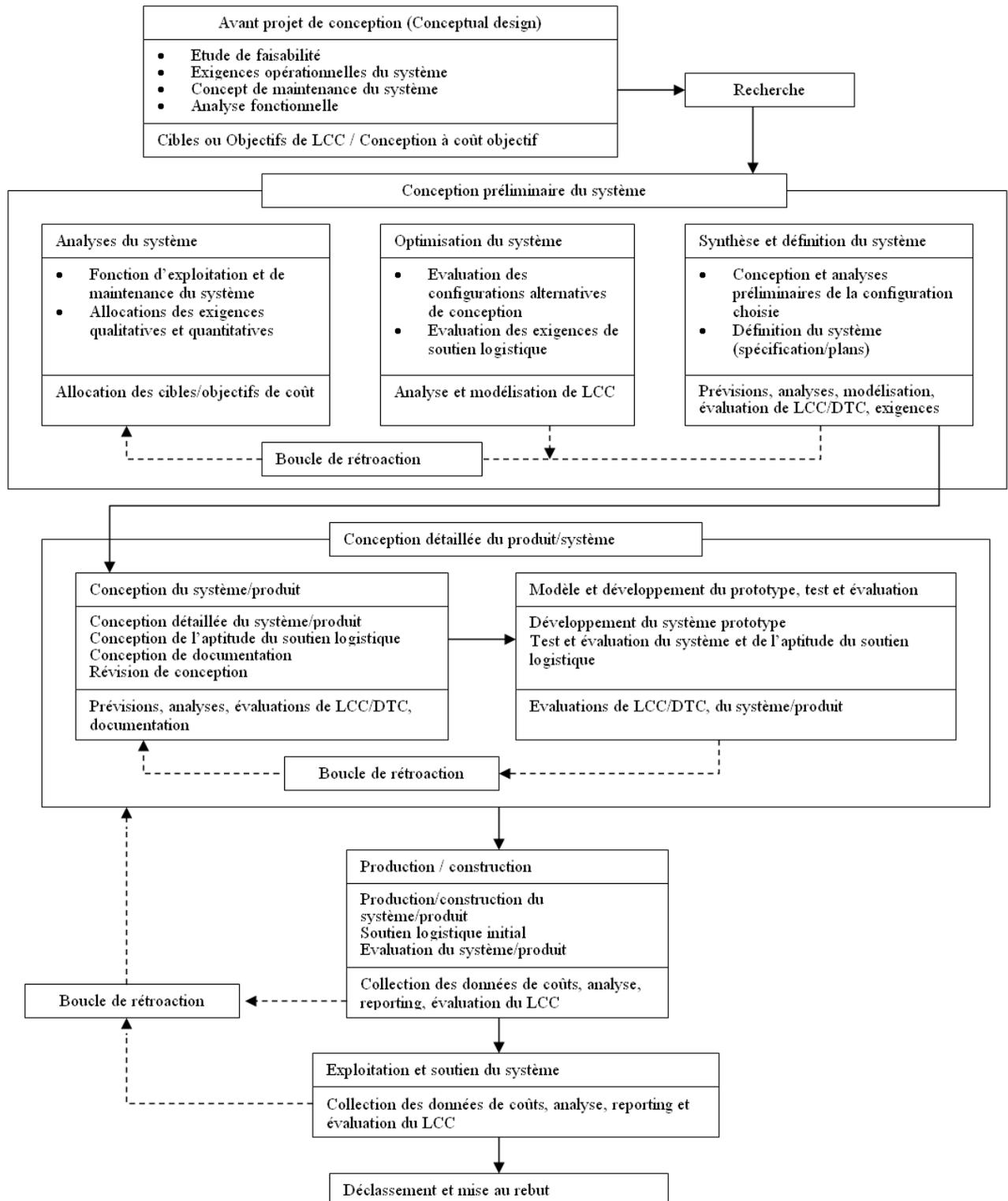


Figure 3.8 – Les étapes majeures dans la conception et le développement d'un système (Blanchard, 2004)

Dans l'avant-projet de conception, le coût doit être considéré comme un paramètre de conception. Ainsi, des buts de cycle de vie ou de *design-to-cost* sont établis avec d'autres mesures techniques de performance. Les analyses de cycle de vie peuvent être accomplies dans tout le processus de conception, initialement pour des buts de prévision et plus tard pour des buts d'évaluation. Le suivi (*Tracking*) des coûts ne doit pas contenir seulement les coûts d'acquisition initiaux associés avec la plupart des projets de conception et de développement, mais aussi tous les coûts projetés associés avec les activités en aval, comme l'exploitation et la maintenance (Blanchard, 1999).

3.2.2.2. Amélioration continu d'un système existant

Dans ce cas, il s'agit d'évaluer la capacité (*capability*) d'un système existant avec l'objectif d'implanter une approche d'amélioration continue de l'efficacité, tout en réduisant le coût de cycle de ce système. Pour cela, il est nécessaire de définir les nouvelles exigences du système en répondant aux deux questions suivantes :

- Quel est le besoin de mettre à niveau ou d'améliorer la capacité existante ?
- Quels sont les nouveaux "*benchmarks*" établis pour l'exploitation et le soutien du système ?

Etant donné le nouvel ensemble d'exigences, il y a lieu d'évaluer la situation existante au départ (l'aptitude actuelle et les coûts qui lui sont associés) et de déterminer, ensuite, les étapes nécessaires qui vont permettre d'évoluer, à partir de cette ligne de base initiale, vers les nouveaux buts établis. En supposant qu'un but de "réduction du CCV" a été spécifié, l'identification des inducteurs de coût et de leurs causes est une étape indispensable avant de lancer les recommandations nécessaires, pour améliorer le système et son exploitation. En conséquence, l'approche de CCV est un processus d'amélioration continue, dont les différentes étapes proposées par Blanchard (1999) sont présentées ci-dessous :

Etape 1 : décrire la configuration du système qui sera évalué en termes fonctionnels et identifier les indicateurs techniques de performance appropriés ou les métriques applicables pour le système ;

Etape 2 : décrire le cycle de vie du système et identifier les activités majeures dans chaque phase (conception et développement, construction ou production, utilisation, maintenance et support, mise en rebut et déclassement).

Etape 3 : développer une structure de décomposition des tâches (*work breakdown structure, WBS*), une structure de décomposition des coûts (*cost breakdown, CBS*) couvrant toutes les activités et les lots de tâches (*work packages*) pour tout le cycle de vie.

Etape 4 : estimer les coûts appropriés pour chaque catégorie de WBS (ou CBS) en utilisant les méthodes appropriées (par exemple, la méthode de calcul des coûts basée sur l'activité ou une autre méthode équivalente).

Etape 5 : développer un modèle informatique pour faciliter le processus d'analyse de CCV.

Etape 6 : développer un profil de coût pour la configuration de base du système qui sera évalué.

Etape 7 : développer un sommaire de coût et identifier les inducteurs de coût.

Etape 8 : déterminer les relations de cause à effet et identifier les causes des inducteurs de coût.

Etape 9 : conduire une analyse de sensibilité pour déterminer les effets des facteurs d'inputs sur les résultats d'analyse et identifier les secteurs à risque élevé.

Etape 10 : construire un diagramme de Pareto et ranger les secteurs à coût élevé, selon leurs importances relatives et qui requièrent une attention immédiate du management.

Etape 11 : identifier les alternatives faisables (secteurs potentiels d'amélioration), construire un profil de CCV pour chaque alternative et construire des analyses de point mort (*breakeven*) montrant le moment où l'alternative donnée est considérée comme étant "la plus préférable".

Etape 12 : recommander l'approche préférée et développer un plan pour la modification ou l'amélioration du système (cela peut nécessiter une modification de l'équipement, changement de l'installation ou changement dans certains processus, etc.).

Le processus d'amélioration continue basé sur le CCV fait appel à certains outils qui sont mentionnés dans les différentes étapes précédentes, à savoir : l'analyse fonctionnelle, la structure de décomposition des tâches, les méthodes d'estimation de coût, les profils de coût et l'analyse de sensibilité. Dans ce qui suit, nous donnons un aperçu général sur ces notions qui sont nécessaires pour effectuer une analyse de CCV d'un système.

3.2.2.3. Analyse fonctionnelle

Après avoir identifié le besoin pour le nouveau système ou la réingénierie d'un autre existant, il est essentiel de procéder avec une bonne compréhension des exigences du système, en répondant par exemple aux questions suivantes :

- quelles sont les fonctions que doit réaliser le système (missions à accomplir) ?
- quand est ce que le système est requis pour réaliser ces fonctions ?
- où est ce que cela sera accompli et pour combien de temps ?
- dans quel(s) environnement(s) le système, doit-il fonctionner ?
- quelles sont les exigences de disponibilité du système ?
- comment le système sera t-il soutenu ?
- quelles sont les exigences ou les limites budgétaires ?

Les réponses à ces questions peuvent être acquises à travers l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnelles pour le système opérationnel. La définition du concept de maintenance mène vers l'identification des indicateurs techniques de performance ou les métriques pour le système global ainsi que leurs ordres de priorité.

Le développement d'une description fonctionnelle du système (analyse fonctionnelle) peut être fait à l'aide du diagramme de blocs fonctionnels (*Functional Block Diagrams*). Dans ce diagramme, la configuration supérieure du système (ou architecture du système) est définie en premier, ensuite les fonctions individuelles sont successivement décomposées vers les niveaux les plus bas pour décrire de plus en plus de détails. A ce niveau, les fonctions similaires sont combinées et intégrées, menant vers le concept d'empaquetage et

d'identification des composants majeurs du système. Les mesures techniques de la performance spécifiée du système sont allouées ou réparties vers des sous systèmes et des niveaux plus bas, de manière convenable. La Figure 3.9, illustre un simple diagramme de bloc fonctionnel qui montre les fonctions majeures qui doivent être accomplies (Blanchard, 1999).

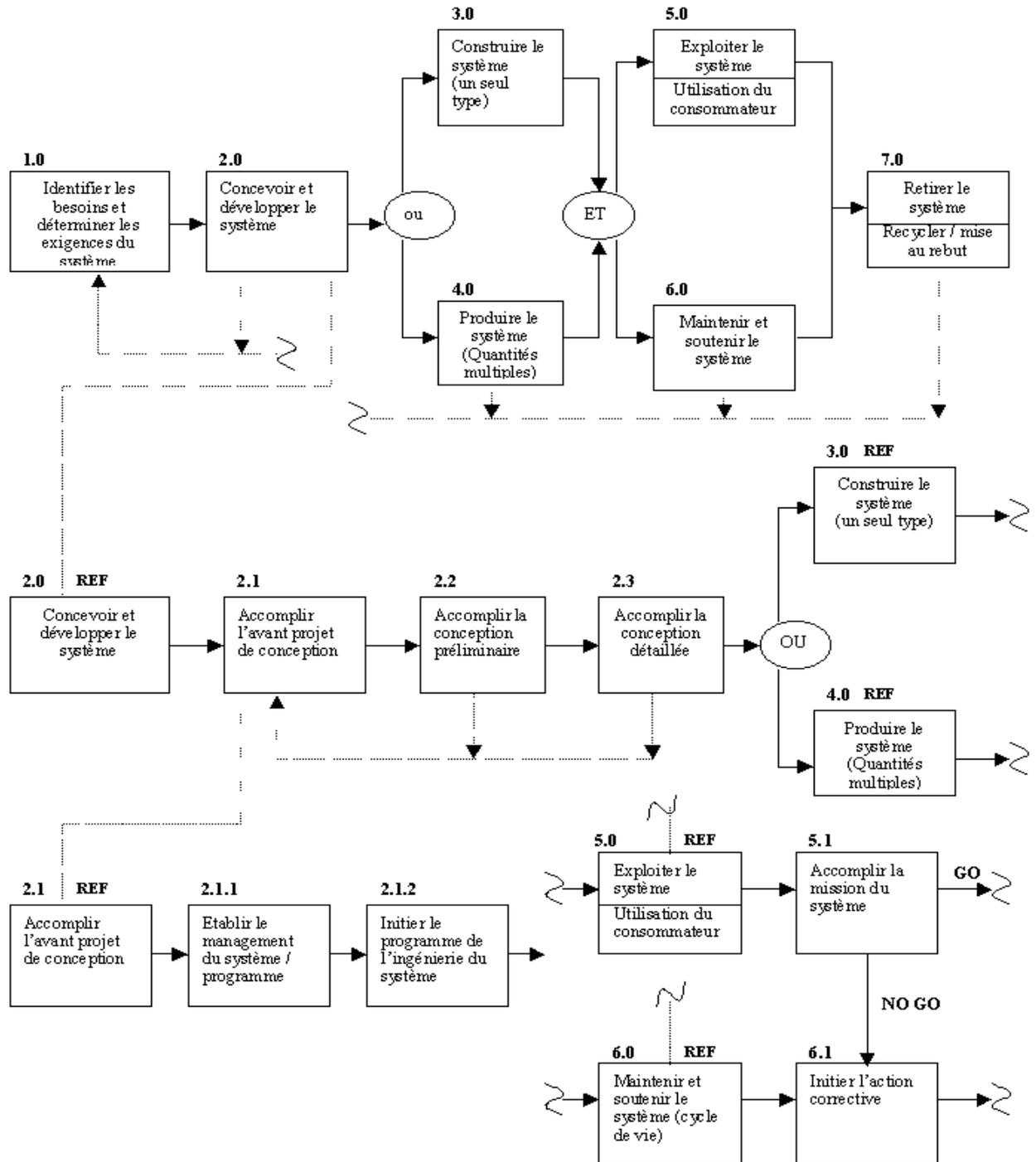


Figure 3.9 – Exemple de diagramme de bloc fonctionnel (Blanchard, 1999)

Les blocs de fonctions individuels peuvent être décomposés si nécessaire pour donner le niveau désiré de visibilité relative à l'élément, composant ou processus du système (voir l'exemple donné par la Figure 3.10). En plus, des situations de "Go / No Go" sont illustrées principalement pour montrer la translation des fonctions d'exploitation vers les fonctions de maintenance.

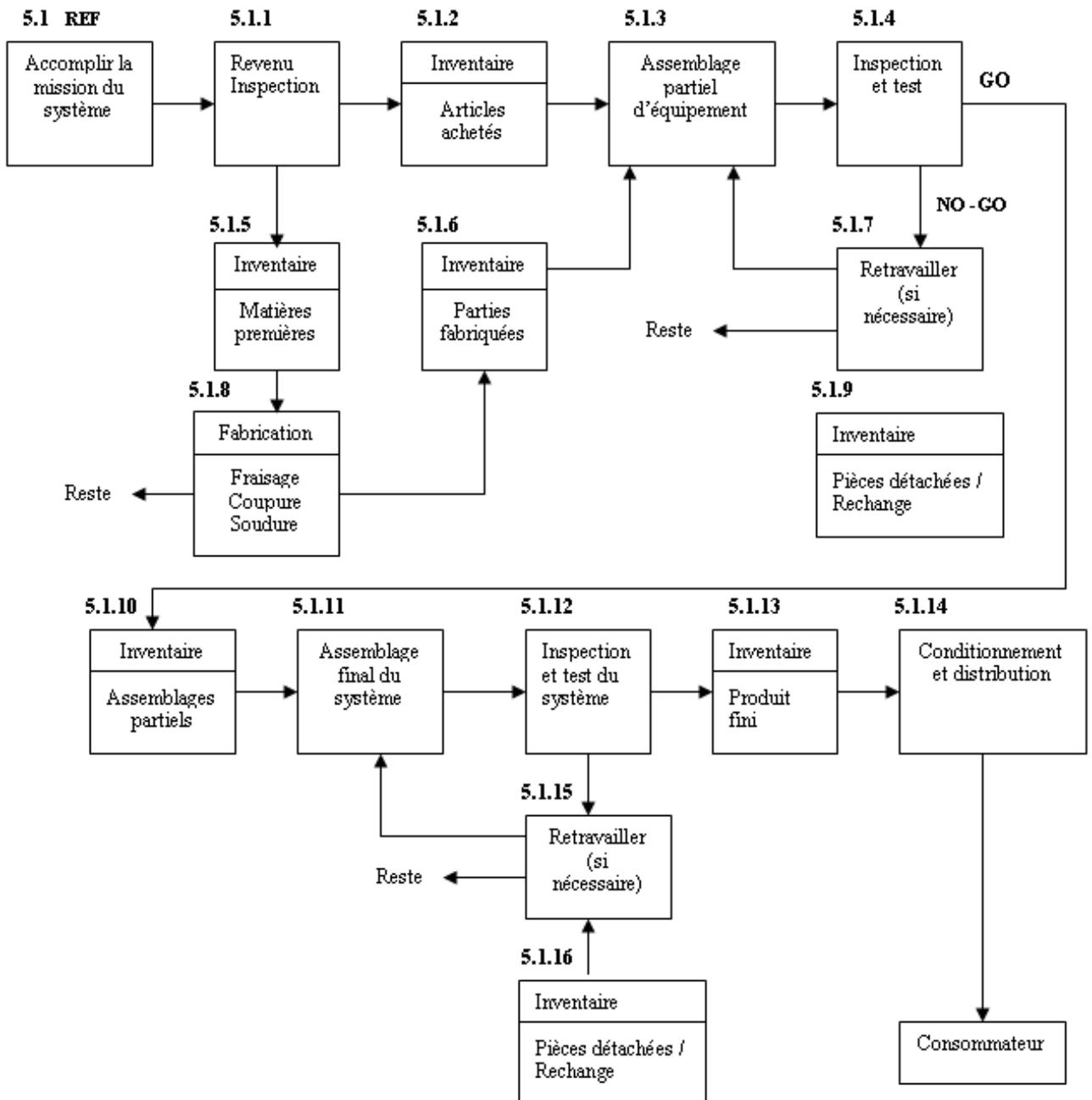


Figure 3.10 – diagramme de bloc fonctionnel pour le système de fabrication (Blanchard, 1999)

Chaque fonction individuelle peut ensuite être évaluée en termes d'inputs, outputs prévus, contraintes ou contrôle et ressources (mécanismes) qui sont exigées pour accomplir la fonction en question, comme le montre la Figure 3.11.

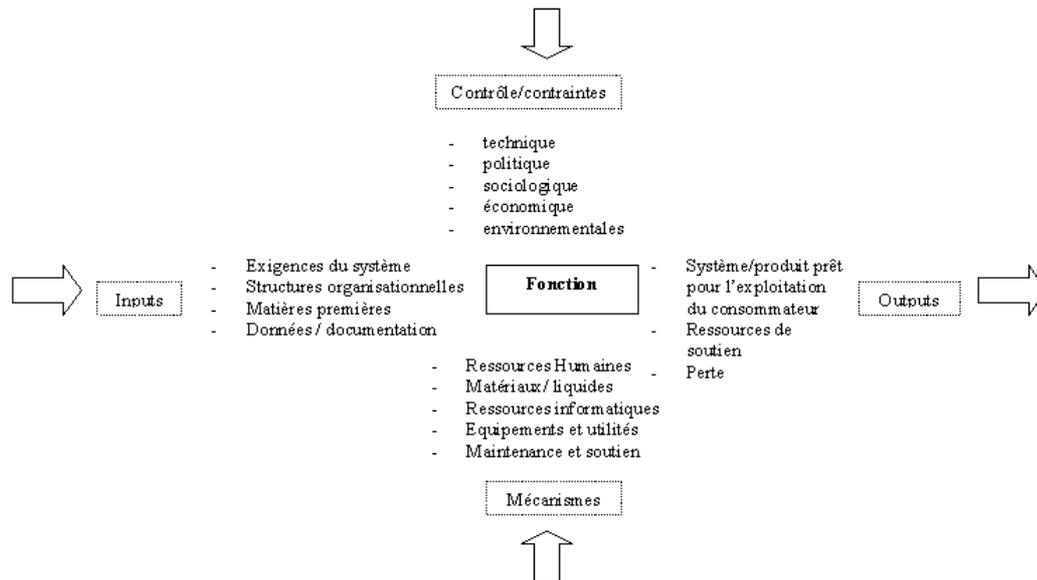


Figure 3.11 – Identification des exigences en ressources par fonction (Blanchard, 1999)

3.2.2.4. Structure de décomposition des tâches

La structure de décomposition des tâches (*Work Breakdown Structure*, WBS) représente une organisation des lots de tâches (*work packages*) préparés pour l'objet de la planification, budgétisation, élaboration des contrats et rédaction des rapports et comptes rendu du programme. Dans le développement de la WBS, il y a lieu de construire une structure sommaire de décomposition des tâches (*Summary Work Breakdown Structure*, SWBS) pour inclure toutes les activités du cycle de vie identifiées par l'analyse fonctionnelle. Cela peut couvrir les activités du fournisseur, du consommateur ou utilisateur, ou leurs combinaisons. Souvent, la SWBS comporte 03 niveaux. Le niveau supérieur représente le système, le deuxième identifie les différentes catégories d'activités telles que Recherche et Développement, Réingénierie, Production, etc. et le troisième contient des ensembles plus spécifiques d'activités telles que le management de l'ingénierie des systèmes, ingénierie de fiabilité, exploitation du système, modification du système, etc. La Figure 3.12 présente un exemple de SWBS.

Après la construction de la SWBS, il deviendra nécessaire de développer des structures de décomposition des tâches de contrat (*contract work breakdown structure*, CWBS), pour couvrir un élément spécifique du travail qui sera conduit par un prestataire de service. La Figure 3.13 illustre les relations entre SWBS et CWBS. Les éléments de travail identifiés, peuvent être décomposés en fonctions, travaux et tâches spécifiques impliquant la consommation des ressources. Lorsque l'exigence "design to cost" existe dans le développement d'un nouveau système, les coûts peuvent être alloués à partir du niveau système vers les niveaux les plus bas. La Figure 3.14 montre la relation entre la WBS traditionnel et la structure organisationnelle partielle du projet, où les coûts peuvent être alloués à un élément du système et ensuite transférer vers une ou plusieurs activités organisationnelles. En plus, pour chaque activité indiquée dans les CWB, les coûts peuvent être collectés d'une manière ascendante, pour être finalement accumulés au niveau de SWBS. Ce niveau représente une structure de décomposition des coûts (*Cost Breakdown Structure*, CBS) (Blanchard and Fabrycky, 1998).

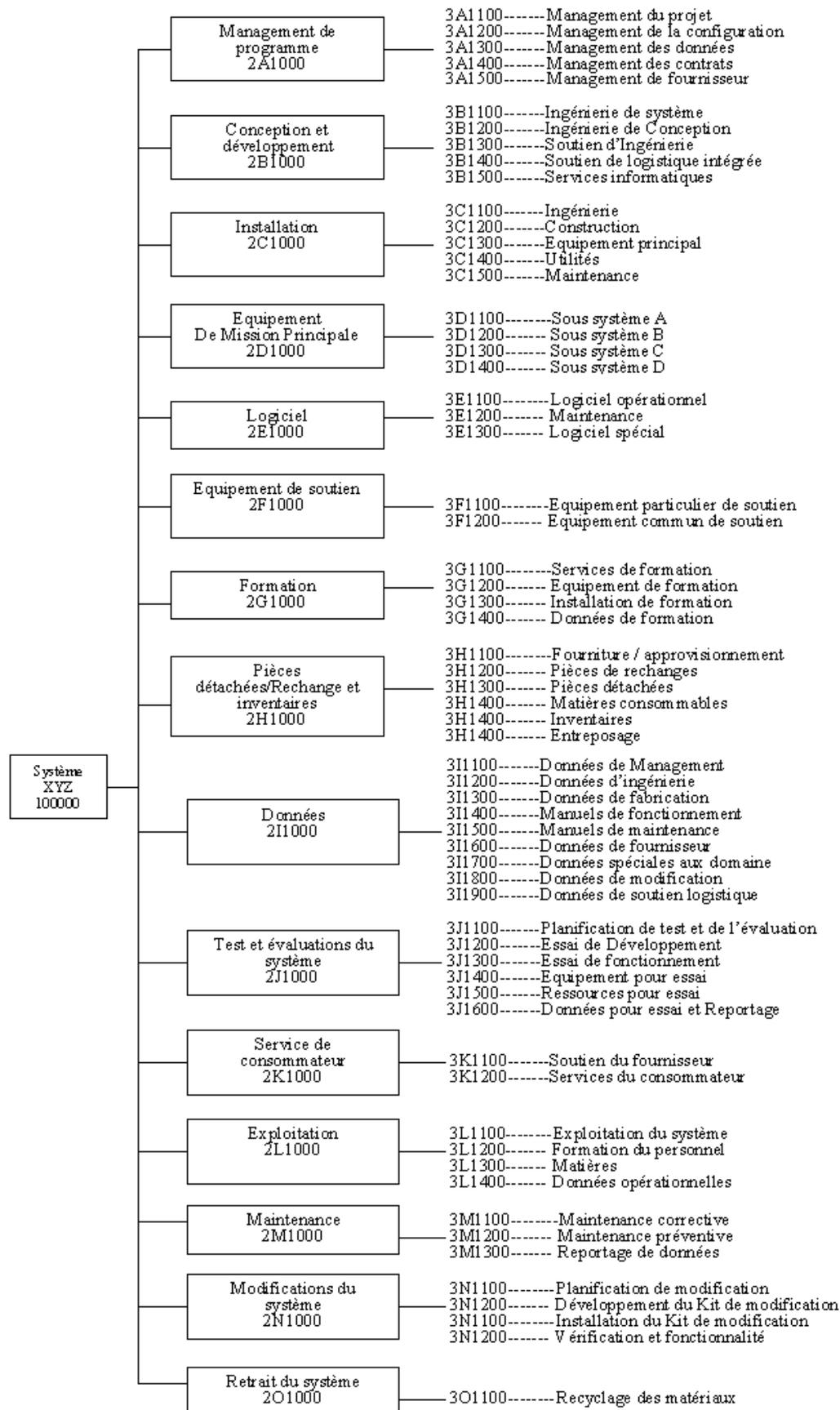


Figure 3.12 – Exemple de SWBS (Blanchard, 1999)

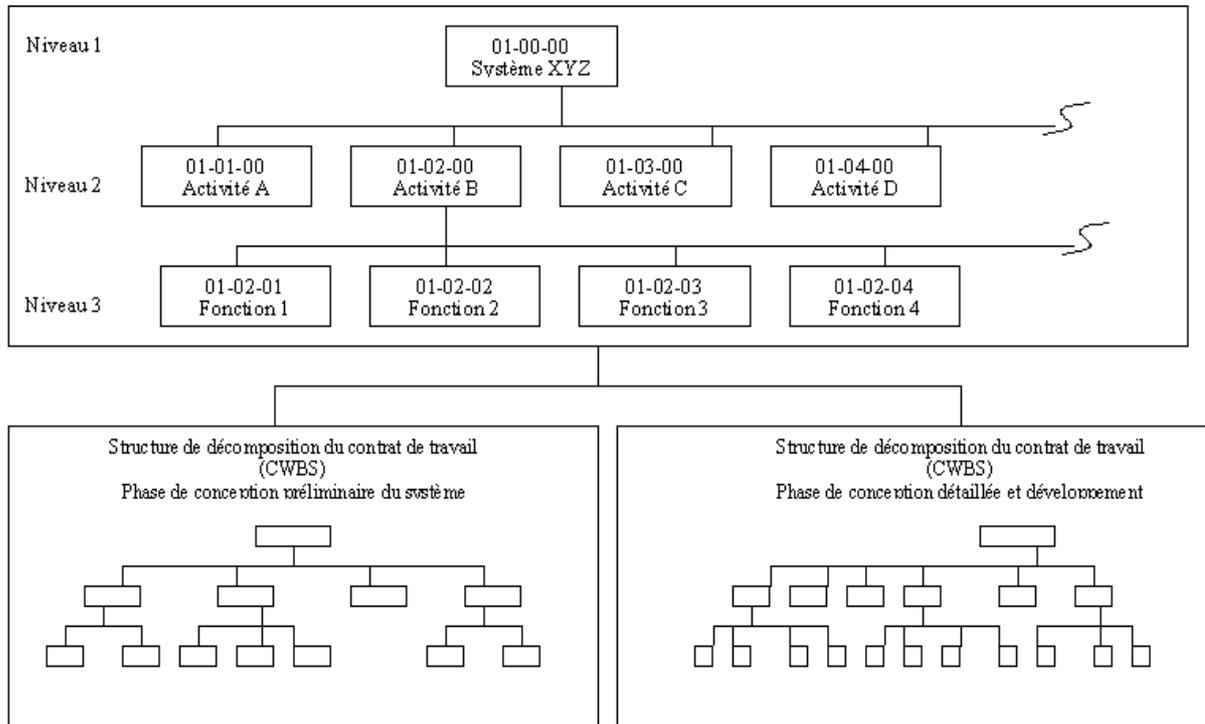


Figure 3.13 – Développement de SWBS (Blanchard, 1999)

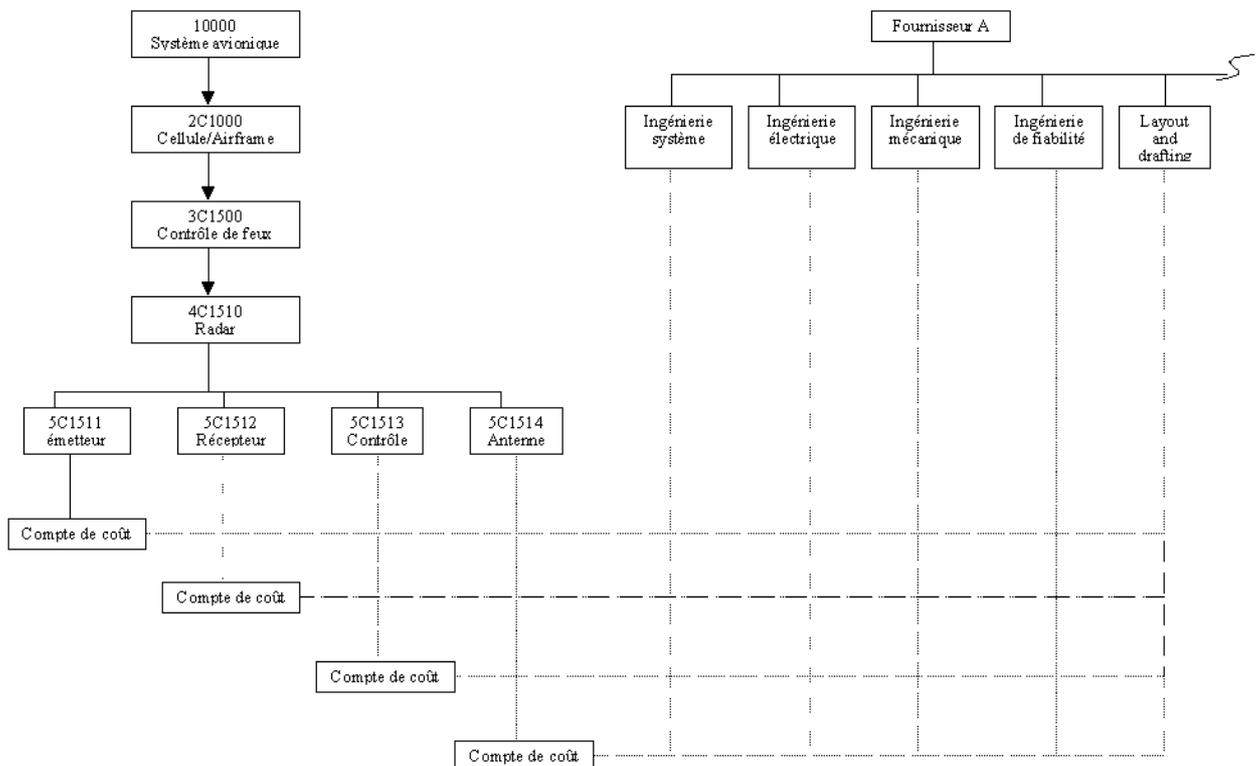


Figure 3.14 – Intégration organisationnelle avec la WBS (Blanchard, 1999)

Le développement de la SWBS, constitue une étape critique dans la vision globale du management de coût total. Les fonctions et les éléments du travail sont identifiés et décomposés vers des niveaux appropriés, dans le but de gagner une visibilité nécessaire pour un management approprié du coût. Des méthodes d'estimation de coût sont appliquées pour déterminer les coûts associés avec chaque lot de travail (*work package*). Le réseau de WBS sera comme un cadre pour permettre, initialement l'allocation des coûts et par la suite la collecte et l'accumulation des coûts.

3.2.2.5. Méthodes d'estimation de coût

L'estimation des coûts, par catégorie dans les WBS (ou CBS), pour chaque année du cycle de vie du système, fait appel à certaines méthodes d'estimation de coût. Ces méthodes d'estimation se répartissent en général comme suit (Glade, 2005) :

Méthode analogique : elle repose sur une comparaison entre les fonctions que doit remplir le système (définies dans le cahier des charges fonctionnel) et les fonctions de réalisations antérieures dont le coût est connu. Cette comparaison se matérialise par la détermination d'un coefficient d'analogie qui exprime le sentiment de l'estimateur quant à la ressemblance entre le nouveau projet et l'ancien. Le principal avantage de la méthode analogique est sa rapidité et son faible coût de mise en œuvre. Par contre, elle implique que des comparaisons entre le projet et les réalisations passées soient pertinentes, ce qui suppose que le projet ne soit pas fondamentalement différent des réalisations passées, dans sa conception technique et dans la conception des processus de production, de maintenance et de support logistique.

La méthode paramétrique : elle peut être utilisée dès que les spécifications techniques du projet à réaliser sont définies. Elle consiste à établir une corrélation statistique entre les caractéristiques physiques du système (par exemple le poids, le volume ou la puissance) et son coût estimé. Par rapport à la méthode analogique, la méthode paramétrique a pour avantage principal de présenter des estimations de coût plus précises, grâce notamment à un niveau de détail plus important et une approche plus rigoureuse sur le plan théorique. L'estimation du coût est obtenue par extrapolation de coûts connus d'un échantillon de réalisations passées. Une formule ou un modèle paramétrique sera par conséquent, d'autant plus fiable que les solutions techniques retenues sont proches de celles des travaux précédents.

La méthode analytique : elle utilise les données issues des systèmes d'information comptable de l'entreprise. Dans la pratique, ce moyen d'estimation est utilisé principalement durant la phase de production en série, car il nécessite des informations très détaillées sur le produit et sur les procédés de fabrication (nomenclature du produit, gammes opératoires, etc.) et qui ne sont pas toujours disponibles, lors de la conception.

Donc, lorsque la configuration du système n'est pas encore bien définie (dans les premiers stades du cycle de vie), l'analyse doit compter sur l'utilisation d'une combinaison de méthodes analytiques et paramétriques. Lorsque la configuration du système devient mieux définie, l'emploi des standards "*Direct Engineering and Manufacturing Standard Factors*" peut être utile (Blanchard, 1999). Cette relation entre les méthodes d'estimation de coût et les étapes du cycle de vie d'un système est illustrée par la Figure 3.15. Cependant, un soin particulier doit être exercé pour assurer que les informations historiques utilisées dans le développement des relations d'estimation de coût soient appropriées à la configuration du système en cours d'évaluation. D'après Blanchard (1999), les relations d'estimation de coût

basées sur la mission et les caractéristiques de performance d'un système ne peuvent pas être appropriées à la configuration d'un autre système, même si la configuration est similaire dans un sens physique. Ainsi les coûts doivent être reliés à partir d'une perspective fonctionnelle (Blanchard, 1999).

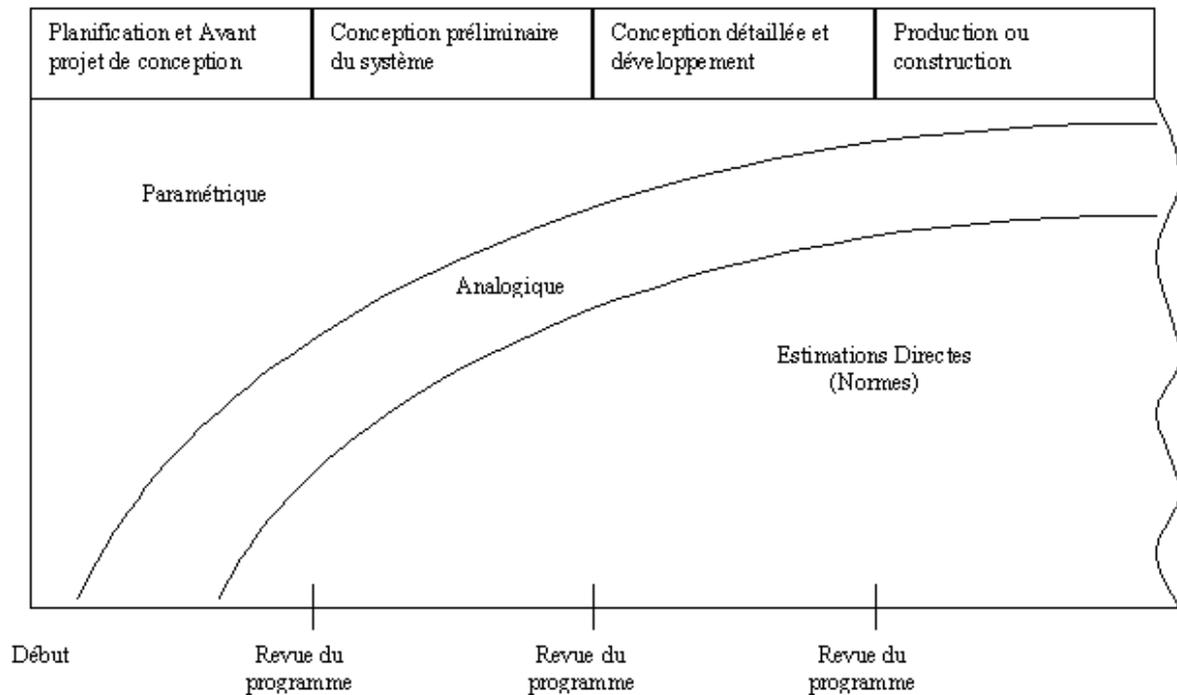


Figure 3.15 – Estimation des coûts par phase du programme (Blanchard, 1999)

3.2.2.6. Profils de coût

Une fois que les coûts sont déterminés pour chaque catégorie de WBS et pour chaque année dans le cycle de vie projeté du système, il y a lieu de prendre en considération certains facteurs économiques appropriés pour développer des profils de coût. Parmi ces facteurs, il est intéressant de citer l'actualisation, l'inflation, la parité des taux de change, les courbes d'apprentissage pour les processus où les activités répétitives et tout autre facteur qui peut causer une augmentation ou diminution du coût. Dans ces profils, tous les coûts récurrents et non récurrents, variables ou fixes, du producteur ou du consommateur et ainsi de suite, doivent être inclus. En conséquence, un profil budgétaire est développé et peut être utilisé pour l'identification des ressources futures ou pour comparer entre des profils alternatifs.

3.2.2.7. Analyse de sensibilité

L'analyste a besoin de conduire, dans une dernière étape de l'approche de CCV, une analyse de sensibilité dans le but d'évaluer correctement les risques associés à la solution choisie. Dans cette étape, il peut s'agir de tester la validité des données d'input (les facteurs utilisés et les hypothèses faites au début) et déterminer leur impact sur les résultats d'analyse. Cela peut être accompli par l'introduction des variations des inputs, sur une étendue désignée et déterminer ensuite l'impact de ces variations sur les résultats d'output. L'objectif est d'identifier les secteurs où une petite variation au stade d'input va causer une grande variation de coût à l'output. Cela, en retour, mène vers l'identification des zones à haut risque potentiel. A titre d'exemple, parmi les causes qui peuvent être responsables des coûts élevés de

l'exploitation et maintenance, nous pouvons trouver un composant du système qui est critique mais non fiable, une fonction qui consomme beaucoup de ressources pour être accomplie, des séries d'activités dans un processus donné, ou une combinaison de plusieurs causes, etc. L'objectif est d'identifier toutes ces causes et d'établir un ordre de priorité pour la résolution des problèmes qui nécessitent la plus grande attention de la part du management. Un diagramme de Pareto peut être utilisé pour aider à donner la priorité aux zones de problèmes où le plus grand potentiel de sauvegarde de coût peut être réalisé. Chaque problème, en retour, doit faire l'objet davantage d'investigation, menant vers un changement possible de la conception de l'équipement, la réingénierie du processus, etc.

3.3. Le coût global de la maintenance

Nous avons montré précédemment que l'utilisation de l'analyse du CCV, en tant qu'approche itérative pour l'identification des inducteurs de coût, la liaison de ces derniers avec leurs causes et le lancement des actions correctives appropriées, permet de réaliser plusieurs améliorations. Ces améliorations peuvent être traduites sous forme de diminution du coût global d'exploitation et de maintenance du système ; tout en sachant qu'un très grand pourcentage (plus de 75% dans certains cas) du coût total de cycle de vie d'un système donné est attribué aux activités d'exploitation et de maintenance (Blanchard, 1999).

Dans cette section, nous présentons les composantes essentielles du coût global de maintenance ainsi que les outils proposés en littérature pour le costing de maintenance.

3.3.1. La maintenance pour tout le cycle de vie d'un système

La nécessité de la maintenance d'un système, n'apparaît pas seulement lors de la phase d'exploitation, mais elle accompagne le système pendant toutes les étapes de son cycle de vie jusqu'à son retrait.

La prise en considération de la maintenance d'un système, dès l'avant projet de conception, rentre dans un cadre plus large, qui est le soutien au produit. L'étendu du soutien de produit s'est élargie pendant la dernière décennie, il inclut plusieurs aspects tels que l'installation, formation, maintenance, documentation, fourniture de pièce de rechange et logistique, modification et mise à jour, plans de garantie, support téléphonique, etc. Le soutien de produit, en termes de besoins de maintenance, peut être classé en soutien tangible et soutien intangible, aussi bien que planifié (préventif) et non planifié (correctif). Il est tangible si un échange physique (pièces de rechange, outils, documentation imprimée, manuels de formation, etc.) est impliqué et intangible si les services rendus impliquent seulement un soutien immatériel (avis d'expert, formation, support online, etc.). Le soutien planifié est souvent relié à la maintenance préventive, formation, installation, etc., tandis que le soutien non planifié est souvent connecté aux activités de maintenance correctives non planifiées où le produit tombe en panne de façon imprévisible (à l'exception des défaillances correctives planifiées des parties, composants ou sous systèmes non critiques). Le soutien non planifié peut être aussi, une assistance pour résoudre des problèmes reliés à la maintenance planifiée, mais où la documentation est inadéquate, les pièces de rechange ou les outils recommandés sont indisponibles, etc. Le soutien non planifié est souvent très inconfortable, très coûteux et consommateur de temps pour toutes les parties impliquées (Markeset and Kumar, 2003).

Le besoin à la maintenance émane, principalement, d'une déficience dans la vraie fiabilité conçue. Ainsi, la maintenance peut être considérée comme un processus qui compense les déficiences de la conception, en termes de manque de fiabilité du système conçu. Donc, pour assurer la performance désirée d'un système à un coût raisonnable, il est nécessaire de développer les concepts de maintenance à partir de la phase de conception. Chaque fois qu'un système devient de plus en plus complexe, intégrant des sous systèmes mécaniques, électrique, informatiques et électroniques avancés et des solutions techniques, il devient de plus en plus difficile de prévoir tous les modes de défaillance. En plus, l'augmentation du nombre de composants augmente aussi les possibilités de défaillance. Aussi, le rajout d'une nouvelle option, le changement d'une norme ou la personnalisation d'un produit pour répondre à la demande du client, peut aussi introduire des possibilités nouvelles et variées de défaillance du produit. Mais, c'est à travers des tests exhaustifs de prototypes avant la réalisation et l'utilisation du système, que plusieurs défaillances peuvent être éliminées.

En général il y a deux choix pour la considération de la maintenance durant la phase de conception : l'élimination du besoin à la maintenance ou l'optimisation de la conception en respectant les sujets de maintenance (Markeset and Kumar, 2003).

Dans la première option, il y a lieu d'abord d'identifier les caractéristiques de maintenance ensuite essayer d'éliminer ces caractéristiques qui peuvent causer des coûts de maintenance. Cependant, dans cette option, il est nécessaire de considérer le coût de fiabilité tout le long du cycle de vie du produit, le coût et l'état de l'art de la technologie, le remboursement du coût de développement, etc. L'utilisation des outils de fiabilité, disponibilité, maintenabilité et supportabilité (par exemple, les Tableaux AMDEC, l'analyse de l'arbre de défaillance, l'analyse de l'arbre d'événement et l'analyse de risque) est d'une grande utilité pour arriver à la meilleure alternative en termes de CCV (Markeset and Kumar, 2003).

La conception pour la maintenance est conduite d'une autre manière, puisque dans cette option, il y a lieu d'abord, d'examiner les caractéristiques de fiabilité et ensuite décider les caractéristiques de maintenabilité. La fiabilité et la maintenabilité sont équilibrées pour répondre aux besoins de conception. L'analyse de CCV peut être utilisée pour comparer les alternatives de conception (Markeset and Kumar, 2003).

Si le mécanisme de défaillance ou de dégradation est connu, il est possible de concevoir une stratégie de maintenance et de soutien pour réduire le risque et rendre le produit plus facile à maintenir et à soutenir. La présence des mécanismes d'usure causant la maintenance ne veut pas dire que le système est non fiable. Cependant, il pourra devenir non fiable si les mécanismes de compensations sont non fiables ou défaillants. Si la fiabilité est assez faible, des sujets comme la maintenabilité, la serviceabilité, l'interchangeabilité, l'utilisation de la conception modulaire, doivent être considérés. La garantie et la durée de vie sont aussi des sujets à évaluer. L'objectif de telles analyses est de réduire le temps et le coût de maintenance du produit.

Il existe aussi d'autres voies pour réduire les besoins en maintenance (par exemple, la réduction de la capacité, la substitution ou l'élimination des faibles fonctions ou le remplacement des composants faibles par d'autres qui sont plus robustes). Lorsqu'il est permis au système ou au composant de tomber en panne à cause de différentes restrictions, alors il est indispensable d'avoir un stock de pièces, suffisant pour réaliser un remplacement ou une réparation facile et rapide.

Les analyses de CCV, en combinaison avec les méthodes d'analyse de risque, peuvent être un outil viable pour évaluer tous ces sujets. Cependant, les procédures de maintenance doivent être correctes, précises, très facile à suivre et les méthodes techniques ont besoin d'être sécurisées suffisamment (Markeset and Kumar, 2003).

L'environnement de fonctionnement doit être sérieusement considéré lors du dimensionnement des stratégies de soutien de produit et les performances de la prestation de service. Le plus souvent, les programmes de maintenance, recommandés par le constructeur pour les systèmes et les composants, sont basés sur l'âge sans aucune considération de l'environnement de fonctionnement. Cela en retour mène à plusieurs défaillances imprévues des systèmes et des composants. Cette situation crée une faible performance du système et un CCV élevé.

Les conditions environnementales dans lesquelles l'équipement fonctionnera, comme la température, l'humidité, la poussière, les installations de maintenance, la formation du personnel de maintenance et d'opération, etc., ont une influence considérable sur les caractéristiques de fiabilité du produit et en conséquence sur le besoin de maintenance (Markeset and Kumar, 2003).

3.3.2. Importance du costing de maintenance

Nous avons montré dans le paragraphe précédent, que les activités de conception et de développement d'un bien ont un impact important sur tout le reste de son cycle de vie et en conséquence sur tous les coûts futurs, plus particulièrement, le coût de maintenance. Aussi, il est important d'estimer le coût de maintenance tout le long du cycle de vie d'un système pour pouvoir optimiser son CCV.

Dhillon (2002) donne davantage de raisons du costing de maintenance, à savoir :

- déterminer les inducteurs de coûts de maintenance ;
- préparer les budgets ;
- fournir des inputs dans la conception de nouveaux équipements, biens ou systèmes ;
- fournir des inputs pour les études de CCV d'un équipement ;
- contrôler les coûts ;
- faire des décisions concernant le remplacement des équipements ;
- comparer l'efficacité du coût de maintenance avec l'industrie avoisinante ;
- développer des politiques de maintenance préventives optimales ;
- comparer les approches rivales de maintenance ;
- fournir un feedback pour le niveau élevé de management et
- améliorer la productivité.

Sur le plan quantitatif, d'après Dhillon (2002), le coût de maintenance d'un équipement varie, souvent, entre 2 et 20 fois le prix de son acquisition. Afin de mieux percevoir l'importance du coût de maintenance dans le CCV, nous présentons différents exemples concernant la répartition des différents coûts qui constituent le CCV (voir Figures 3.16 de (a) à (d)). Ces graphiques montrent que, quel que soit le secteur d'activité, les coûts de maintenance représentent une part majeure du CCV d'un système. Donc, l'évaluation du coût global de maintenance (costing de maintenance) est une étape importante dans l'évaluation du CCV d'un système.

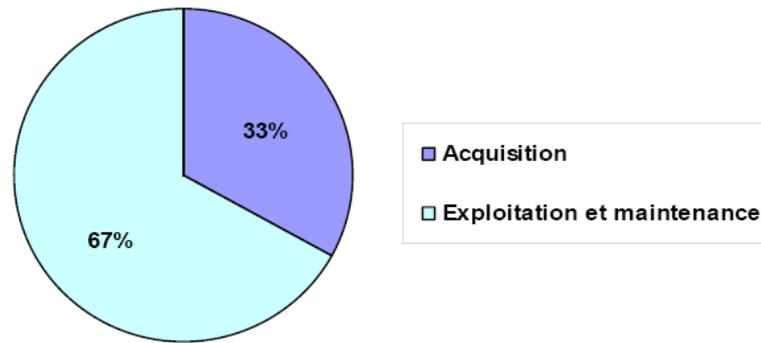


Figure 3.16 (a) – Turbine à aubes pour Rolls-Royce PLC (USA) (Glade, 2005)

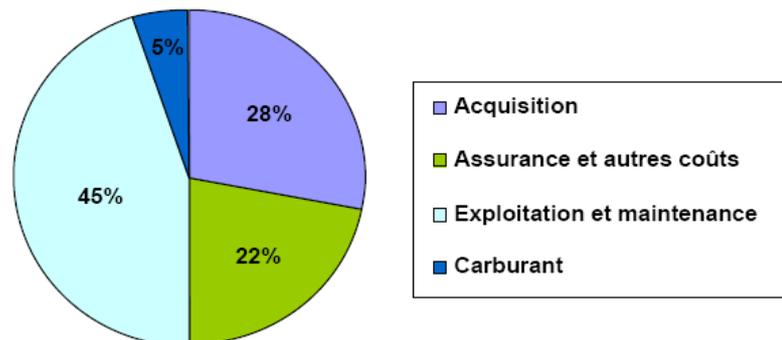


Figure 3.16 (b) – Hélicoptère (Glade, 2005)

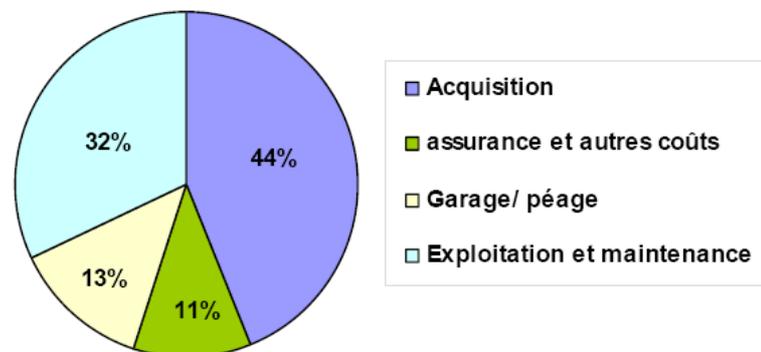


Figure 3.16 (c) – Industrie automobile : voiture (Glade, 2005)

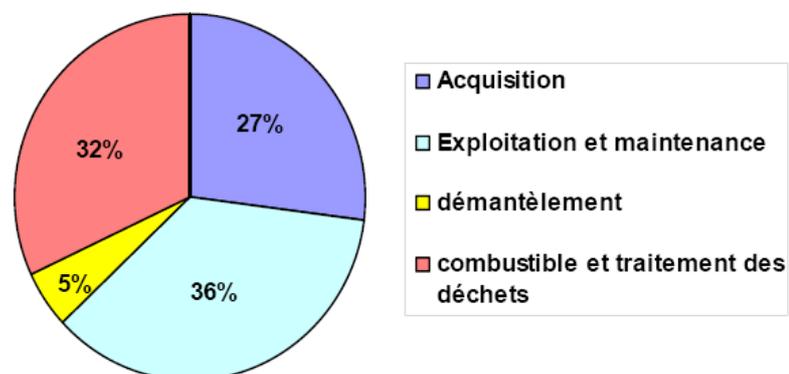


Figure 3.16 (d) – Centrale nucléaire (Glade, 2005)

3.3.3. Classification des coûts de maintenance

Les dépenses nécessaires, pour maintenir en état de bon fonctionnement un système de production, peuvent être représentées par le schéma suivant (Figure 3.17).

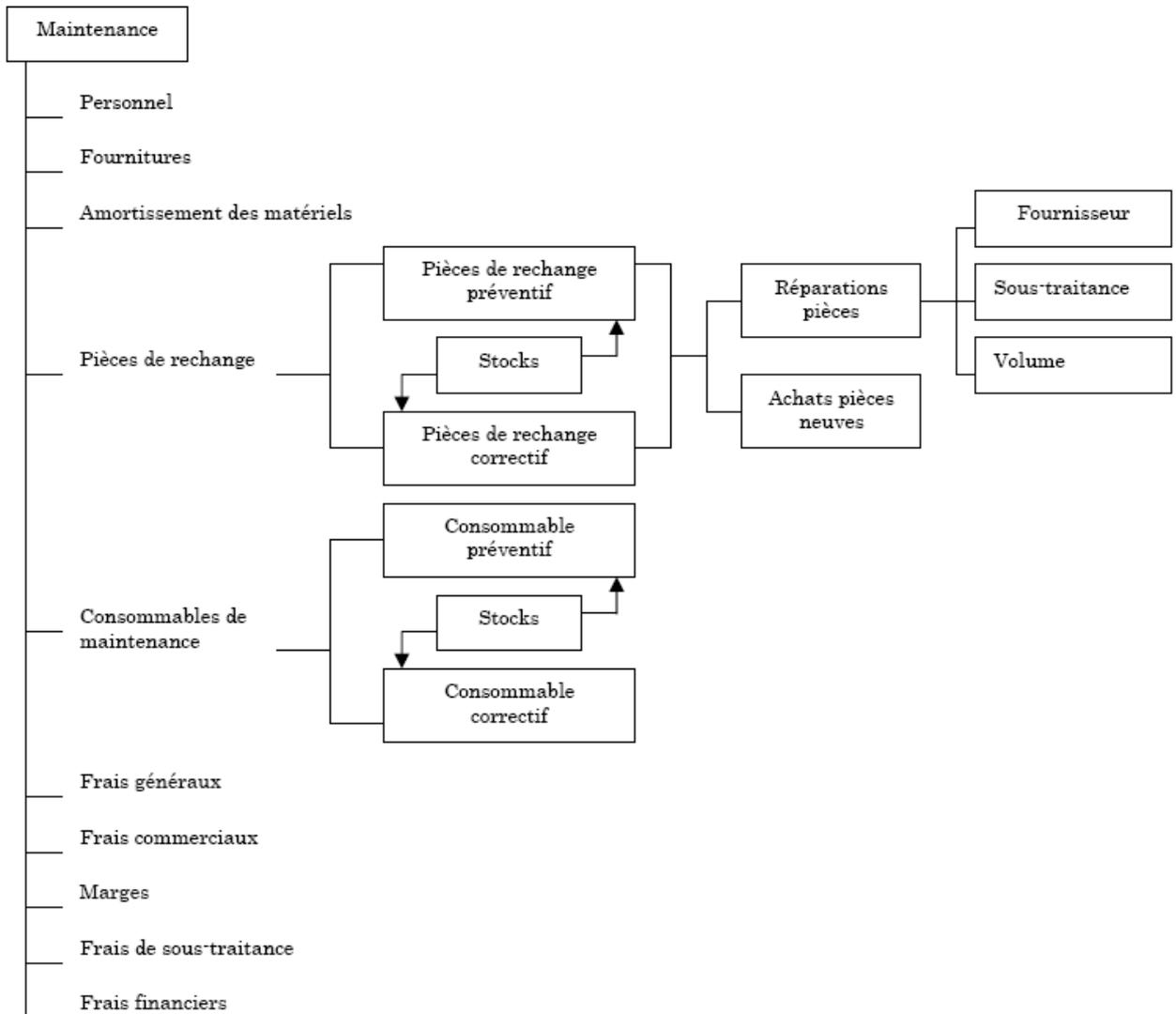


Figure 3.17 – Décomposition du coût de maintenance (Glade, 2005)

D’après Glade (2005), les coûts impliqués dans une politique de maintenance peuvent être dissociés en coûts compressibles et incompressibles. Dans la première catégorie interviennent le prix des éléments de rechange et la main d’œuvre, quelle que soit la maintenance envisagée. Aucun gain n’est alors possible. En ce qui concerne la deuxième catégorie, une seule variable est à prendre en compte : le coût de l’indisponibilité liée à l’action de maintenance à effectuer. Ce dernier correspond à une perte sèche d’exploitation.

Le coût de maintenance peut aussi être décomposé en coût direct et coût indirect (Glade, 2005). Cependant, nous allons donner dans le prochain chapitre des définitions complètement différentes de celles adoptées par la logique de la comptabilité analytique pour les termes de « coût direct » et « coût indirect » de maintenance. Ainsi, en comptabilité analytique le coût

indirect de la maintenance est un coût faiblement compressible. Il est lié presque exclusivement à des charges administratives ou législatives. Ne dépendant pas directement de l'aspect technique, la marge de manœuvre associée pour son optimisation est très mince. Le coût indirect de la maintenance, comprend :

- le coût du personnel non imputable, avec certitude, à une tâche de maintenance ;
- l'instruction du personnel ;
- les dépenses d'entretien, de réparation des outillages, spécifiques ou non ;
- les dépenses liées à l'évolution et à la mise à jour de la documentation technique ;
- les dépenses d'infrastructures, d'entretien des installations, des véhicules ;
- les dépenses administratives liées au recours en garantie ; etc.

Le coût direct de maintenance représente l'ensemble des coûts directs permettant la maintenance d'un matériel. Il comprend donc les pièces de rechange, les consommables, la main d'œuvre de réparation ou de remplacement, l'amortissement des outillages mais ne comprend pas les coûts logistiques associés à l'entretien des machines, ou encore les coûts de démontage d'un élément en panne. Le coût direct de maintenance peut se décomposer de la manière suivante (Glade, 2005) :

- les dépenses de main d'œuvre technique d'exécution, imputables avec certitude :
 - o à des tâches de maintenance programmées ou non programmées ;
 - o à l'application des modifications impératives pour des raisons de sécurité ;
 - o aux frais de l'assistance technique du constructeur, du motoriste et des équipementiers pour les travaux de maintenance et de réparation ;
- les dépenses en pièces de rechange et en éléments consommables, réparables et révisables, effectivement utilisés pour l'entretien, les révisions et les réparations de la structure, des systèmes, des équipements et des moteurs.

Souvent, le coût de maintenance est simplement décrit comme étant les dépenses de travail et de matériaux, nécessaires pour maintenir l'équipement ou le bien, dans un état de bon fonctionnement. Le coût de maintenance inclut, aussi, tous les coûts de perte d'opportunité en termes de temps de fonctionnement, rythme, rendement et qualité dus à la défaillance des équipements et aussi les coûts impliqués par les équipements et reliés à la dégradation de la sécurité des personnes, de propriété et d'environnement (Dhillon, 2002).

Pour cette raison, Dhillon (2002) propose de classer les coûts associés à la maintenance en quatre domaines : coûts directs, coûts de pertes de production, coûts de dégradation et coûts de stand-by. Les coûts directs sont associés à la sauvegarde du fonctionnement de l'équipement et incluent les coûts des inspections périodiques et de maintenance préventive, coût de réparation, coût de révision et coût d'entretien. Les coûts de perte sont associés aux pertes de production dues aux pannes des équipements principaux et à l'indisponibilité des équipements de stand-by. Les coûts de dégradation sont associés à la détérioration dans la vie de l'équipement due à une maintenance insatisfaisante ou de qualité inférieure. Les coûts de stand-by sont associés au fonctionnement des équipements de stand-by. Les équipements de stand-by sont utilisés lorsque les installations principales sont soit sous maintenance ou soit défaillantes.

Plusieurs facteurs influencent les coûts de maintenance : l'état du bien (i.e. âge, type et condition), expertise et expérience de l'opérateur, politique de la compagnie, type de service, compétence du personnel de maintenance, environnement opérationnel, spécification de l'équipement et contrôles de régulation.

3.3.4. Estimation des coûts de maintenance

Le CCV d'un produit inclut les coûts de toutes les étapes de cycle de vie à savoir : conception, acquisition, opération, utilisation, recyclage et destruction. La fonction du coût de maintenance proposée par Blanchard (2004) comprend les pièces de rechange, les équipements de réparation et de test des composants, le transport et la manutention, le réapprovisionnement, le système d'information et de support des activités. Cette fonction du coût applicable pour les activités de maintenance préventive et corrective est donnée par la formule suivante :

$$C_{OM} = C_{OMM} + C_{OMX} + C_{OMS} + C_{OMT} + C_{OMP} + C_{OMF} + C_{OMD} \dots\dots\dots(3.1)$$

Les différents composants de la fonction C_{OM} sont les suivants :

C_{OMM} : coût du personnel de maintenance : il est composé du coût (salaire) du personnel qui intervient lors d'une action de maintenance préventive ou corrective, du matériel associé à ce personnel et de la documentation nécessaire pour la réussite de cette intervention.

C_{OMX} : coût des pièces de rechange. Il est ventilé en cinq parties : les pièces de rechange d'organisation, les pièces de rechange de transport et de manutention, les pièces de rechange d'outillage de maintenance, les pièces de rechange des machines de production et les consommables.

C_{OMS} : coût des équipements de test et de maintenance. Il est divisé en trois parties : les équipements de test et de maintenance, les équipements de transport et manutention et l'outillage de test et de maintenance.

C_{OMT} : coût de transport et de manutention. Il comporte plusieurs aspects. Le premier est relatif au coût de transport par commande. Le deuxième est le déballage et l'entreposage.

C_{OMP} : coût de formation et d'apprentissage. Il inclut plusieurs aspects. Il comporte l'aspect formation du personnel avec le salaire de l'instructeur et la rémunération des personnes qui reçoivent la formation et l'apprentissage.

C_{OMF} : coût d'équipement de maintenance. Il comporte deux aspects : le premier est le coût de l'espace dédié entièrement pour la maintenance. Le deuxième aspect comporte le coût des machines et de l'espace qui sont partagés entre la production (ou un autre Département) et la maintenance.

C_{OMD} : coût des données techniques. Il comporte le coût de toute structure nécessaire au maintien de l'information sur la composante depuis sa réception.

La difficulté majeure, qui contraint l'application de l'analyse du CCV, est l'estimation des coûts de maintenance. Nous pouvons classer les modèles de calcul de coût de maintenance, existants en littérature, en deux ensembles, le premier est basé sur la modélisation stochastique et le deuxième sur la théorie économique. Dans le premier ensemble, la théorie est abondante et a pour objectif la minimisation du coût de maintenance d'un composant ou d'un système en utilisant les techniques de recherches opérationnelles (par exemple les chaînes de Markov ou l'analyse bayésienne).

Cependant, il y a plusieurs problèmes lors de l'application de ces modèles quantitatifs d'optimisation, tels que les problèmes de données et l'écart entre la théorie et la pratique. En plus, la plupart de ces modèles sont considérés comme des développements de modèles mathématiques plutôt que d'être des développements de systèmes opérationnels d'aide à la décision. Enfin, ces méthodes montrent des lacunes quant à leur précision. En effet, nous n'avons pas trouvé de modèle qui prend en compte l'attribution des frais généraux sur les différentes activités de maintenance. De cette manière, ces modèles se basent sur une représentation très simplifiée de la maintenance du système étudié.

3.3.5. Modèle d'estimation des coûts de maintenance basé sur l'ABC

Si les modèles d'optimisation stochastique de maintenance sont abondants, les modèles basés sur la théorie économique sont peu nombreux. Parmi eux, il est intéressant de citer les travaux de El Aoufir et *al.*, (2004), Mirghani (2001) et Mirghani (2003). Dans ce qui suit nous présentons le cadre proposé par Mirghani (2001) pour l'estimation des coûts de maintenance programmée et qui applique les techniques de la comptabilité basée sur l'activité (ABC). Le cadre de coût proposé pourrait également être utilisé pour la comptabilité des travaux de maintenance non programmée qui se produisent d'une manière quasi-régulière, permettant ainsi au management de maintenance de développer une base de connaissance au sujet de ces travaux. Le cadre proposé inclut les coûts directs des matières, du travail et des services de soutien.

3.3.5.1. Éléments de coût standard d'un travail programmé de maintenance

Le critère de traçabilité est employé pour affecter les coûts directs des matières et de main d'œuvre aux travaux de la maintenance programmée. Les coûts de services de soutien sont affectés selon les techniques de l'ABC.

Matières directes : Le coût direct des matières représente le coût de toutes les matières et de tous les éléments directement décelables dans un travail de maintenance programmée, d'une façon économiquement faisable. Les besoins en matières directes, pour chaque travail de maintenance programmée, sont donnés par le programme de maintenance pour chaque équipement ou par le document de descriptions des travaux. Une telle information est (ou devrait être) basée sur les factures des matières (*bill of materials, BOM*). Il est nécessaire de tenir compte de la détérioration normale des matières, si elle est inévitable ou liée aux caractéristiques inhérentes du travail de maintenance programmée. Par conséquent, le programme de maintenance ou la feuille de description des travaux fournira la base pour déterminer les quantités standards de matières directes qui seront reproduites dans le panneau A de la feuille des coûts du travail de maintenance programmée (PMJCS) (voir le panneau A dans le Tableau 3.1). Ces documents fournissent également des données nécessaires pour la section de matières directes d'un ordre de travail de maintenance programmée. Il est important d'indiquer que ces documents sont préparés à l'étape de conception du programme de maintenance programmée.

Le travail direct : Le travail direct représente toutes les compétences qui travaillent directement sur un travail de maintenance programmée et leur coût est décelable dans ce travail d'une façon économiquement faisable. Habituellement, le travail direct de la maintenance programmée comporte une équipe de plusieurs compétences requises pour

assurer la qualité et la rentabilité du travail de maintenance. Ainsi, le mélange des compétences de travail doit être prédéterminé et devrait être reflété dans le programme de maintenance ou le document de description du travail. L'information de travail direct est (ou devrait être) basée sur la feuille de flux de travail (*job work flow sheet, JWFS*). Le JWFS constitue une feuille de route pour le travail de maintenance et fournit les informations nécessaires sur les processus à exécuter, les compétences de travail à appliquer et le nombre d'heures de travail à utiliser dans les conditions normales. Le JWFS devrait indiquer si un certain degré de changement de compétences de travail est permis afin de contrôler la qualité et le coût du travail de la maintenance programmée. En outre, le JWFS devrait fournir des informations concernant n'importe quel temps d'arrêt de travail inévitable dû à certaines caractéristiques inhérentes du travail de maintenance. Par conséquent, le programme de maintenance ou le document de description du travail fournira la base pour déterminer le nombre d'heures standard et la composition du travail direct qui sera reproduit dans la section de travail direct du panneau A du PMJCS (voir le panneau A dans le Tableau 3.1). Ces documents fournissent également les données nécessaires pour la section de travail direct d'un ordre de travail de maintenance programmée.

Activités de soutien : En plus des matières et travail directs, un travail de maintenance programmée exigerait les services des activités de soutien suivantes : conception, planification, programmation des ordres de travail, affectation, suivi et assurance de la qualité. Les coûts des activités de soutien représentent tous les coûts de maintenance programmée autres que les coûts directs de matières et de main d'œuvre. Ils peuvent être considérés comme des frais généraux de maintenance programmée. Ces coûts sont communs à tous les travaux de maintenance programmée et ne sont pas favorables à la traçabilité, comme pour les coûts directs des matières et de main d'œuvre. Par conséquent, pour les refléter comme des éléments de coûts d'un travail de maintenance programmée, la seule manière faisable est l'attribution. Puisqu'il y a différentes activités de soutien dans la maintenance programmée et puisque les travaux de maintenance consomment les ressources de ces activités différemment, une telle différenciation doit être capturée dans l'accumulation du coût du travail de maintenance programmée.

L'adoption de la démarche ABC est très utile dans ce cas, particulièrement lorsque les frais généraux sont significatifs par rapport aux coûts totaux de la maintenance programmée. L'application de l'ABC passe par les étapes suivantes :

1. identifier les principaux domaines des activités de soutien à la maintenance programmée ;
2. pour chaque domaine d'activité, identifier un driver de coût de cause-à-effet ;
3. développer le coût budgétaire total (variable et fixe) et la demande budgétaire totale de chaque activité dans les conditions normales ;
4. calculer un taux prédéterminé de frais généraux par unité d'activité pour chaque domaine d'activité en divisant des coûts budgétaires totaux par la demande budgétaire totale ;
5. employer les taux prédéterminés de frais généraux du point (d) précédent, pour attribuer les frais généraux de soutien aux travaux de maintenance programmée, sur la base de son utilisation prévue de cette activité. Si un travail de maintenance programmée, n'a pas projeté d'employer une activité donnée de soutien, il ne reçoit aucune affectation du coût de cette activité. Selon l'ABC, l'affectation des coûts généraux de soutien devient une fonction des consommations prévues (ou réelles) des ressources, dans chaque domaine d'activité. Les taux prédéterminés de frais généraux pour les différents domaines d'activité de soutien et la quantité prévue de soutien dans chaque domaine d'activité seront rassemblés dans le Tableau 3.2, qui fournit la base pour les entrées de la section de services de soutien du panneau A dans la feuille PMJCS (voir Tableau 3.1).

Un formulaire de commande de matières (MRF) fournira la preuve écrite de la consommation réelle des matières directes. Le MRF fournira la base pour faire des entrées de matières directes dans la section d'entrées réelles de la feuille des coûts du travail de maintenance programmée (PMJCS) (voir Tableau 3.1, panneau B).

Travail direct : L'utilisation réelle des services de travail direct sera enregistrée dans la feuille des coûts du travail de maintenance programmée aux salaires horaires standards et non pas aux salaires horaires réels. La raison est que la différence entre le taux réel et le taux standard du salaire de la main d'œuvre est une variance de dépense incontrôlable par le management de maintenance. Une telle variance de dépense serait importante pour le Département de ressources humaines. La preuve écrite, concernant l'utilisation réelle des services de travail direct en termes d'heures de travail, sera fournie par la section de l'utilisation du travail direct de l'ordre de travail de maintenance.

Services de support : L'utilisation réelle des activités de soutien à la maintenance programmée sera enregistrée aux taux prédéterminés des frais généraux. L'utilisation du taux prédéterminé est motivée par deux raisons principales. D'abord, par l'opportunité du coût des travaux programmés de maintenance de sorte que leur coût total puisse être déterminé dès qu'ils seront accomplis plutôt que d'attendre jusqu'à la fin de l'exercice budgétaire pour déterminer le taux "réel" des frais généraux de chaque activité de soutien. En second lieu, pour éviter les fluctuations saisonnières dans le coût de maintenance en basant le taux de frais généraux sur les coûts et le volume estimé des activités de soutien dans les conditions normales. La preuve qui justifie l'utilisation réelle des services de soutien par un travail spécifique de maintenance sera fournie par la carte des activités réelles de soutien (voir Tableau 3.3). La quantité réelle utilisée d'un service de soutien sera multipliée par son taux prédéterminé de frais généraux pour arriver au coût de services de soutien qui sera enregistré dans la section de services de soutien du panneau B de la feuille des coûts du travail de maintenance programmée (PMJCS) (voir Tableau 3.1).

Après l'accomplissement d'un travail de maintenance programmée, les totaux des matières directes, du travail direct et des sections de services de soutien seront additionnés et le coût total du travail sera repris dans la section récapitulative du panneau B de la feuille PMJCS (voir Tableau 3.1).

3.3.5.3. Variation de coût

Une variance de coût est la différence entre un coût réel et un coût standard pour un objet d'activité ou de coût. Cette variance peut être défavorable (D) si le coût réel est plus grand que le coût standard ou favorable (F) si le coût réel est plus petit que le coût standard. Les variations de coût sont déterminées pour chaque élément de coût.

Une variation de coût significative est une variation digne de l'attention du management. Le niveau de signification (ou les limites de contrôle) d'une variation pourrait être déterminé en construisant un intervalle reflétant la confiance du management. Cet intervalle est donné par la valeur moyenne de l'élément de coût \pm (1, 2, ou 3) fois son écart type. Plus l'article de coût est critique, plus étroit sera la largeur de son intervalle de confiance. Le niveau de signification d'une variation de coût peut aussi être déterminé sur la base de l'expérience antérieure, aussi bien que sur la base du degré de criticité de l'élément de coût.

Dans l'approche proposée par Mirghani (2001) les termes défavorables ou favorables, utilisés pour la variation du coût de maintenance, sont indicatifs de l'impact de la variance sur le coût de fonctionnement ou sur la rentabilité. Ils ne devraient pas être considérés comme des évidences concluantes au sujet de la défaillance ou du succès de la performance du management de maintenance. Par exemple, les variances de coût d'un travail de maintenance programmée pourraient être tout à fait favorables parce que des matières de mauvaise qualité et les compétences de travail ont été substitués à la qualité des matières et des compétences de travail qui devraient être employées. Le "succès" ou la "défaillance" de la performance de management ou de l'efficacité économique d'un travail de maintenance programmée peuvent être déterminés si la variance de coût est étudiée et ses facteurs causals sont contrôlables par le management.

3.4. Conclusion

Dans la première section de ce chapitre, nous avons présenté le CCV, ses différentes étapes et ses composantes principales. Ensuite nous avons montré, dans la deuxième section, que l'approche d'analyse de CCV, représente un outil stratégique qui peut fournir, une fois maîtrisé, une aide précieuse au manager d'une entreprise pour prendre les meilleures décisions stratégiques lors de l'apparition d'un besoin pour un nouveau système ou bien dans l'amélioration de la conduite d'un système existant. Cette amélioration, se traduit sous forme d'une diminution du CCV lui-même, plus particulièrement, du coût global d'exploitation et de maintenance qui représente dans certains cas plus de 75 % du coût global. Cependant, l'estimation du coût global de maintenance, propos de la troisième section, n'est pas encore l'objet d'un consensus au niveau scientifique. En effet, les modèles proposés en littérature pour l'estimation du coût de maintenance sont pour la plupart des développements mathématiques plutôt que d'être des contributions opérationnelles d'aide à la décision. Les modèles basés sur les théories économiques sont très rares. Sont encore plus rares, les modèles qui prennent en considération la distribution des frais généraux sur les différentes activités de maintenance. Ces modèles sont basés sur l'application de l'approche ABC (Activity Based Costing) qui est critiquée par ses fondateurs pour plusieurs raisons. Toutes ces considérations nous ont incité à proposer une nouvelle approche pour contribuer à améliorer l'estimation du coût global de maintenance dans le cadre de l'amélioration du système étudié.

Chapitre 4

Chapitre 4

Conception d'un cadre basé sur le CCV pour l'amélioration de la fonction maintenance

En dépit de son importance pour le management, la survie et la croissance d'une organisation, la manière d'établir un système adéquat pour la mesure de performance n'est pas évidente à cause de plusieurs raisons. Parmi elles, il y a lieu de citer le manque de mesures importantes stratégiquement malgré l'excès de mesures disponibles dans la pratique, ajoutant à cela le peu d'accord parmi les pratiques courantes quant à la façon dont devrait être mesurée la performance stratégique.

Nous avons montré, dans la première partie de cette thèse que la performance de maintenance est liée à la meilleure manière d'utiliser les ressources et ne peut être appréhendée que dans le cadre de la performance globale du système complet qui est appelé à réaliser une fonction requise. Nous avons aussi démontré, dans le chapitre précédent, que le CCV, de part sa nature universelle et générique, offre un cadre approprié pour choisir la meilleure manière d'utiliser les ressources rares et permet aussi de faire intégrer toutes les fonctions du système vers un même objectif qui est la diminution du CCV.

La mesure de la performance par le biais du *CCV* n'est pas restreinte au niveau corporate de l'organisation, mais elle peut être déployée vers les niveaux tactique et opérationnel de l'organisation. Ainsi, l'adoption de l'analyse du *CCV* nous permet de préparer une méthodologie pour développer un système de mesure pour le processus d'exploitation et de maintenance. Ce système permettra d'identifier les facteurs stratégiques qui sont critiques à la performance globale de l'entreprise et par conséquent au processus de maintenance.

Le présent chapitre concerne la construction d'un cadre pour mesurer la performance de la fonction maintenance en se basant sur le calcul du *CCV* du système. Ce cadre sera utilisé pour l'estimation des différents coûts constituant le coût global de la maintenance. Aussi, nous allons montrer l'utilité d'un tel cadre pour l'amélioration du fonctionnement du processus de maintenance. Ce chapitre voudra attirer l'attention sur l'importance de l'utilisation du "maintenance costing" comme étant un outil de management stratégique de la maintenance dont l'amélioration constitue une partie intégrante dans la performance globale du système.

4.1. Modélisation systémique de la maintenance

Une approche logique dans le développement d'un système de mesure de la performance devrait essentiellement être un processus de haut vers le bas, débutant du niveau stratégique de la structure de corporation et allant vers les différentes activités du système. C'est dans une vision systémique que devra se construire un cadre de mesure de performance de la maintenance, étant donné que le but est de remplir la mission du système. Pour cette raison nous décrivons, dans la présente section, la maintenance comme étant une partie intégrante du système. Cette vision systémique de la maintenance montre que la performance de cette fonction ne peut se faire que dans le cadre de l'amélioration de la performance globale du système (Aoudia, 2008).

Le format que nous avons utilisé pour la modélisation des différentes activités du système est l'Integrated Definition Function Model (IDEF0). Ce langage structuré permet d'analyser les interactions entre les activités du système. Il est aussi utilisé pour identifier les vulnérabilités potentielles du système. Cette identification est importante pour améliorer le fonctionnement du système. Aussi ce langage (IDEF0) est utilisé pour rendre la description des opérations complexes claire et explicite.

Considérant un système quelconque qui est appelé à remplir correctement sa mission en utilisant certaines ressources nécessaires, mais en respectant certaines contraintes et en maîtrisant son impact sur l'environnement (déchets solides, déchets dangereux, émissions de gaz, eau usé, etc.) et la sécurité, comme le montre la Figure 4.1.

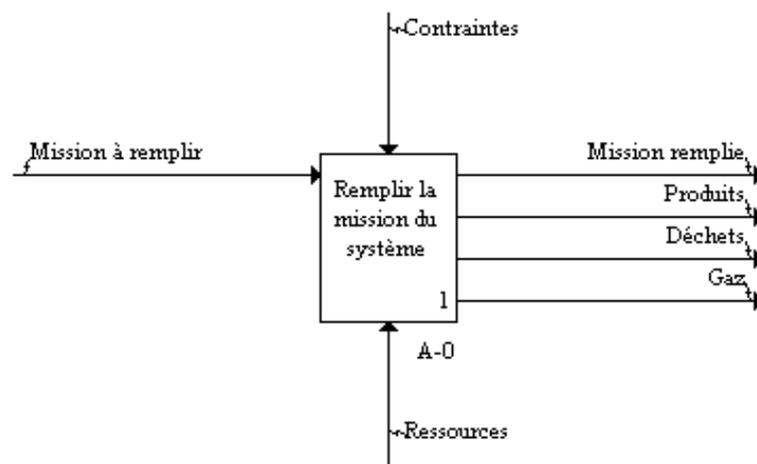


Figure 4.1 – Contexte de fonctionnement du système

Nous avons distingué quatre processus principaux dans le fonctionnement d'un système :

- piloter le système
- exploiter le système
- maintenir le système
- fournir les ressources au système

Les relations entre les différents processus principaux sont illustrées par la Figure 4.2. Chaque processus sera lui-même décomposé en fonctions et chaque fonction individuelle pourra ensuite être évaluée.

Le premier processus dans le fonctionnement du système considéré est le processus de pilotage. Ce processus comporte toutes les fonctions de management de l'activité du système comme la direction, la planification, la coordination et aussi l'identification de tous les besoins en ressources nécessaires pour conduire les autres processus du système.

Le deuxième processus est chargé d'exploiter le système. Il a la fonction de convertir les inputs en outputs sous la direction du processus de pilotage et cela en utilisant les ressources fournies par le processus de fourniture des ressources.

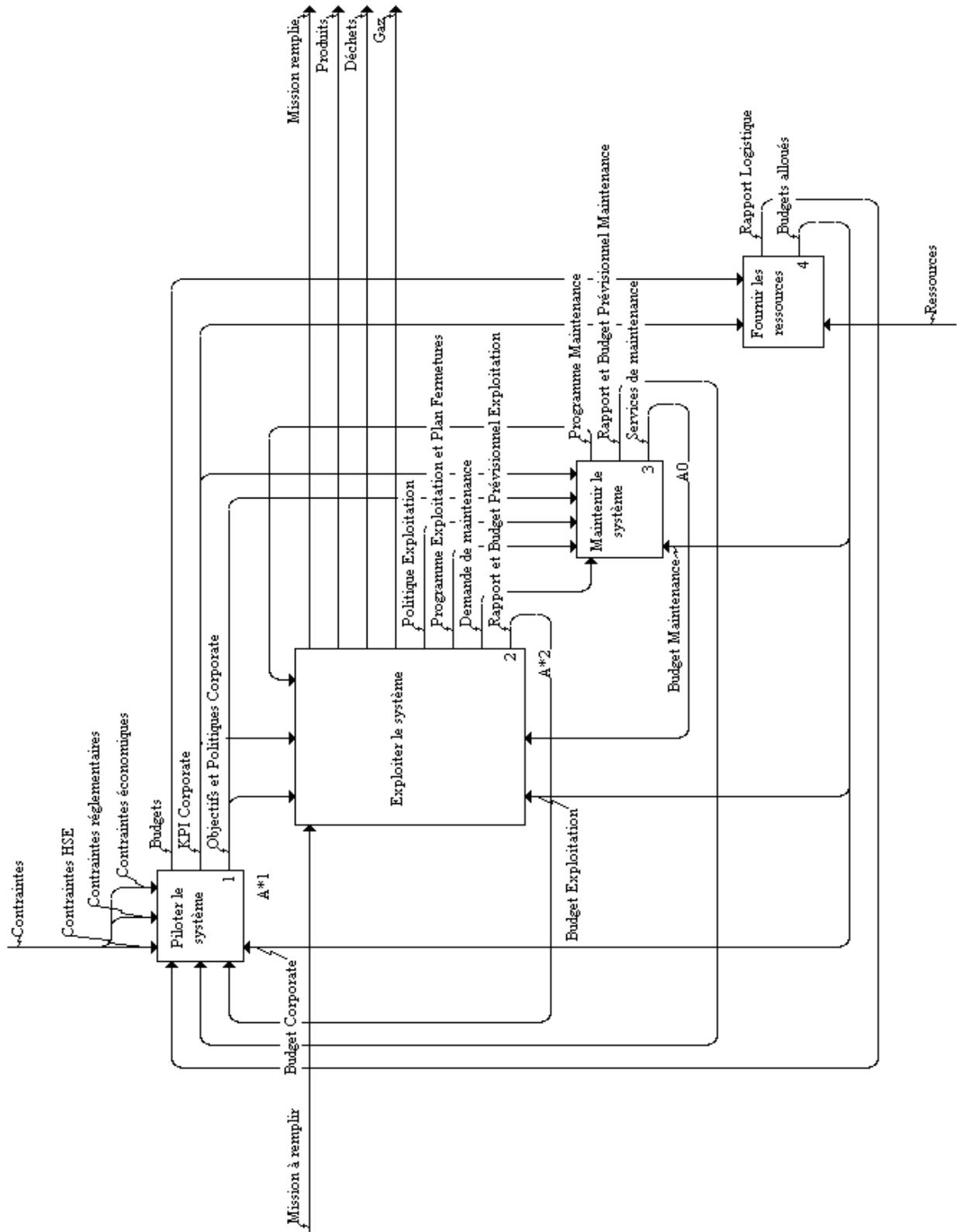


Figure 4.2 – Processus principaux du système

Le troisième processus est le processus de maintenance. Il utilise les ressources qui lui sont fournies par le processus de fourniture de ressources pour maintenir le système ou le rétablir dans un état dans lequel il peut réaliser la mission qui lui assignée, sous la direction du processus de pilotage.

Le dernier processus est le processus de fourniture de ressources. Il sélectionne et attribue toutes les ressources nécessaires au bon fonctionnement des trois processus précédents. Ici, nous entendons par ressources tous les composants nécessaires à l'accomplissement de certaines fonctions. Ces composants contiennent le personnel correctement formé et certifié, les installations adéquates, les informations requises et le soutien matériel suffisant. Etant donné que l'activité principale de ce processus est d'allouer les ressources et non pas de les produire, ses outputs sont essentiellement les mêmes de ses inputs, à l'exception de leurs localisations.

4.1.1. Processus de pilotage du système

Ce processus comporte les processus suivants :

- coordonner au niveau corporate
- exprimer les objectifs du système
- élaborer les budgets
- évaluer et améliorer au niveau corporate

Les inputs, les outputs ainsi que les relations entre ces différents sous processus sont représentées par la Figure 4.3.

Le processus de pilotage dirige, planifie et coordonne les différentes activités du système. Il exprime les objectifs et la politique de l'organisation, élabore les budgets et les plans de formation, donne les directives, évalue et améliore la performance de tout le système et fournit toutes les régulations nécessaires. Les inputs de ce processus sont les différents rapports d'activité et les outputs sont les objectifs, les budgets et les différentes directives et normes de performance. Il importe de signaler, à ce niveau, que l'amélioration du système est parmi les missions stratégiques du processus de pilotage et que l'amélioration de tout autre processus ne doit pas se faire en dehors de l'amélioration globale du système. Nous allons développer dans les sections prochaines de ce chapitre un cadre que nous proposons d'implanter au niveau stratégique du management du système. Ce cadre propose de calculer en premier lieu le CCV du système, d'identifier, en deuxième lieu, tous les inducteurs de coût et enfin de proposer un plan pour la minimisation du cycle de vie de ce système.

4.1.2. Processus d'exploitation du système

Cette fonction englobe tous les processus conduits pour exploiter le système. Il s'agit essentiellement des processus suivants :

- piloter l'exploitation ;
- planifier l'exploitation ;
- programmer l'exploitation ;
- réaliser les différentes opérations d'exploitation et
- fournir les ressources nécessaires pour l'exploitation du système.

Les inputs, les outputs ainsi que les relations entre ces différents processus sont représentées par la Figure 4.4.

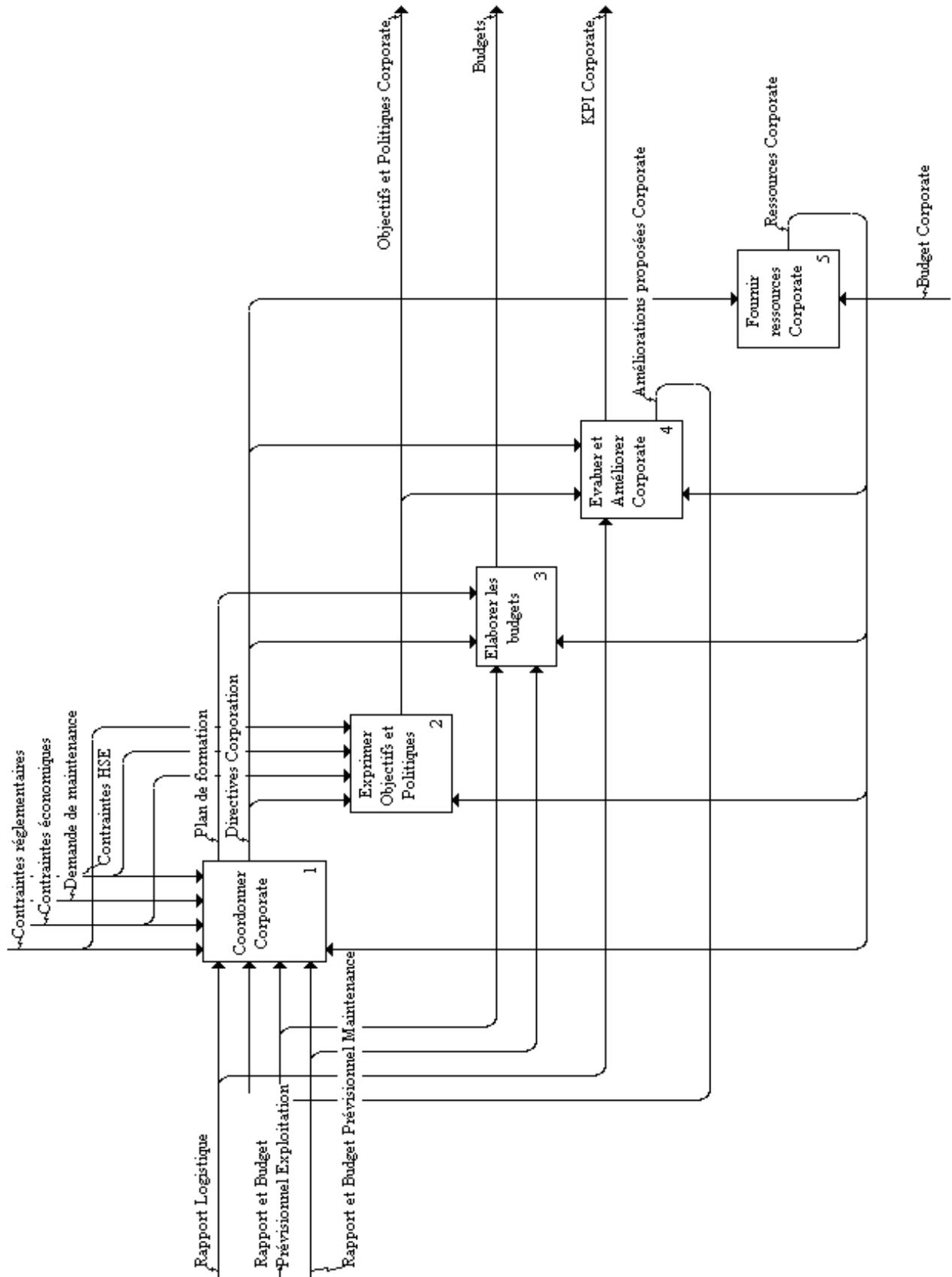


Figure 4.3 – Processus de pilotage du système

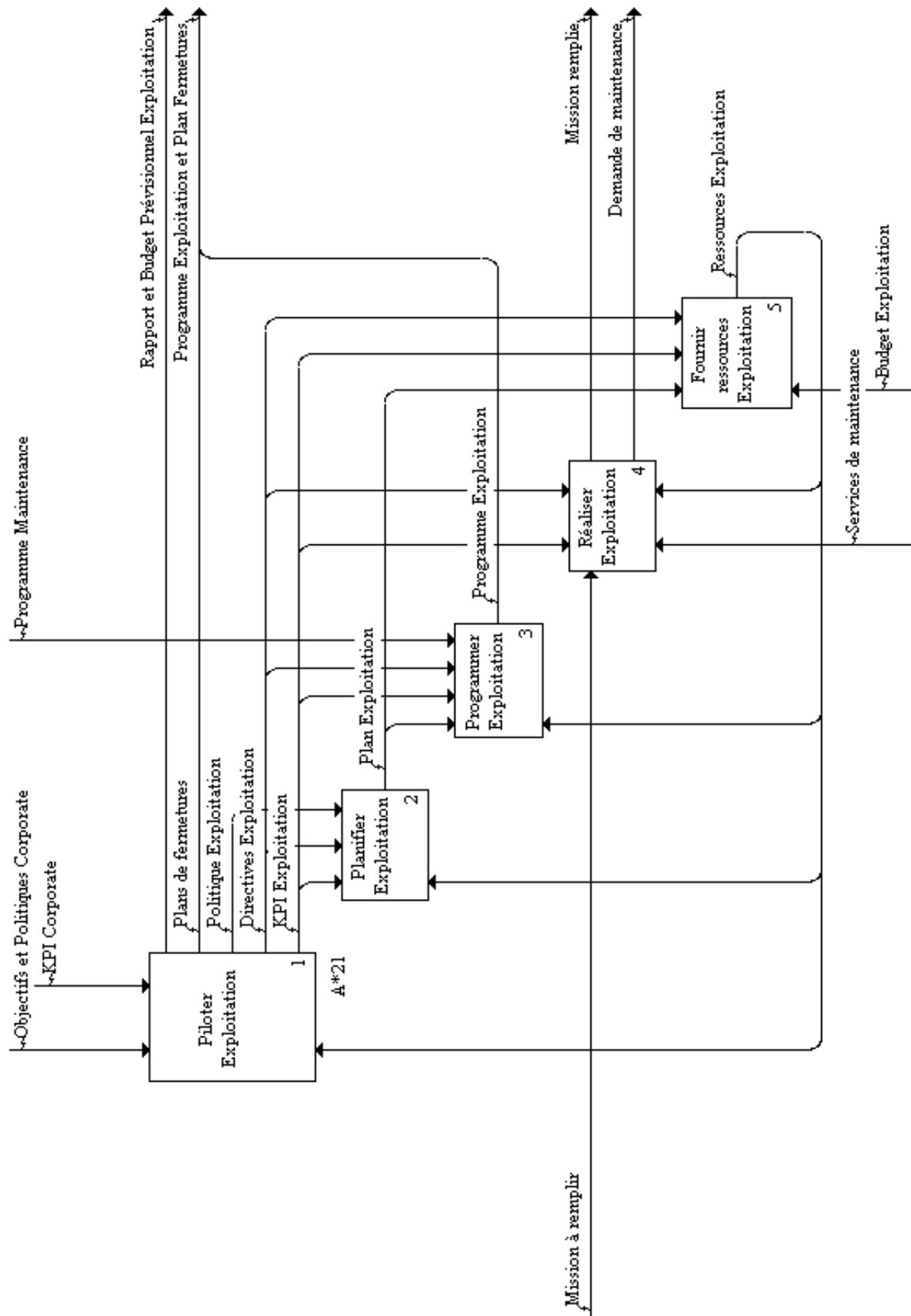


Figure 4.4 – Processus d’exploitation du système

Cette décomposition fonctionnelle est utile pour l'estimation du coût global d'exploitation. Comme pour le processus de maintenance, l'amélioration du processus d'exploitation doit être faite dans le cadre de l'amélioration de la performance globale du système telle que nous l'avons expliqué précédemment.

A ce niveau, nécessairement, c'est le processus de pilotage de l'exploitation qui devra être chargé par la direction du système de :

- participer à l'estimation du CCV au niveau corporate ;
- veiller à la collecte des données nécessaires à l'estimation du CCV ;
- estimer le CCV lié à l'exploitation ;
- mettre à jour le CCV à l'exploitation et
- expliquer tout écart entre les deux coûts de cycle de vie «initial» et «actuel» lié à l'exploitation.

Etant donné que notre propos est la mesure de performance du processus de maintenance, nous ne développerons pas davantage dans cette étude les éléments liés à l'exploitation du système. Cependant la démarche que nous détaillons pour le processus de maintenance peut être adoptée pour le processus d'exploitation.

4.1.3. Processus de maintenance du système

Dans beaucoup d'industries le processus de maintenance est considéré comme un processus stratégique crucial pour atteindre les objectifs de corporation. La prise en considération du processus maintenance est essentielle dans la compréhension et le développement d'une procédure pour l'amélioration continue globale. D'une manière générale, le processus de maintenance renferme les processus suivants :

- le pilotage de maintenance ;
- la planification de maintenance ;
- la programmation des différentes tâches de maintenance ;
- la réalisation des différentes tâches de maintenance et
- la fourniture des différentes ressources de maintenance.

La Figure 4.5 montre les relations qui existent entre ces quatre sous processus de maintenance.

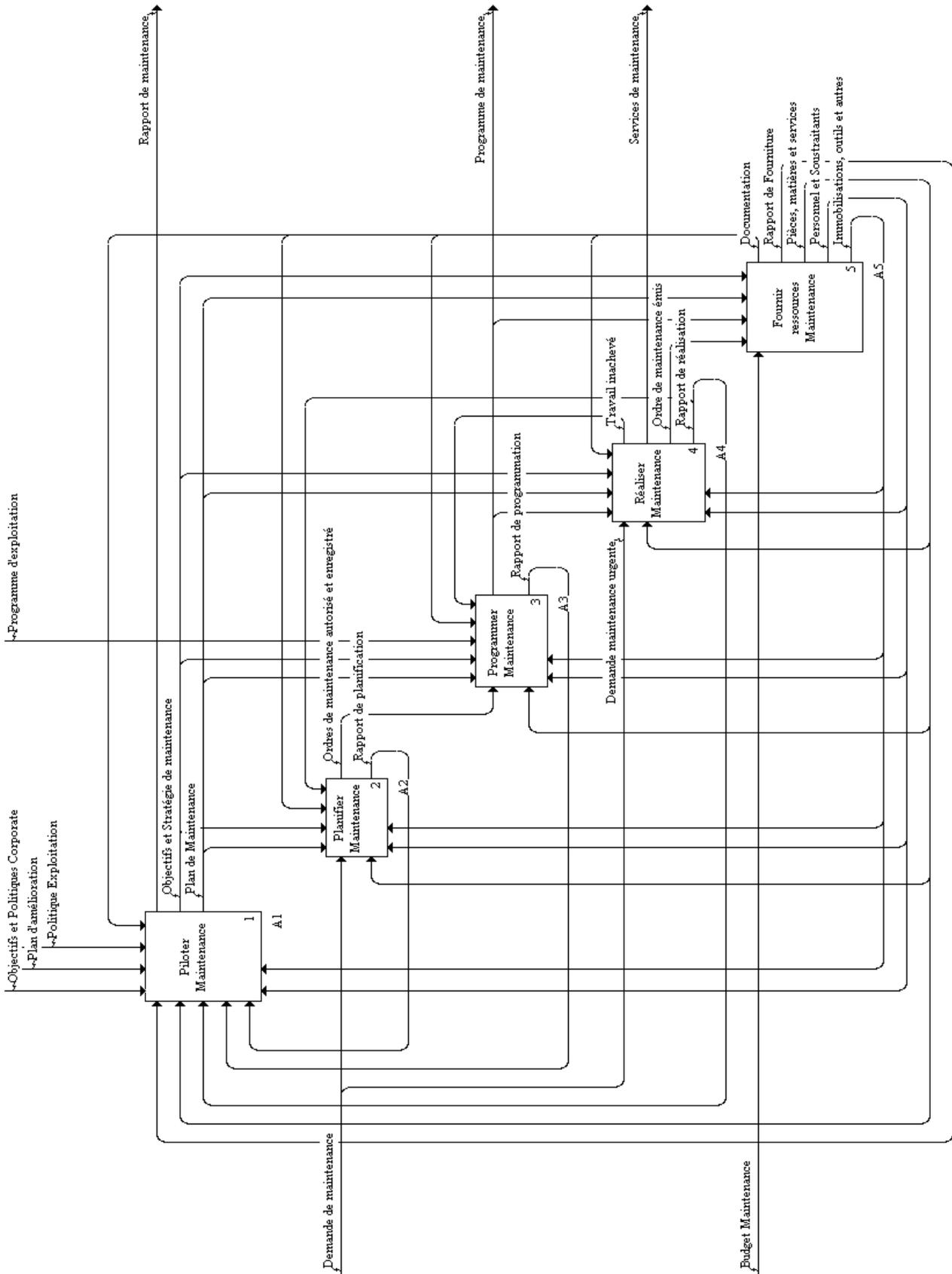


Figure 4.5 – Les sous processus de maintenance

Chaque processus principal de la maintenance possède un potentiel pour l'amélioration. Mais ses potentiels doivent tous être gérés et dirigés par le processus de pilotage de la maintenance selon les directives de la direction du système, comme l'illustre la Figure 4.6.

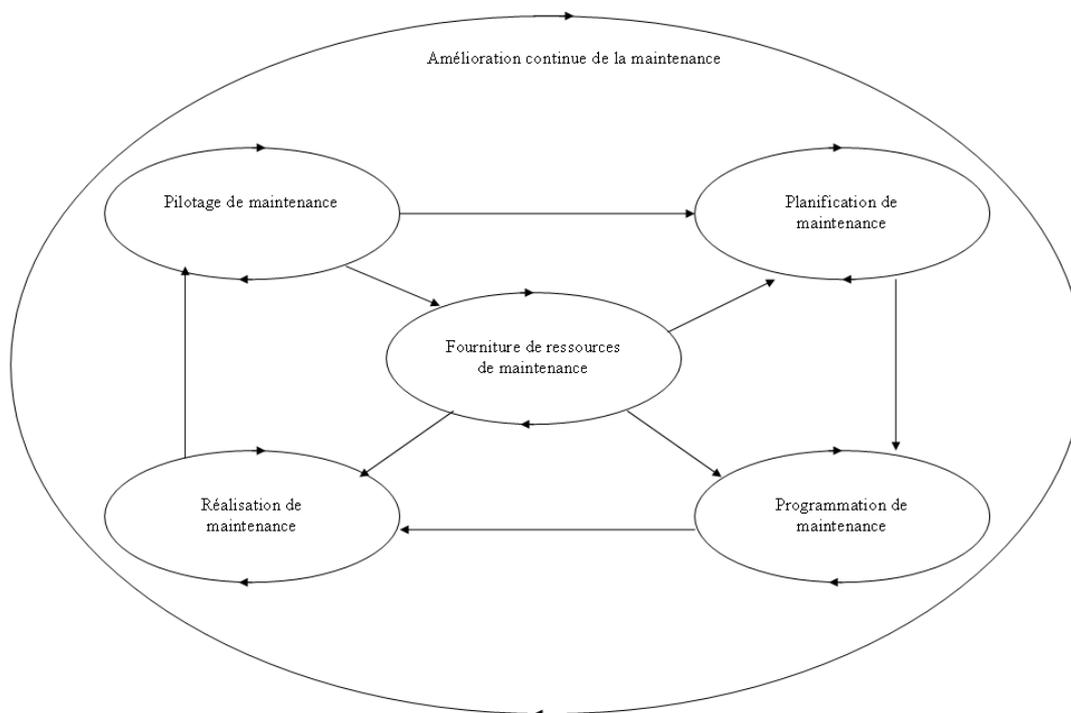


Figure 4.6 – Amélioration continue du processus de maintenance

Le dernier schéma montre que le pilotage (management) de tous les processus principaux de maintenance est crucial pour une amélioration de la performance de cette fonction.

4.1.3.1. Pilotage de la maintenance

Les différentes activités principales de ce sous processus ainsi que les relations entre elles sont résumées par la Figure 4.7.

Le processus de pilotage de la maintenance a la mission de :

- énoncer les objectifs de maintenance en termes de disponibilité, coûts, qualité, environnement, sécurité, à partir de la politique de l'entreprise et de la politique d'exploitation ;
- élaborer la stratégie de maintenance qui appréhende les méthodes et les moyens destinés à atteindre les objectifs ;
- prévoir le budget de maintenance ;
- améliorer le fonctionnement du processus de maintenance ;
- veiller sur la coordination avec le processus d'exploitation et
- émettre les directives nécessaires au bon fonctionnement de la maintenance.

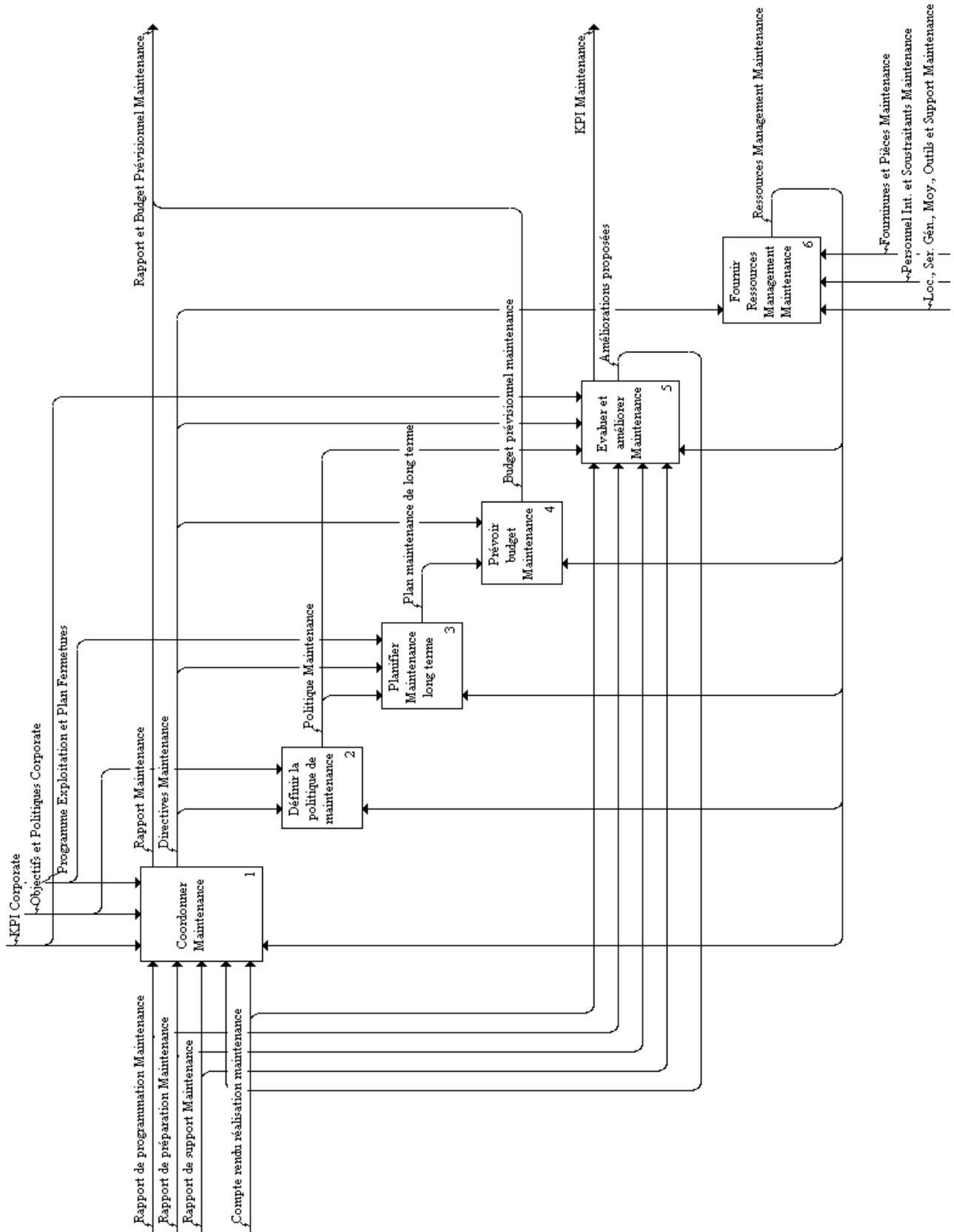


Figure 4.7 – Sous processus de pilotage de maintenance

4.1.3.2. Planification de la maintenance

Les différentes activités principales du sous processus de planification de la maintenance sont récapitulées par la Figure 4.8. Cette Figure montre également les relations existantes entre ces activités. La mission principale du processus de planification de maintenance est de mettre en place un plan de maintenance optimal pour chaque équipement et d'adapter ce plan en cas de changement dans les hypothèses de départ.

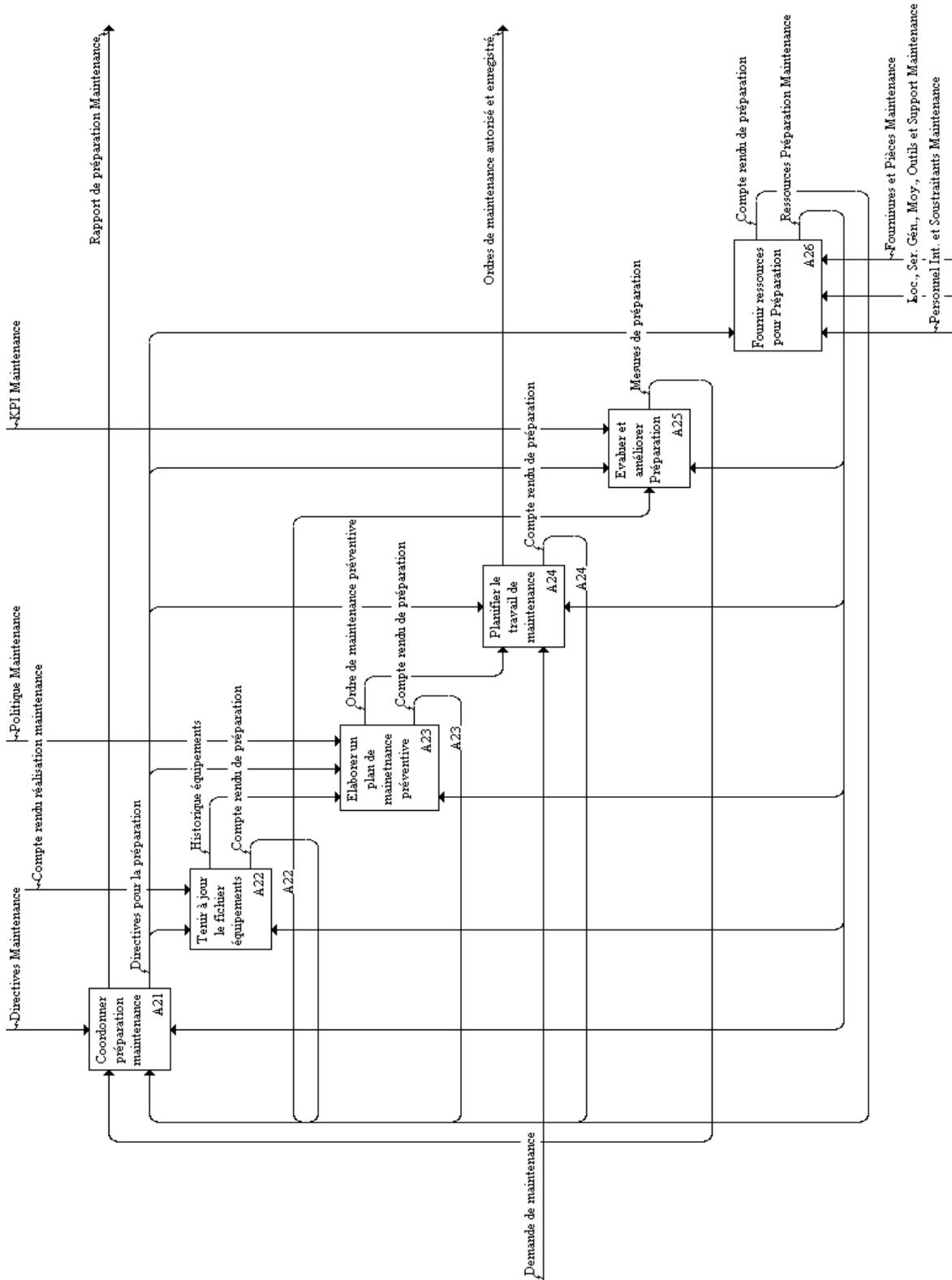


Figure 4.8 – Processus de planification de maintenance

4.1.3.3. Programmation de maintenance

La mission principale du processus de programmation est d'établir et de mettre à jour les différents programmes de maintenance (annuel, semestriel, mensuel, hebdomadaire). Les différentes activités principales du sous processus de programmation sont récapitulées par la Figure 4.9. Cette Figure montre également les relations existantes entre ces activités.

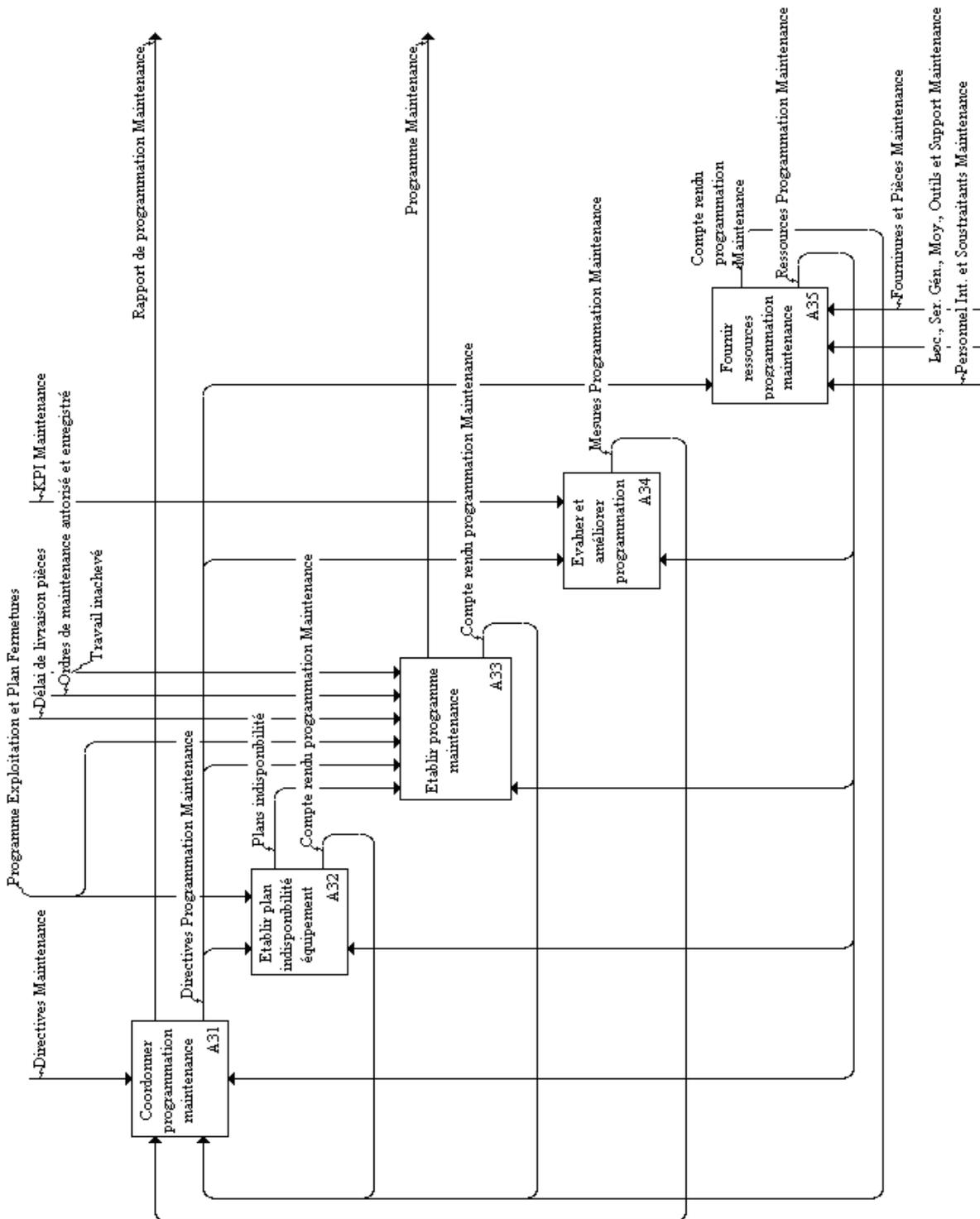


Figure 4.9 – Processus de programmation de maintenance

4.1.3.4. Réalisation des travaux de maintenance

Le rôle de ce processus est de réaliser les ordres de maintenance (programmés ou non programmés) et de contrôler leurs réalisations. La Figure 4.10 donne les différentes activités liées à ce sous processus ainsi que les différentes relations entre elles.

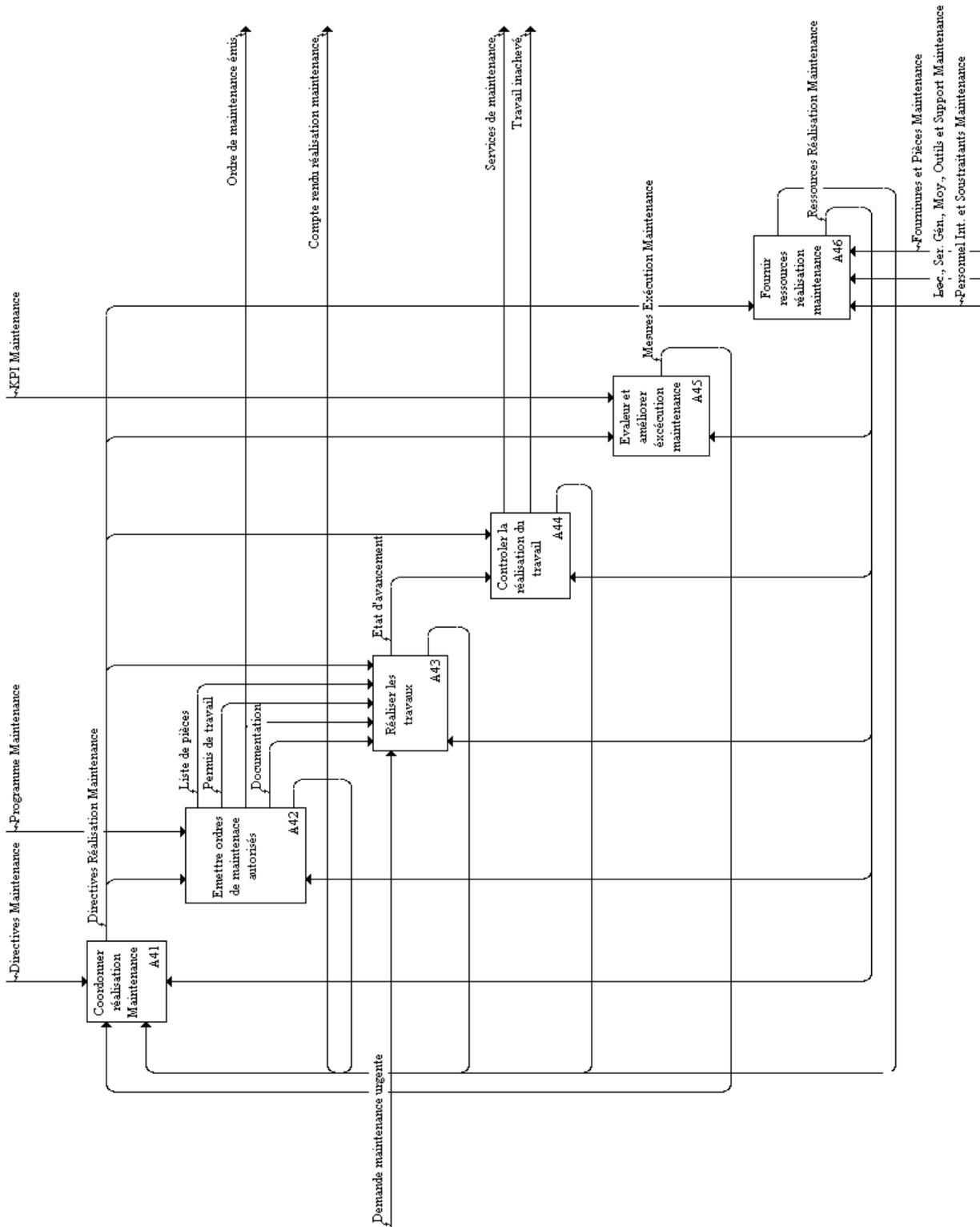


Figure 4.10 – Sous processus de réalisation de maintenance

4.1.3.5. Processus de fourniture de ressources pour la maintenance

La fonction principale de cette activité est d'allouer les ressources appropriées là où il faut et au bon moment. C'est à ce processus que revient le rôle de :

- fournir les ressources humaines de maintenance (internes ou externes);
- fournir les pièces et consommables de maintenance ;
- fournir les équipements, les outils et les moyens techniques nécessaires ;
- fournir les services généraux nécessaires à la maintenance ;
- fournir toutes les informations nécessaires, particulièrement pour la mesure de performance de la fonction de maintenance.

La Figure 4.11 donne les principales activités de ce processus ainsi que les relations entre elles.

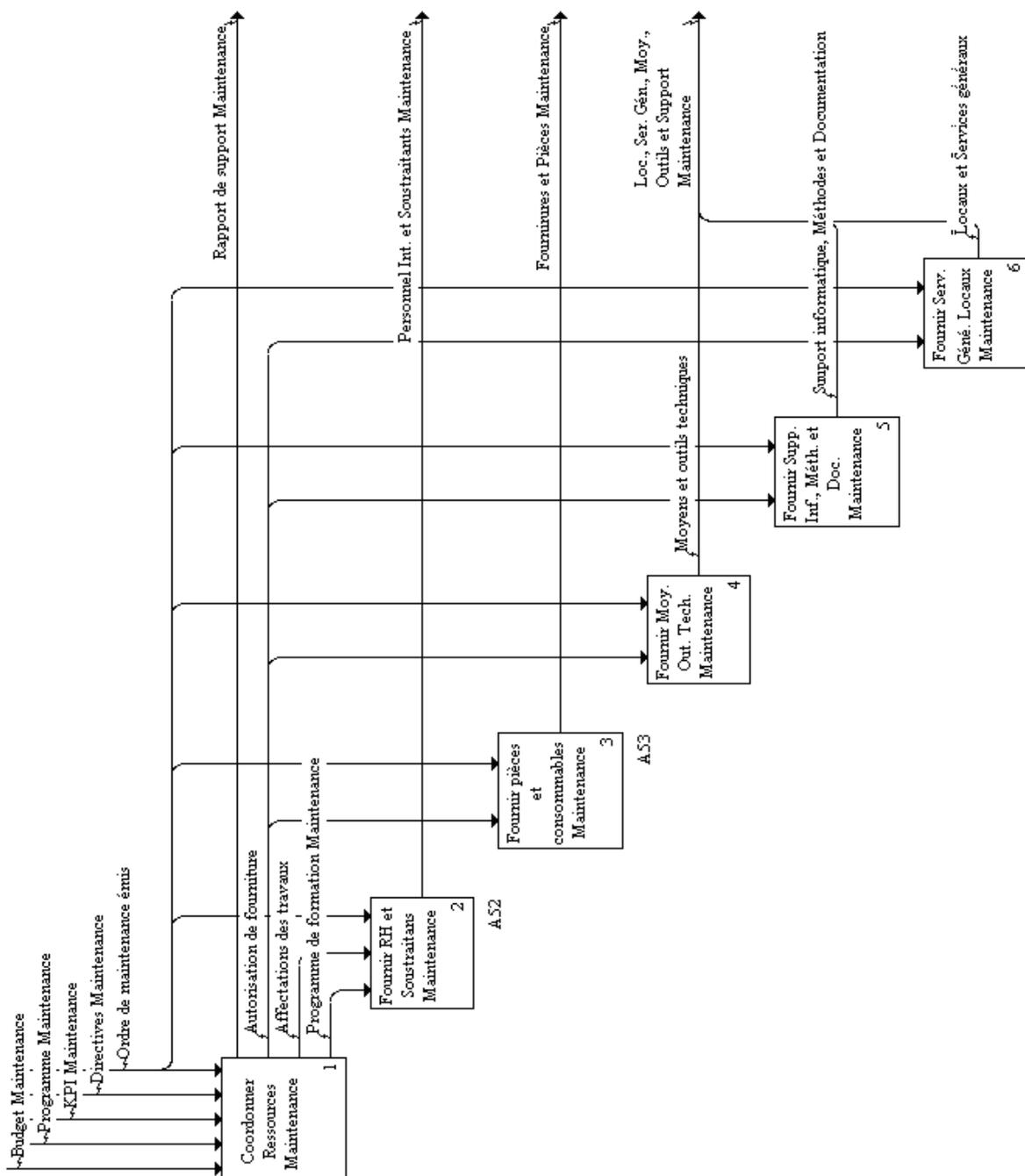


Figure 4.11 – Sous processus de fourniture des ressources pour la maintenance

Concernant ce dernier processus, nous insistons plus particulièrement, sur les informations que devra transmettre ce processus vers le processus de pilotage de la maintenance, étant données leurs importances pour le processus d'amélioration. Il s'agit essentiellement de :

a. Personnel

Pour chaque corps de métier/groupe de capacité :

- salaires,
- prix des heures supplémentaires,
- taux de majoration correspondants,
- charges du personnel direct : impôts, assurance, contributions législatives, etc.,
- formation du personnel direct : allouer ce coût au personnel selon les heures de présence de chaque personne.

Pour chaque niveau de responsabilité :

- salaires des managers, directeurs et personnel de soutien,
- prix des heures supplémentaires des cadres et des employés de bureau,
- taux de majoration correspondants,
- coûts supplémentaires du personnel mentionné (impôts, assurance, contributions législatives),
- formation du personnel indirect : allouer ce coût au personnel selon les heures de présence de chaque personne.

b. Services extérieurs

- montant des contrats de maintenance,
- coûts de toute prestation de service, majorée par un taux de participation en cas d'une intervention du personnel interne,
- coûts de gestion des contrats : inventaire du parc à maintenir, appel d'offres, sélection, négociation, programmation et réception des travaux, évaluation des prestataires.

c. Matières et pièces

- prix d'achat (Prix) des matières, pièces de rechange, pièce détachées, produits, consommables et fournitures utilisées,
- coût de passation de commande,
- coût de stockage,
- coût de management du stockage,
- taux de dépréciation des matières/pièces.

e. Services généraux

- coût des services généraux (électricité et gaz, eau, air comprimé, chauffage, éclairage, etc.)
- coûts d'administration pour la maintenance, communication, reprographie, loyers, assurances, transports, hôtels, etc.
- coût de documentation et méthodes, coût des modifications apportées à la documentation et aux méthodes de maintenance, plans, dessins, diagrammes de flux, données techniques, procédures, spécifications, etc.

f. Amortissement des actifs

- la valeur de toutes les immobilisations matérielles (outils et équipement) ou immatérielles (logiciels, GMAO, méthodologies, etc.),
- leurs taux d'amortissement respectifs.

Notre but à travers la présentation des différents processus principaux du système est de mettre en évidence la nécessité de construire un cadre de mesure de performance qui intègre tous les processus internes du système, afin d'obtenir la meilleure utilisation des capacités et des ressources existantes. Ceci exige qu'aucun processus internes ne puisse améliorer sa performance sans prendre en compte ses effets sur les autres processus. C'est un critère essentiel pour s'assurer que la performance globale est caractérisée par un équilibre dans chacun de ses différents aspects.

Ainsi le processus de maintenance (ou le processus d'exploitation ou de production) devrait tenir compte des buts, des cibles et des exigences spécifiques du système et de comparer son niveau de performance réel avec celui tracé par le système de mesure de performance globale. En faisant ainsi, chaque processus doit présenter dans le cadre global du système :

- l'état de fonctionnement du processus : problèmes, forces et faiblesses,
- l'écart de performance : performance désirée (cibles/buts) et réelle,
- la tendance potentielle : prévisions basées sur des données accumulées,
- les améliorations possibles : opportunités non-réalisées et motifs.

Le processus d'amélioration entier est une boucle continue itérative, qui fournit des opportunités substantielles pour une amélioration continue. Le cadre approprié pour cela est le CCV. Nous présentons dans ce qui suit les éléments nécessaires pour aboutir à l'estimation du coût global de maintenance de tout le cycle de vie du système pour son utilisation dans l'amélioration de la performance globale du système.

4.2. Modélisation du coût global de maintenance

La norme européenne EN 15341 "Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators" a défini la performance de maintenance comme étant : *"le résultat de l'utilisation des ressources en fournissant des actions pour maintenir un bien ou le rétablir dans un état dans lequel il peut réaliser la fonction requise. Elle peut être exprimée comme étant le résultat réalisé ou attendu"* (CEN, 2007). Il en découle de cette définition que la performance de maintenance est liée à la meilleure manière d'utilisation des ressources. Le CCV, de part sa nature universelle et générique, offre un cadre approprié pour choisir la meilleure manière d'utilisation des ressources rares par un système.

Nous entendons par coût global de maintenance d'un bien le coût lié à la maintenance de ce bien tout le long de son cycle de vie. Mais, nous rappelons que la maintenance est définie selon la norme EN 13306 comme étant *"l'Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise"* (AFNOR, 2001). Donc le coût global de maintenance d'un bien est l'ensemble de tous les coûts engendrés par les différentes actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

D'après cette définition, il suffit de faire la somme de tous les coûts engendrés par toutes les actions de maintenance réalisées sur les différents éléments du système durant tout son cycle de vie pour obtenir le coût global de maintenance du système. Supposons que le système à étudier est composé de K élément. 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 (préventive ou corrective) 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 4.12.

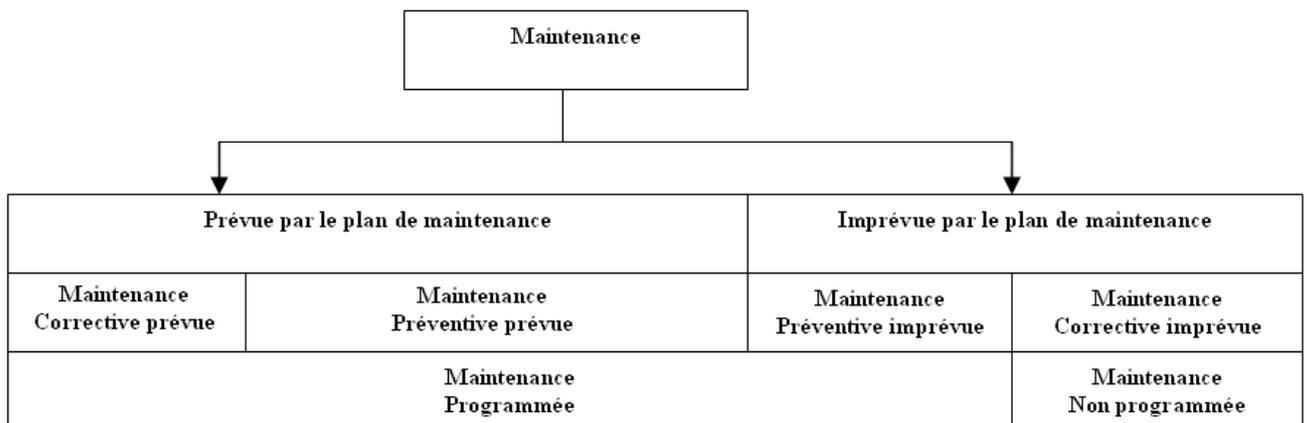


Figure 4.12 – Maintenance prévue et maintenance imprévue

La maintenance préventive imprévue est un besoin d'une action de maintenance qui a été découvert à temps (avant que l'élément ne tombe en panne), permettant ainsi au processus de programmation de maintenance de le prendre en charge dans les futurs programmes. La maintenance corrective prévue est une maintenance effectuée après l'identification de la panne afin de rétablir l'élément dans un état dans lequel il pourra exécuter sa fonction exigée. Dans ce cas, la fonction exigée de l'élément K n'est pas considérée comme étant assez critique pour être prise en charge par la maintenance préventive. La maintenance corrective non planifiée est un travail imprévu de prioritaire élevée soulevé après la défaillance de l'élément considéré et exigeant une action immédiate.

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 (préventive ou corrective) 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.
- actions de maintenance (préventive ou corrective) 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 appartenant au système.

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.

Considérons un système composé de K éléments. Soient :

- $k \in \{1, \dots, K\}$: 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.

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

$$\text{Coût direct de la maintenance } (CD_{MAIN}) = \sum_{k=1}^K \sum_{i_k=0}^{I_k} [n(i_k) \times \text{Coût}(i_k)] \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\text{Coût indirect de la maintenance } (CID_{MAIN}) = \sum_{k=1}^K \sum_{i'_k=0}^{I'_k} [n(i'_k) \times \text{Coût}(i'_k)] \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\text{Coût global de maintenance } (C_{MAIN}) = \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=0}^{J_k} [n(i_k) \times \text{Coût}(i_k)] + \sum_{k=1}^K \sum_{i'_k=0}^{I'_k} [n(i'_k) \times \text{Coût}(i'_k)] \dots\dots(4.3)$$

Pendant 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.

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 : staff de management, personnel de soutien et d'encadrement (directeurs, cadres, personnel d'engineering, personnel de planification et de programmation, agent de maîtrise, chefs d'atelier, personnel dans le magasin, etc.) et personnel opérationnel (techniciens, ouvriers, etc.)
- Matières et pièces : pièces détachées et de rechange, lubrifiants, consommables de fonctionnement collectif, etc.
- Services généraux : électricité et gaz, eau, air comprimé, etc.

- Services d'information : documentation, méthodologies, logiciels, etc.
- Immobilisations : bâtiments, locaux, ateliers et aires de travail, magasins, équipements d'ateliers, matériels et engins de transport et de manutention, équipements individuels ou collectifs de protection et de sécurité, matériels informatiques, outillages individuels ou collectifs, etc.
- Fournisseuses externes : réalisation de certaines tâches de maintenance, prestations d'ingénierie de maintenance, audits et études d'organisation, personnel mobilisé, matériaux consommés, transport livré ou utilisé, équipements fournis, etc.

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.

Pour cette raison, nous décomposons chaque type de coût (direct et indirect) en coût tangible et coût intangible comme le montre la Figure 4.13.

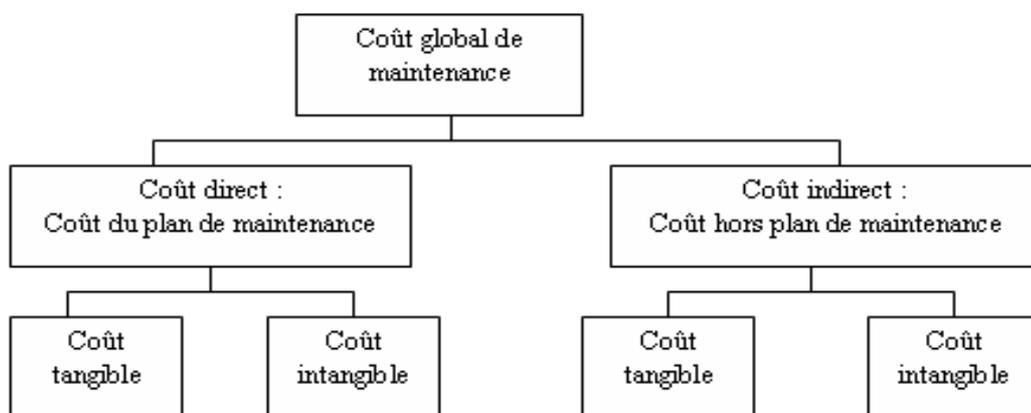


Figure 4.13 – Décomposition du coût de maintenance

Dans ce qui suit nous donnons les éléments essentiels permettant d'estimer chaque type de coût de maintenance (Aoudia, 2009).

4.2.1. Estimation du coût direct de la maintenance

Nous avons déjà mentionné que la réalisation d'une action de maintenance quelconque j_k (i_k ou i'_k) $\in \{0, \dots, J_k\}$ est susceptible d'engendrer un coût direct qui est composé de deux sortes de coûts : un coût tangible et un coût intangible. Notons par $CT(j_k)$ le coût tangible nécessaire pour réaliser l'action de maintenance j sur l'élément k du système et par $CIT(j_k)$ le coût intangible (l'impact) de la réalisation de l'action j sur l'élément k du système. Ainsi nous pouvons écrire :

$$CD_{MAIN} = \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=0}^{J_k} [n(j_k) \times Coût(j_k)] = \sum_{k=1}^K \sum_{j_k=0}^{J_k} [n(j_k) \times (CT(j_k) + CIT(j_k))] \dots\dots\dots(4.4)$$

Nous présentons dans ce qui suit les éléments qui permettent d'estimer le coût tangible et le coût intangible des différentes actions de maintenance $j_k \in \{0, \dots, J_k\}$ ensuite nous rattachons ces coûts aux différents éléments composant le système.

4.2.1.1. Estimation et distribution du coût tangible de maintenance

Les ressources de maintenance peuvent être distribuées de plusieurs manières, par exemple selon le type de maintenance (préventive ou corrective), selon les activités de maintenance (inspection, surveillance, révision, etc.), selon l'origine du service de maintenance alloué (interne ou externe), selon le lieu de l'intervention (sur site ou en dehors du site), etc.

La distribution que nous avons adoptée est celle qui rattache les ressources aux activités du sous processus qui les utilisent. Ainsi, les ressources de maintenance seront distribuées selon les sous processus suivants :

- Piloter maintenance
- Planifier Maintenance
- Programmer Maintenance
- Réaliser les interventions de maintenance.

La distribution des ressources de maintenance selon ses sous-processus nous permet de formuler le coût tangible de maintenance comme étant :

$$\text{Coût tangible de maintenance (CT)} = \sum_{k=1}^K [C_{PILO}(k) + C_{PLAN}(k) + C_{PROG}(k) + C_{REAL}(k)] \dots\dots\dots(4.5)$$

où

- $C_{PILO}(k)$: coût de pilotage de maintenance lié à l'élément k
- $C_{PLAN}(k)$: coût de planification de maintenance lié à l'élément k
- $C_{PROG}(k)$: coût de programmation de maintenance lié à l'élément k
- $C_{REAL}(k)$: coût de réalisation de maintenance lié à l'élément k

Pour estimer les coûts des sous processus de pilotage, planification, programmation et réalisation des interventions de maintenance nous proposons d’estimer la consommation (ou l’utilisation) de chaque sous processus de chacune des catégories de ressources : Personnel de maintenance, Matières et pièces, Services généraux, Services d’information, Immobilisations, Fournisseuses externes.

Soit C_{ij} (voir Tableau 4.1) la consommation (ou l’utilisation) de la ressources j par le sous processus i . Tous les coûts C_{ij} peuvent être identifiés, seul l’amortissement des locaux et bâtiment nécessite quelque fois une clé d’attribution. En effet, nous pouvons retrouver par exemple les sous processus : piloter, planifier et programmer regroupés dans un même bâtiment. Dans ce cas nous proposons de distribuer l’amortissement du bâtiment proportionnellement aux superficies occupées par les sous processus.

Tableau 4.1 – Distribution des ressources allouées à la maintenance selon ses sous processus

Ressources/Sous processus	1. Piloter	2. Planifier	3. Programmer	4. Réaliser
1. Frais Personnel	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}
2. Matières et Pièces	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}
3. Services généraux	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}
4. Services d’information	C_{14}	C_{24}	C_{34}	C_{44}
5. Immobilisations	C_{15}	C_{25}	C_{35}	C_{45}
6. Fournisseurs externes	C_{16}	C_{26}	C_{36}	C_{46}
Total	C_{PILO}	C_{PLAN}	C_{PROG}	C_{REAL}

Ensuite, il suffira d’additionner les différentes consommations estimées pour obtenir les coûts C_{PILO} , C_{PLAN} , C_{PROG} et C_{REAL} . Ainsi :

$$C_{PILO} = \sum_{j=1}^6 C_{1j} \dots\dots\dots(4.6)$$

$$C_{PLAN} = \sum_{j=1}^6 C_{2j} \dots\dots\dots(4.7)$$

$$C_{PROG} = \sum_{j=1}^6 C_{3j} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$C_{REAL} = \sum_{j=1}^6 C_{4j} \dots\dots\dots(4.9)$$

En comptabilité analytique, le coût direct est constitué des charges qui, étant propres à un produit ou à une activité, peuvent lui être affectées directement sans discussion ni arbitraire ou qui peuvent lui être rattachées sans ambiguïté même si elles transitent par des sections auxiliaires, dès lors qu’un instrument de mesure permet d’en opérer le décompte. Le coût indirect est constitué des charges qui sont communes à plusieurs produits ou à plusieurs centres d’activités et qui restent indivisibles au niveau de la saisie.

Un coût est traçable si on peut le rattacher par une procédure simple non arbitraire d'affectation directe ou d'imputation vers les différentes opérations. L'impact du passage de la typologie de coût direct/indirect vers celle des coûts traçable/non-traçable, sur la distribution des coûts des différents sous processus, selon les actions de maintenance est résumé par les Tableaux 4.2 et 4.3. Selon Lorino (1997), la distinction entre les coûts tracables et non tracables permet souvent de passer d'une structure composée à 30% de coûts directs et à 70% de coûts indirects à une structure composée à 70% de coûts traçables et à 30% de coûts non traçables.

Tableau 4.2 – Décomposition des coûts de maintenance selon la typologie de coût direct/indirect

Ressources/Sous processus	1. Piloter	2. Planifier	3. Programmer	4. Réaliser
1. Frais Personnel	Indirect	Indirect	Indirect	Direct
2. Matières et Pièces	Indirect	Indirect	Indirect	Direct
3. Services généraux	Indirect	Indirect	Indirect	Indirect
4. Services d'information	Indirect	Indirect	Indirect	Indirect
5. Immobilisations	Indirect	Indirect	Indirect	Indirect
6. Fournisseurs externes	Indirect	Indirect	Indirect	Direct

Tableau 4.3 – Décomposition des coûts de maintenance selon la typologie de coût traçable/non traçable

Ressources/Sous processus	1. Piloter	2. Planifier	3. Programmer	4. Réaliser
1. Frais Personnel	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable
2. Matières et Pièces	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable
3. Services généraux	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable
4. Services d'information	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable
5. Immobilisations	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable
6. Fournisseurs externes	Non traçable	Traçable	Traçable	Traçable

Désormais, la typologie de coût direct/indirect sera substituée par le concept de coût traçable/non traçable, ce qui permettra de maîtriser une part beaucoup plus importantes des coûts.

Nous avons montré dans le chapitre précédent, qu'il y a très peu de travaux consacrés à l'attribution des coûts de maintenance aux différentes interventions de maintenance (Mirghani (2001), Mirghani (2003) et El Aoufir et Bouami (2005)). Ces derniers travaux sont basés sur la méthode ABC qui a été contestée par l'un de ses fondateurs R. Kaplan. Ce dernier rapporte que beaucoup de compagnies ont abandonné l'ABC pour les raisons suivantes (Kaplan and Anderson, 2004) :

- La construction et la maintenance d'un modèle complexe d'ABC demande un temps et un coût énormes.
- La mise à jour d'un modèle complexe d'ABC est très difficile.
- La complexité des opérations réelles ne peut pas être prise en considération facilement par les modèles traditionnels d'ABC.
- L'existence des erreurs de mesure qui mènent vers des informations erronées de coût, par exemple, lors des enquêtes auprès du personnel, peu d'individus rapportent qu'un

pourcentage significatif de leur temps est vacant ou inutilisé. Par conséquent, le système est supposé travailler à pleine capacité, ce qui loin d'être vrai.

Dans l'approche révisée "time-driven ABC", les managers estiment directement les demandes sur les ressources imposées par chaque opération plutôt que d'assigner les coûts de ressource d'abord aux activités et ensuite aux opérations. L'approche time-driven ABC comprend les étapes suivantes (Bruggeman *et al.*, 2005) :

- Identifier les divers groupes de ressources qui exécutent des activités.
- Estimer le coût de chaque groupe de ressource.
- Estimer la capacité pratique de temps de chaque groupe de ressource (c.-à-d. les heures de fonctionnement disponible).
- Calculer le coût unitaire de chaque groupe de ressource en divisant le coût total du groupe de ressource par la capacité pratique.
- Déterminer le temps requis pour chaque événement d'une activité en se basant sur les différents inducteurs de temps.
- Multiplier le coût unitaire par le temps requis pour tracer les coûts aux objets de coût.

Cette méthode sera adoptée pour l'attribution des différents coûts de maintenance à l'intérieur des différents sous processus de maintenance pour aboutir à des résultats sous la forme présentée par le Tableau 4.3 précédent.

Estimation et distribution du CCV lié au pilotage de la maintenance

Le coût de pilotage de maintenance (C_{PILO}) est un coût non traçable, ce qui rend difficile la distribution de ce coût sur les différentes actions de maintenance $j_k \in \{0, \dots, J_k\}$. Mais le classement des éléments du système selon leur degré de criticité est une traduction d'un certain ordre de priorités exprimé par le sous processus de pilotage, alors nous proposons de distribuer le coût C_{PILO} sur les éléments du système d'une manière proportionnelle au degré de criticité de ces derniers. Ainsi le coût de pilotage de maintenance lié à l'élément k est donné par :

$$C_{PILO}(k) = C_{PILO} \times \beta(k) / \left(\sum_{k=1}^K \beta(k) \right) \dots\dots\dots(4.10)$$

où $\beta(k)$ représente le degré de criticité de l'élément k .

Estimation et distribution du CCV lié à la planification de la maintenance

Pour distribuer (C_{PLAN}) sur les différents éléments du système nous utilisons l'approche time-driven ABC proposée par Kaplan and Anderson (2004). Cette méthode sera adoptée aussi pour distribuer les coûts de programmation (C_{PROG}) et une partie du coût de réalisation (C_{REAL}) sur les différents éléments du système.

Pour l'application de l'approche time-driven ABC dans la distribution du coût global du sous processus de planification sur les différents éléments du système, nous proposons de suivre la méthodologie suivante :

- calculer (C_{PLAN}) le coût global du sous processus de planification,
- calculer (H_{PLAN}) la capacité pratique de ce sous processus, par exemple :
Nombres de jours ouvrables×8 heures×60 min×le nombre de groupe de planification×80%
- diviser le coût de ce sous processus par la capacité pratique en minutes, cela donnera le prix d'une minute de la capacité de planification,
- estimer le temps ($T_{PLAN}(j_k)$) en minutes nécessaires pour autoriser et enregistrer un ordre de maintenance dans le cadre d'une action j à réaliser sur l'élément k du système,
- multiplié le prix d'une unité de temps de la capacité pratique de planification par le temps d'autorisation et d'enregistrement d'un ordre de maintenance pour chaque élément du système nécessitant un ordre de maintenance planifié.

Ainsi, le coût ($C_{PLAN(j_k)}$) de planification d'une action de maintenance j nécessaire à l'élément k du système est donné par :

$$C_{PLAN}(j_k) = T_{PLAN}(j_k) \times (C_{PLAN} / H_{PLAN}) \dots \dots \dots (4.11)$$

et le coût ($C_{PROG(k)}$) de programmation correspondant à la maintenance de l'élément k du système est donné par :

$$C_{PLAN}(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} (T_{PLAN}(j_k) \times (C_{PLAN} / H_{PLAN})) \dots \dots \dots (4.12)$$

où

- C_{PLAN} : coût global du sous processus de planification
- H_{PLAN} : capacité pratique de ce sous processus
- $T_{PLAN}(j_k)$: temps nécessaire pour planifier j_k

Estimation et distribution du CCV lié à la programmation de la maintenance

Pour distribuer le coût de programmation de la maintenance sur les équipements on suivra les points suivants :

- Calculer (C_{PROG}) le coût global du sous processus de programmation
- Calculer (H_{PROG}) la capacité pratique du sous processus, par exemple :
Nombres de jours ouvrables×8 heures×60 min×le nombre de groupe de programmation×80%.
- Diviser le coût de ce sous processus par la capacité pratique en minutes, cela donnera le prix d'une unité de temps de la capacité de programmation
- Estimer les temps ($T_{PROG}(j_k)$) nécessaires pour programmer ou reprogrammer un ordre de maintenance autorisé et enregistré dans le cadre d'une action de maintenance j nécessaire à l'élément k du système
- Multiplié le prix d'une unité de temps de la capacité pratique de programmation par le temps de programmation d'un ordre de maintenance autorisé et enregistré pour chaque composant faisant objet d'un ordre de maintenance.

Par conséquent, le coût ($C_{PROG(j_k)}$) de programmation d'une action de maintenance j nécessaire à l'élément k du système est donné par :

$$C_{PROG(j_k)} = T_{PROG(j_k)} \times (C_{PROG} / H_{PROG}) \dots\dots\dots(4.13)$$

et le coût ($C_{PROG(k)}$) de programmation correspondant à la maintenance de l'élément k du système est donné par :

$$C_{PROG(k)} = \sum_{j_k=0}^{J_k} (T_{PROG(j_k)} \times (C_{PROG} / H_{PROG})) \dots\dots\dots(4.14)$$

où

- C_{PROG} : coût global du sous processus de programmation
- H_{PROG} : capacité pratique du sous processus
- $T_{PROG}(j_k)$: temps nécessaires pour programmer ou reprogrammer j_k

Estimation et distribution du CCV lié à la réalisation des travaux de maintenance

A la différence des trois sous processus précédents, les coûts de personnel, les coûts de matières et pièces et les coûts des services extérieurs (respectivement notés par C_{41} , C_{42} , C_{46} dans le Tableau 4.1) peuvent être rattachés aux actions de maintenance d'une manière différente.

Le coût de personnel $C_{41}(j_k)$ pour la réalisation de l'action de maintenance j sur l'élément k du système est calculé en suivant les étapes suivantes :

- relever le temps de travail ($T_{REAL}(j_k)$) nécessaire pour réaliser l'action de maintenance j sur l'élément k du système (par exemple à partir d'un ancien bon de travail)
- calculer ($Tx_l(j_k)$) le prix par minute d'une action de maintenance j réalisée par un corps de métier $l \in \{1, \dots, L\}$ sur l'élément k du système et cela en divisant la somme des salaires du corps de métier l et de toutes les charges de personnel correspondant par le nombre de minutes de travail.
- Si le travail est fait au-delà de la période légale, alors le prix par minute supplémentaire réalisée par le corps de métier l sera égale au prix par minute ($Tx_l(j_k)$) normal (y compris les charges du personnel) multiplié par $(1 + Tx_{maj(l)})$ où $Tx_{maj(l)}$ est le taux de majoration correspondant au corps de métier l .
- multiplier le temps $T_{REAL}(j_k)$ par le prix ($Tx_l(j_k)$).

Ainsi, le coût de personnel $C_{41}(j_k)$ pour la réalisation de l'action de maintenance j sur l'élément k du système est donné par :

$$C_{41}(j_k) = (T_{REAL}(j_k) \times Tx_l(j_k) \times (1 + Tx_{maj(l)} \times X_2(j_k))) \times X_1(j_k) \dots\dots\dots(4.15)$$

Le coût de personnel $C_{41}(k)$ pour la réalisation des travaux de maintenance sur l'élément k du système est donné par :

$$C_{41}(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} \left[T_{REAL}(j_k) \times Tx_1(j_k) \times (1 + Tx_{maj(l)} \times X_2(j_k)) \times X_1(j_k) \right] \dots \dots \dots (4.16)$$

où :

- $T_{REAL}(j_k)$: temps de travail nécessaire pour j_k
- $Tx_1(j_k)$: le prix par unité de temps de l'action j_k réalisée par un corps de métier $l \in \{1, \dots, L\}$
- $Tx_{maj(l)}$ est le taux de majoration correspondant au corps de métier l
- $X_1(j_k) = 1$ si l'action j_k est réalisée par le personnel interne, 0 sinon
- $X_2(j_k) = 1$ si l'action j_k est réalisée pendant des heures supplémentaires, 0 sinon

Le coût de matières consommées ou de pièces utilisées C_{42} (y compris le coût de renouvellement de l'élément k lui-même) est déterminé en rajoutant au prix d'achat (correspondant à la facture d'achat) le coût de passation de commande, le coût de stockage et le coût de gestion des stocks.

Ainsi nous proposons de suivre les étapes suivantes pour estimer $C_{42}(j_k)$: le coût de matière consommée ou de pièce utilisée $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$ par l'action de maintenance j réalisée sur l'élément k du système :

- relever $P(z_{j_k})$ le prix d'achat de la matière/pièce $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$
- diviser le coût global de passation de commande (C_{COM}), par le nombre de minutes de travail du personnel habilité à passer des commandes d'achat (H_{COM}), ce qui donnera le coût de passation de commande par minute,
- ensuite multiplier ce coût unitaire par le temps ($T_{COM}(z_{j_k})$) nécessaire pour passer la commande de la matière/pièce z_{j_k}
- diviser le coût global de stockage (C_{STOC}) par l'espace total de stockage (S_{STOC}) ensuite par (T_{base}) la période considérée comme base de calcul en minutes, ce qui donnera le coût de stockage par m² et par minute, ce dernier sera multiplié par l'espace réservé à la matière ($S(z_{j_k})$) ou la pièce en question ensuite par la période restée dans le magasin ($T_{STOC}(z_{j_k})$) pour obtenir le coût de stockage de la matière/pièce z_{j_k} .
- diviser le coût global de management des magasins et entrepôts (C_{GSTO}) par le nombre de minutes de travail du personnel correspondant (H_{GSTO}). Ce qui donnera le coût de management des entrepôts par minute. Pour tracer le coût de management du stockage de la matière/pièce $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$ vers l'action de maintenance j réalisée sur l'élément k du système, il faut multiplier le temps ($T_{STOC}(z_{j_k})$) resté dans l'entrepôt par la matière/pièce z_{j_k} par le coût de management des entrepôts par minute.
- prendre en considération le taux dépréciation ($Tx_{Dépr}(z_{j_k})$) de la matière/pièce z_{j_k}

En conséquence $C_{42}(j_k)$: le coût de matière/pièce nécessaire pour réaliser l'action de maintenance j sur l'élément k du système est donné par :

$$C_{42}(j_k) = P(z_{j_k}) + T_{COM}(z_{j_k}) \times (C_{COM} / H_{COM}) + T_{STOC}(z_{j_k}) \times S(z_{j_k}) \times (C_{STOC} / (S_{STOC} \times T_{base})) + T_{STOC}(z_{j_k}) \times (C_{GSTO} / H_{GSTO}) + P(z_{j_k}) \times (1 + Tx_{Dépr}(z_{j_k})) \times T_{STOC}(z_{j_k}) \dots \dots \dots (4.17)$$

Ainsi le coût de matière/pièce nécessaire pour maintenir l'élément k du système ($C_{42}(k)$) est est donné par :

$$C_{42}(j_k) = \sum_{j_k} [P(z_{j_k}) + T_{COM}(z_{j_k}) \times (C_{COM} / H_{COM}) + T_{STOC}(z_{j_k}) \times S(z_{j_k}) \times (C_{STOC} / (S_{STOC} \times T_{base})) + T_{STOC}(z_{j_k}) \times (C_{GSTO} / H_{GSTO}) + P(z_{j_k}) \times (1 + Tx_{Dépr}(z_{j_k})) \times T_{STOC}(z_{j_k})] \dots \dots \dots (4.18)$$

où :

- $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$: identifiant de matière consommée ou pièce utilisée par j_k
- $P(z_{j_k})$: prix d'achat de la matière/pièce $z_{j_k} \in \{1, \dots, Z_{j_k}\}$
- C_{COM} : coût global de passation de commande
- H_{COM} : Capacité de travail du personnel habilité à passer des commandes d'achat
- $T_{COM}(z_{j_k})$: temps nécessaire pour passer la commande de la matière/pièce z_{j_k}
- C_{STOC} : coût global de stockage
- S_{STOC} : espace total de stockage
- T_{base} : période considérée comme base de calcul
- $S(z_{j_k})$: espace réservé à par la matière/pièce z_{j_k}
- $T_{STOC}(z_{j_k})$: période passée dans le magasin par la matière/pièce z_{j_k}
- C_{GSTO} : coût global de gestion des magasins et entrepôts
- H_{GSTO} : capacité de travail du personnel gérant les magasins et entrepôts
- $Tx_{Dépr}(z_{j_k})$: taux dépréciation de la matière/pièce z_{j_k}

Le coût du service extérieur C_{46} est connu :

- sur la base de la facture de prestation de service, s'il s'agit d'une commande ponctuelle, dans ce cas le coût de prestation extérieur de la réalisation de l'action de maintenance j sur l'élément k du système sera noté $C_{PIND}(j_k)$
- à partir du contrat de maintenance dans le cas d'un contrat annuel de fourniture de service, il faudra multiplier $T_{REAL}(j_k)$ le temps de réalisation de l'action j sur l'élément k par le rapport entre le montant C_{CONT} du contrat de maintenance et la période du contrat T_{CONT} .

Le coût de service externe lié à la réalisation de l'action de maintenance j sur l'élément k du système est donné par :

$$C_{46}(j_k) = C_{PIND}(j_k) \times X_3(j_k) + T_{REAL}(j_k) \times (C_{CONT} / T_{CONT}) \times (1 - X_3(j_k)) \times (1 - X_1(j_k)) \dots \dots \dots (4.19)$$

et le coût de service externe lié à la réalisation des tâches de maintenance de l'élément k du système est donné par :

$$C_{46}(k) = \sum_{j_k}^{J_k} [C_{PIND}(j_k) \times X_3(j_k) + T_{REAL}(j_k) \times (C_{CONT}/T_{CONT}) \times (1 - X_3(j_k)) \times (1 - X_1(j_k))] \dots\dots\dots(4.20)$$

où :

- $X_1(j_k) = 1$ si l'action j_k est réalisée par le personnel interne, 0 sinon
- $X_3(j_k) = 1$ si l'action j_k est réalisée selon une commande individuelle, 0 s'il s'agit d'un contrat annuel
- $C_{PIND}(j_k)$: coût d'une prestation extérieure individuelle pour réaliser l'action j_k
- $T_{REAL}(j_k)$: temps de réalisation de l'action j_k
- C_{CONT} : montant du contrat de maintenance
- T_{CONT} : période du contrat

Pour les autres coûts ($C_{43}+C_{44}+C_{45}$) du Tableau 4.1 nous suivons la même méthode que celle adoptée pour les sous processus de pilotage, planification et programmation, c'est-à-dire :

- identifier les coûts restants (C_{43}, C_{44}, C_{45}), il faut signaler à ce niveau que l'identification de l'amortissement des locaux, ateliers et bâtiment alloué au processus de réalisation se fait par la même méthode que celle adoptée pour les sous processus précédents
- calculer la capacité pratique de réalisation H_{REAL}
- diviser le coût ($C_{43}+C_{44}+C_{45}$) par la capacité pratique H_{REAL} ce qui donnera le prix d'une unité de temps de la capacité de réalisation des travaux de maintenance (à l'exception des frais de personnel et des coûts de matières et pièces)
- multiplier le temps d'une intervention $T_{réal}(j_k)$ par le prix d'une unité de temps de la capacité

Ainsi la distribution des coûts (C_{43}, C_{44}, C_{45}) sur les actions de maintenance est donnée par :

$$C_{43}(j_k) + C_{44}(j_k) + C_{45}(j_k) = T_{REAL}(j_k) \times ((C_{43} + C_{44} + C_{45}) / H_{REAL}) \dots\dots\dots(4.21)$$

et la distribution de ces coûts (C_{43}, C_{44}, C_{45}) sur les éléments du système est donnée par :

$$C_{43}(k) + C_{44}(k) + C_{45}(k) = \sum_{j_k}^{J_k} [T_{REAL}(j_k) \times ((C_{43} + C_{44} + C_{45}) / H_{REAL})] \dots\dots\dots(4.22)$$

où H_{REAL} représente la capacité pratique du processus de réalisation.

Etant donné ce qui précède, le coût du sous processus de réalisation de la maintenance de l'élément k est donné par :

$$C_{REAL}(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} (C_{41}(j_k) + C_{42}(j_k) + C_{43}(j_k) + C_{44}(j_k) + C_{45}(j_k) + C_{46}(j_k)) \dots\dots\dots(4.23)$$

4.2.1.2. Estimation et distribution du coût intangible de maintenance

Le coût intangible de la maintenance (*CIT*) traduit l'impact de l'état de fonctionnement du processus de maintenance sur la production ou l'exploitation (*CIT*₁), la qualité (*CIT*₂) et l'environnement (*CIT*₃). Dans chaque type d'impact, nous donnons une estimation du coût intangible de maintenance engendré par l'action de maintenance j_k pour déduire par la suite le coût intangible lié à chaque élément k du système. Nous obtenons ainsi :

$$\text{Coût intangible de maintenance (CIT)} = \sum_{k=1}^K [CIT_1(k) + CIT_2(k) + CIT_3(k)] \dots\dots\dots(4.24)$$

Impact de la maintenance sur la production ou l'exploitation

L'impact de l'action de maintenance j_k sur la production ou l'exploitation du système sera mesuré par la somme de :

- $C_{OPP}(j_k)$: coût d'opportunité (manque à gagner ou production non réalisée)
- $C_{EXP}(j_k)$: coût d'exploitation engagé sans aucune contrepartie (frais de personnel, services et immobilisations)
- $C_{RET}(j_k)$: pénalités de retard de livraison des produits causé par le temps d'indisponibilité.

Le coût d'opportunité $C_{OPP}(j_k)$ suite à l'état d'indisponibilité du système causée par l'action de maintenance j_k est estimé par :

$$C_{OPP}(j_k) = C_{OPPU} \times T_{INDIS}(j_k) \times \alpha(k) \dots\dots\dots(4.25)$$

Le coût d'exploitation $C_{EXP}(j_k)$ engagé sans aucune contrepartie dû à l'action de maintenance j_k est donné par l'expression :

$$C_{EXP}(j_k) = T_{INDIS}(j_k) \times (C_{EXP} / H_{EXPL}) \times \alpha(k) \dots\dots\dots(4.26)$$

La pénalité de retard $C_{RET}(j_k)$ de livraison des produits causé par l'action de maintenance j sur l'élément du système k est estimée par :

$$C_{RET}(j_k) = T_{INDIS}(j_k) \times C_{RETU}(k) \dots\dots\dots(4.27)$$

où :

- C_{OPPU} : coût d'opportunité unitaire (par exemple le chiffre d'affaires par unité de temps)
- $T_{INDIS}(j_k)$: temps requis alors que le système est en état d'indisponibilité dû à la maintenance
- $\alpha(k) \in [0, 1]$: pourcentage de la production perdue suite à l'indisponibilité de l'élément k
- C_{EXP} : coût d'exploitation du système (le coût de matière n'est pas compris)

- H_{EXPL} : capacité pratique d'exploitation
- $C_{RETU}(k)$ représente le prix d'une unité de temps de retard dans la livraison à cause de l'indisponibilité de l'élément k du système.

Donc, le coût intangible lié à la production causé par le travail de maintenance sur l'élément k est donné par l'expression :

$$CIT_I(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} (C_{OPP}(j_k) + C_{EXP}(j_k) + C_{RET}(j_k)) \dots\dots\dots(4.28)$$

Impact de la maintenance sur la qualité

L'impact de la maintenance sur la qualité sera mesuré par la somme de :

- $C_{OPPO}(j_k)$: coût d'opportunité (production rejetée ou manque à gagner)
- $C_{EXPQ}(j_k)$: coût d'exploitation (y compris les coûts de matières) pour produire des rebuts
- $C_{RETQ}(j_k)$: pénalités de retard à la livraison des produits (si le temps d'essai ou de redémarrage cause des pénalités de retard).

Le coût d'opportunité $C_{OPPO}(j_k)$ engendré par l'essai ou le redémarrage du système après la réalisation de l'action de maintenance j sur l'élément du système k est estimé par :

$$C_{OPPO}(j_k) = C_{OPPU} \times T_{ESSAI}(j_k) \times \alpha(k) \dots\dots\dots(4.29)$$

Le coût d'exploitation $C_{EXPQ}(j_k)$ engagé dans l'essai ou le redémarrage du système après la réalisation de j_k est estimé par :

$$C_{EXPQ}(j_k) = T_{ESSAI}(j_k) \times (C_{EXPQ} / H_{EXPL}) \times \alpha(k) \dots\dots\dots(4.30)$$

La pénalité de retard $C_{RETQ}(j_k)$ engendré par l'essai ou le redémarrage du système après la réalisation de l'action j_k est estimée par :

$$C_{RETQ}(j_k) = T_{ESSAI}(j_k) \times C_{RETU}(k) \dots\dots\dots(4.31)$$

où :

- $T_{ESSAI}(j_k)$ représente le temps d'essai ou de redémarrage après la réalisation de j_k
- C_{EXPQ} représente le coût de production ou d'exploitation (y compris le coût de matière consommée par le processus d'exploitation)

Le coût intangible lié à la qualité causé par le travail de maintenance sur l'élément k peut être donné par l'expression :

$$CIT_2(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} (C_{OPPO}(j_k) + C_{EXPQ}(j_k) + C_{RETO}(j_k)) \dots \dots \dots (4.32)$$

Impact de la maintenance sur le l'environnement

Dans ce qui précède, nous avons signalé qu'une maintenance inefficace peut engendrer des rebuts. Le coût de traitement de ces rebuts peut être estimé comme étant une proportion du coût de la matière perdue. Pour évaluer l'effet de la maintenance lié à l'environnement nous proposons de :

- identifier les pertes et les émissions (non produits) $r_{j_k} \in \{0,1, \dots, R_{j_k}\}$ qui peuvent être engendrés par l'action de maintenance j réalisée sur l'élément k du système ;
- estimer les frais de traitement nécessaire pour l'élimination de r_{j_k} sous la forme d'un pourcentage $\lambda(r_{j_k})$ du coût d'exploitation C_{EXPQ}

Le coût intangible lié à l'environnement qui peut être engendré par la maintenance réalisée sur l'élément k du système peut être exprimé comme suit :

$$CIT_3(k) = \sum_{j_k=0}^{J_k} \sum_{r_{j_k}=1}^{R_{j_k}} (\lambda(r_{j_k}) \times C_{EXPQ}) \dots \dots \dots (4.33)$$

Le Tableau 4.4 récapitule les différents postes de coût de maintenance pour lesquels nous avons proposé une distribution sur les éléments qui forment le système. Cette décomposition est très utile pour construire un outil de mesure de performance de la maintenance.

Tableau 4.4 – Les postes du coût direct de maintenance

	Piloter	Planifier	Programmer	Réaliser	Coût Tangible	Exploitation	Qualité	Environnement	Coût Intangible
...									
Elément k									
...									
Total									

4.2.2. Estimation du coût indirect de la maintenance

Dans l'estimation du coût direct de la maintenance, nous avons supposé que les actions de maintenance sont connues au préalable. Cela n'est pas vérifié dans l'estimation du coût indirect. C'est-à-dire qu'il est nécessaire de déterminer d'abord les actions de maintenance qui pourront être réalisées en dehors des plans tracés pour maintenir le système, pour pouvoir ensuite estimer le coût indirect de maintenance.

Nous proposons de construire un outil pour estimer le coût indirect de la maintenance, en adoptant les étapes suivantes :

1. déterminer la durée du cycle de vie du système
2. identifier les éléments stratégiques du système à maintenir $k \in \{1, \dots, K\}$
3. identifier, pour chaque élément k , les modes de défaillances potentielles d_k
4. identifier, pour chaque mode de défaillance, les scénarios de défaillance possibles extrêmes $s_{d_k} (\forall s'_{d_k} \neq s_{d_k} : \text{Probabilité} [s_{d_k} \cap s'_{d_k}] = 0)$ qui ne sont pas pris en charge par le plan de maintenance
5. pour chaque scénario de défaillance possible s_{d_k} non pris en charge par le plan de maintenance du système :
 - a. estimer le nombre d'occurrence $n(s_{d_k})$ pour toute la durée du cycle de vie du système (exemple : 2 fois pendant 50 ans)
 - b. identifier l'effet final
 - c. choisir les actions de maintenance correctives $i(s_{d_k})$ dans le cas où le scénario de défaillance se réaliserait
 - d. calculer le coût tangible $CT[i(s_{d_k})]$ et le coût intangible $CIT[i(s_{d_k})]$ de l'action $i(s_{d_k})$ tel que nous l'avons fait pour le coût direct
 - e. calculer le coût de maintenance correspondant à la réalisation du scénario de défaillance s_{d_k} pour tout le cycle de vie du système

$$\text{Coût}(s_{d_k}) = \sum_i (n_i \times [CT(i(s_{d_k})) + CIT(i(s_{d_k}))]) \dots\dots\dots(4.34)$$

6. calculer le coût indirect de la maintenance
 - a. dû à la défaillance $d_k : \sum_s \text{Coût}(s_{d_k})$
 - b. dû la défaillance de l'élément $k : \sum_d \sum_s \text{Coût}(s_{d_k})$
 - c. dû à la défaillance des éléments du système $\sum_{k=1}^K \sum_d \sum_s \text{Coût}(s_{d_k})$

Toutes ces informations doivent être rassemblées dans un seul support comme le montre le Tableau 4.5. Ce Tableau, nous donne une estimation du coût indirect de la maintenance selon le coût tangible et le coût intangible dû à l'occurrence des scénarios de défaillance exclusifs (pour éviter le double compte des coûts) qui ne sont pas pris en compte par les plans choisis pour maintenir le système durant son cycle de vie.

Tableau 4.5 – Calcul du coût indirect de maintenance

Système	Liste des défaillances	Scénario	Résultat final	Actions correctives	Nombre d'occurrence de l'action	Coût tangible	Coût intangible	Coût de l'action corrective	Coût du scénario	Coût de défaillance
...										
Élément k										
...										
Total Élément k										Coût de défaillance de l'élément k
...										
Total Système										Coût indirect Total

Nous supposons que tout scénario de défaillance qui peut engendrer un danger sur la sécurité des biens et des individus est régi par des mesures strictes de sécurités qui tendent à éliminer tous les risques majeurs. C'est pour cette raison que nous n'avons pas pris en considération l'impact sur la santé et la sécurité dans l'évaluation du coût direct et du coût indirect de la maintenance.

L'estimation du coût global de la maintenance (C_{MAIN}) telle que nous l'avons présentée permet au manager de la maintenance d'identifier les éléments critiques qui peuvent avoir un effet significatif sur le CCV et de proposer sur leur base un plan d'amélioration.

4.3. Processus d'amélioration de fonction maintenance

Pour l'utilisateur du système, les coûts engendrés ou susceptibles d'être engendrés pendant tout le cycle de vie de ce système sont le coût d'investissement (C_{INV}), le coût de l'exploitation (C_{EXP}), le coût de maintenance (C_{MAIN}) et le coût d'élimination du système (C_{ELI}). Ainsi, le CCV estimé à l'instant t (CCV_t) peut s'écrire :

$$CCV_t = C_{INV_t} + C_{EXP_t} + C_{MAIN_t} + C_{ELI_t} \dots\dots\dots(4.35)$$

En remplaçant le coût de maintenance par ses deux composantes, CCV_t devient :

$$CCV_t = C_{INV_t} + C_{EXP_t} + CD_{MAIN_t} + CID_{MAIN_t} + C_{ELI_t} \dots\dots\dots(4.36)$$

Selon le principe de l'actualisation monétaire, il est nécessaire de :

- fixer un taux d'actualisation approprié θ
- fixer une période initiale pour les calculs t_0 (par exemple la date d'acquisition du système)
- multiplier tous les flux monétaires futurs (les coûts engendrés après l'acquisition du système) de l'année t par le taux d'actualisation correspondant $1/(1+\theta)^t$

Pour alléger la notation, nous supposons que tous les flux monétaires sont actualisés et nous notons CCV , C_{INV} , C_{EXP} , CD_{MAIN} , CID_{MAIN} et C_{ELI} au lieu de CCV_t , C_{INV_t} , C_{EXP_t} , CD_{MAIN_t} , CID_{MAIN_t} et C_{ELI_t} respectivement.

L'amélioration de la fonction maintenance, selon l'approche du CCV , ne peut se faire que dans le cadre de l'amélioration de la performance globale du système. C'est-à-dire que toute amélioration d'un des éléments constituant la fonction de la maintenance n'est significative que dans le cas où elle se traduirait par une diminution du (CCV) du système.

Comme nous avons montré précédemment que le coût indirect de maintenance (CID_{MAIN}) est une conséquence du coût direct de maintenance (CD_{MAIN}), alors il convient d'agir sur les variables principales qui déterminent le niveau du coût direct de maintenance (CD_{MAIN}) pour faire diminuer (CCV). Ainsi tout effort d'amélioration dans le fonctionnement du processus de maintenance doit se traduire par une variation dans le coût direct de maintenance (CD_{MAIN}). Supposons que le manager de maintenance a engagé un effort pour améliorer le processus de maintenance. Supposons aussi que cet effort a engendré une nouvelle valeur du coût direct de maintenance égale à ($CD_{MAIN} + \tau, \tau \in \mathfrak{R}$) et a engendré aussi des variations $\omega, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ et ε_4 respectivement dans les coûts C_{INV} , C_{EXP} , CID_{MAIN} et C_{ELI} . Nous pouvons, alors écrire :

$$CCV + \omega = (C_{INV} + \varepsilon_1) + (C_{EXP} + \varepsilon_2) + (CD_{MAIN} + \tau) + (CID_{MAIN} + \varepsilon_3) + (C_{ELI} + \varepsilon_4)$$

$$(\tau, \omega, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4) \in \mathfrak{R}^6 \dots\dots\dots(4.37)$$

Le changement survenu dans le processus de maintenance n'est considéré comme étant une amélioration que dans le cas où ω est négatif. Donc, l'amélioration du processus de maintenance ne se fait pas d'une manière individuelle mais en considérant le CCV du système entier. En effet l'objectif est de minimiser CCV au lieu de minimiser C_{MAIN} .

Nous proposons d'utiliser la décomposition que nous avons présentée précédemment pour identifier les éléments critiques dans le processus de maintenance qui ont un impact important sur le CCV . Les éléments critiques du processus maintenance avec ceux du processus d'exploitation constituent la base pour tracer un plan d'amélioration de la performance du système dont la maintenance fait partie.

Pour aboutir à une meilleure utilisation du CCV comme un outil d'amélioration de la performance globale du système, nous proposons à la fonction chargée d'améliorer le système de suivre d'une manière continue les étapes suivantes pour que l'effort d'amélioration soit dirigé vers les zones d'amélioration les plus critiques.

4.3.1. Etape n° 1 : Estimation du CCV

Evaluer la situation actuelle et estimer le niveau du CCV CCV sur la base des données historiques et des données transmises par les processus d'exploitation et de maintenance. A ce niveau, un certain nombre de remarques est à faire :

- Il est préférable de retenir un intervalle de variation de CCV pour traduire la performance actuelle du système $[CCV - \Delta CCV, CCV + \Delta CCV]$. De cette manière nous obtenons aussi, des intervalles de variation pour les autres composantes de CCV : $[C_{INV} - \Delta C_{INV}, C_{INV} + \Delta C_{INV}]$, $[C_{EXP} - \Delta C_{EXP}, C_{EXP} + \Delta C_{EXP}]$, $[CD_{MAIN} - \Delta CD_{MAIN}, CD_{MAIN} + \Delta CD_{MAIN}]$, $[CID_{MAIN} - \Delta CID_{MAIN}, CID_{MAIN} + \Delta C_{MAIN}]$ et $[C_{ELI} - \Delta C_{ELI}, C_{ELI} + \Delta C_{ELI}]$
- L'estimation de C_{INV} sera basée sur le coût d'acquisition initiale et les plans d'investissement réalisés ou futurs.
- Le coût des travaux de modification et d'amélioration impliquant la modification de la fonction requise du système sera intégré dans la détermination de C_{INV}
- Le coût des investissements qui sont ou seront destinés au processus de maintenance (par exemple le coût d'acquisition des équipements en vue de mettre en place une cellule d'analyse vibratoire des équipements) sera intégré dans le calcul de CD_{MAIN} . Ceci est de nature à empêcher un double compte et de permettre une meilleure affectation des coûts.
- L'estimation de CD_{EXP} ne prend pas en considération le coût des matières et fournitures qui rentrent dans la constitution des produits finis du processus de production (ou exploitation).

4.3.2. Etape n° 2 : Identifier les éléments critiques dans la détermination du CCV

L'analyse de sensibilité et l'analyse du risque peuvent être d'une grande utilité pour aider à identifier les variables (les éléments ou les activités) dont l'effet de diminution ou d'augmentation sur le CCV est important.

Cette étape est d'une importance primordiale dans le processus d'amélioration de la performance du système étant donné qu'elle répondra aux questions suivantes :

- *Où est ce qu'il faut concentrer les efforts d'améliorations ?* Les éléments ou les activités qui bénéficient d'un effet de levier positif (variables à effet d'amélioration significatif) pour gagner plus de points de performance
- *Où est ce qu'il faut concentrer les efforts de surveillance ?* Les éléments ou les activités qui limitent la capacité à atteindre l'objectif tracé (variables à hauts risques) pour pouvoir les corriger à temps
- *Où est ce qu'il n'est pas pertinent de porter trop d'efforts ?* Les éléments ou les activités dont les améliorations n'apporteront pas de gains significatifs en termes de diminution du CCV .

Pour le processus de maintenance, les éléments critiques dans la détermination du CCV seront identifiés parmi les variables principales de CD_{MAIN} :

- les éléments du système $k \in \{1, \dots, K\}$
- les actions du plan de maintenance $j_k \in \{0, 1, \dots, J_k\}$ et
- la fréquence de ces actions $n(j_k)$

L'utilisation des Tableaux 4.4 et 4.5 seront très utiles pour mesurer l'effet des éléments critiques de la maintenance sur le CCV CCV .

4.3.3. Etape n° 3 : Tracer un plan d'amélioration de la performance du système

Ce plan comportera des actions ou des activités concernant le processus d'exploitation et d'autres concernant le processus de maintenance. Toutes ces actions ou activités seront basés sur les éléments critiques déterminés à l'étape précédente. Il s'agira, par exemple de surveiller davantage les éléments qui peuvent augmenter sensiblement *CCV* ou de soutenir les éléments qui peuvent le faire diminuer significativement, etc.

Après la détermination, dans l'étape n° 2, des éléments ou des actions critiques et sur la base de la distribution des coûts tangibles et intangibles de maintenance que nous avons présentée précédemment, le plan d'amélioration de la maintenance peut préconiser :

- de modifier à long terme (plus d'une année) certaines variables : C_{PLAN} ; C_{PROG} ; C_{COM} ; C_{STOC} ; C_{OPPU} ; C_{EXP} ; C_{EXPQ} ; C_{GSTO} ; H_{PLAN} ; H_{PROG} ; H_{COM} ; H_{GSTO} ; H_{REAL} ; H_{EXPL} ; S_{STOC} ; $S(z_{jk})$; $Tx_l(j_k)$; $Tx_{maj}(l)$; $X_{1 j_k}$; $X_{2 j_k}$; $X_{3 j_k}$
- d'améliorer à court terme (moins d'une année) d'autres variables : $T_{PLAN}(j_k)$; $T_{PROG}(j_k)$; $T_{REAL}(j_k)$; $T_{COM}(z_{jk})$; T_{base} ; $T_{STOC}(z_{jk})$; $T_{REAL}(j_k)$; T_{CONT} ; $T_{INDIS}(j_k)$; $T_{ESSAI}(j_k)$
- d'améliorer les taux d'utilisation des capacités des sous processus de maintenance.

La décomposition des coûts de maintenance que nous avons adoptée permet de montrer les capacités inutilisées des sous processus de planification, de programmation et de réalisation des travaux de maintenance pour pouvoir améliorer l'efficacité de ces sous processus. Supposons que P_1 , P_2 et P_3 soient les coûts d'une unité de temps des sous processus de planification, programmation et de réalisation respectivement.

$$P_1 = (C_{PLAN} / H_{PLAN}) \dots\dots\dots(4.38)$$

$$P_2 = (C_{PROG} / H_{PROG}) \dots\dots\dots(4.39)$$

$$P_3 = (C_{REAL} / H_{REAL}) \dots\dots\dots(4.40)$$

Dans chaque sous processus, un certain nombre d'activités doit être réalisé. Le temps de réalisation de chaque activité doit être déterminé. Supposons que (t_1, t_2, \dots, t_m) , $(t_1, t_2, \dots, t_{m'})$ et $(t_1, t_2, \dots, t_{m''})$ sont les temps pour exécuter les m , m' et m'' activités des sous processus de planification, de programmation et de réalisation respectivement. Nous proposons de mesurer les capacités inutilisées de chaque sous processus, en utilisant les formules suivantes basées sur l'approche Time-Driven ABC :

$$\text{Capacité inutilisée du sous processus de planification} = (1 - \frac{\sum_{i=1}^m (t_i \times P_1)}{C_{PLAN}}) \times 100\% \dots\dots\dots(4.41)$$

$$\text{Capacité inutilisée du sous processus de programmation} = (1 - \frac{\sum_{i=1}^{m'} (t_i \times P_2)}{C_{PROG}}) \times 100\% \dots\dots\dots(4.42)$$

$$\text{Capacité inutilisée du sous processus de réalisation} = (1 - \frac{\sum_{i=1}^{m''} (t_i \times P_3)}{C_{REAL}}) \times 100\% \dots\dots\dots(4.43)$$

4.3.4. Etape n° 4 : Estimer ou mettre à jour le "CCV minimum" (CCV*)

En ayant tracé le plan d'amélioration de la performance du système, il est nécessaire d'estimer l'impact de ce plan sur le CCV. Cela signifie qu'il est nécessaire d'estimer ou de mettre à jour le "CCV minimum" (CCV*) qui peut être atteint en réalisant le plan retenu pour l'amélioration de la performance du système selon les informations disponibles et en tenant compte de tous les objectifs et les contraintes du système. De la même manière, il y a lieu de déterminer les autres rubriques de coût à savoir : C_{INV}^* , CD_{EXP}^* , CID_{EXP}^* , CD_{MAIN}^* , CID_{MAIN}^* et C_{ELI}^* .

L'estimation du CCV ciblé par le plan d'amélioration doit se faire sous forme d'intervalle pour le système complet [$CCV^* - \Delta CCV^*$, $CCV^* + \Delta CCV^*$], aussi bien que pour les autres rubriques de coût : [$C_{INV}^* - \Delta C_{INV}^*$, $C_{INV}^* + \Delta C_{INV}^*$], [$C_{EXP}^* - \Delta C_{EXP}^*$, $C_{EXP}^* + \Delta C_{EXP}^*$], [$CD_{MAIN}^* - \Delta CD_{MAIN}^*$, $CD_{MAIN}^* + \Delta CD_{MAIN}^*$], [$CID_{MAIN}^* - \Delta CID_{MAIN}^*$, $CID_{MAIN}^* + \Delta C_{MAIN}^*$] et [$C_{ELI}^* - \Delta C_{ELI}^*$, $C_{ELI}^* + \Delta C_{ELI}^*$]

4.3.5. Etape n° 5 : Réaliser le plan d'amélioration et suivre les éléments critiques

Dans cette étape, le plan d'amélioration sera concrétisé, les paramètres seront surveillés et l'évolution du CCV sera suivie. En effet tout changement significatif dans la valeur d'un des éléments critiques identifiés précédemment (du processus d'exploitation ou de maintenance) nécessitera de mettre à jour l'estimation de CCV, supposons que $CCV\checkmark$ est le nouveau CCV obtenu suite cette variation.

Dans cette étape, six cas de figures peuvent se présenter à ce niveau :

Cas 1 : Si $CCV\checkmark \in [CCV - \Delta CCV, CCV + \Delta CCV]$ et la période du plan n'est pas encore terminée alors il faudra recommencer l'étape n° 5.

C'est le statu quo, le système est dans l'état où il en était auparavant. Le plan d'amélioration continue pour toute la durée qui lui été assigné.

Cas 2 : Si $CCV\checkmark \in [CCV - \Delta CCV, CCV + \Delta CCV]$ et la période du plan est achevée alors il faudra aller à l'étape n° 2.

Si la situation de stagnation demeure jusqu'à l'achèvement de la période tracée pour le plan d'amélioration, alors il faut réviser tous les éléments de ce dernier plan et recommencer à partir de l'étape n° 2.

Cas 3 : Si $CCV\checkmark > (CCV + \Delta CCV)$ alors il est nécessaire d'aller à l'étape n° 2.

La situation s'est détériorée, il est nécessaire d'apporter les corrections nécessaires et de réamorcer le processus d'amélioration à partir de l'étape n° 2.

Cas 4 : Si $(CCV^* + \Delta CCV^*) < CCV\checkmark < (CCV - \Delta CCV)$ et la période du plan n'est pas terminée alors il est important de recommencer l'étape n° 5.

Il y a une nette amélioration dans la performance du système et le plan d'amélioration continue d'être lancé pour toute la durée qui lui été assigné.

Cas 5 : Si $(CCV^* + \Delta CCV^*) < CCV\checkmark < (CCV - \Delta CCV)$ et la période du plan est achevée alors il faudra aller à l'étape n° 2.

Il y a une nette amélioration dans la performance du système, mais l'objectif du plan d'amélioration n'a pas été atteint, alors il faut reprendre dès l'étape n° 2.

Cas 6 : Si $CCV\checkmark \in [CCV^* - \Delta CCV^*, CCV^* + \Delta CCV^*]$ alors il faudra aller à l'étape n° 1.

Le plan d'amélioration a atteint son objectif. Etant donné que le système est appelé à s'améliorer continuellement, alors il faut reprendre le processus d'amélioration à partir de l'étape n° 1.

Les étapes précédentes sont récapitulées dans la Figure 4.14.

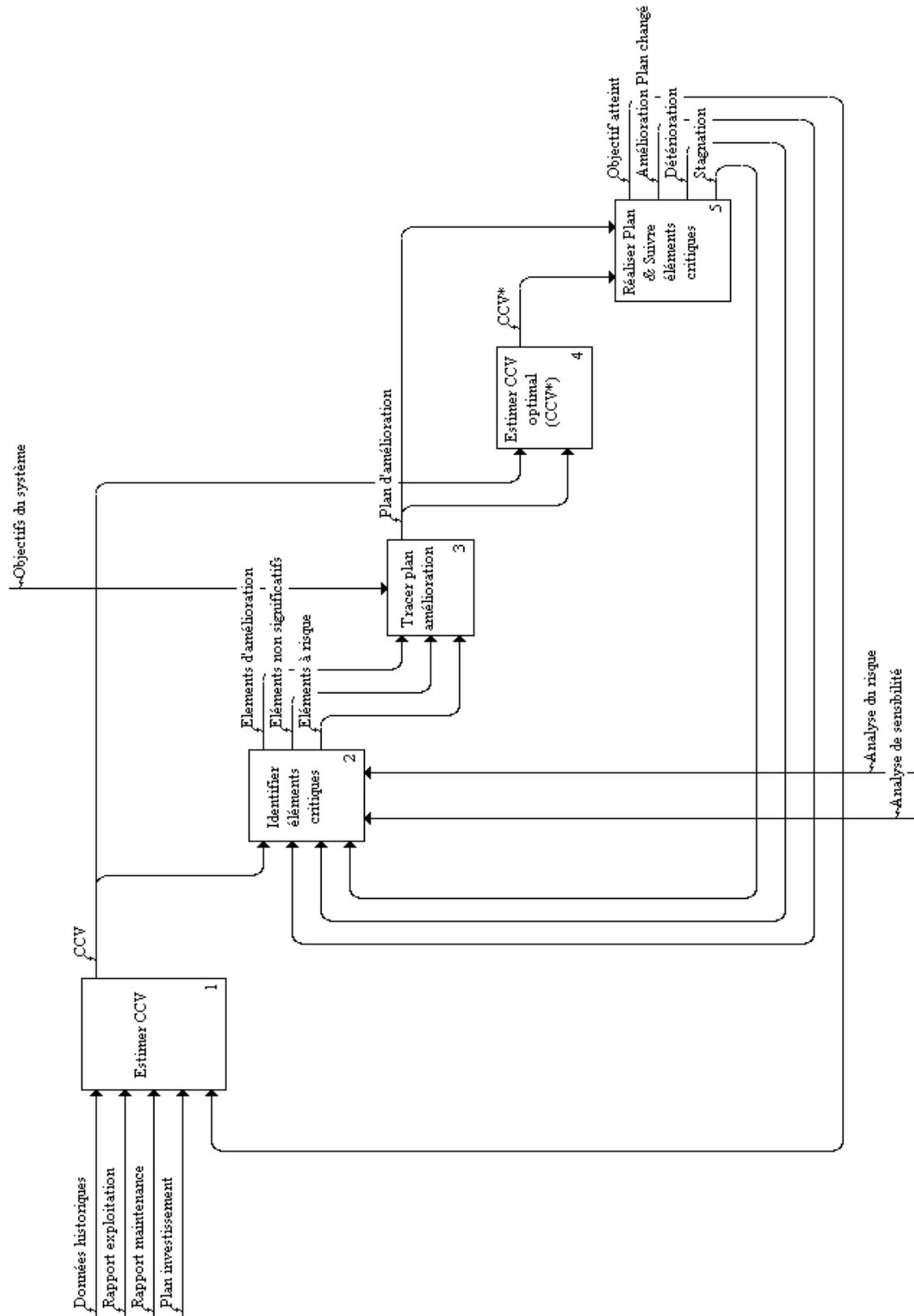


Figure 4.14 – Processus d'amélioration continue de la fonction maintenance

Pour aboutir vers une meilleure utilisation du *CCV* comme un outil d'amélioration de la performance globale du système, il est nécessaire que la fonction chargée d'améliorer le système veille à :

- maintenir un meilleur niveau de coopération avec le processus d'exploitation et le processus de maintenance du système
- mettre à jour le calcul du *CCV* sur la base des données réelles transmises par le processus d'exploitation et le processus de maintenance
- mettre en évidence les éléments dont l'effet de diminution ou d'augmentation est le plus important sur le *CCV*
- mettre en place un plan d'action pour réaliser le meilleur (*CCV**) possible.
- suivre et analyser l'évolution du *CCV*
- soulever au manager tout écart ($CCV_t - CCV^*$) négatif (amélioration) ou positif (détérioration) dans l'évolution du *CCV*. Si cet écart est négatif il faut vérifier que cela correspond réellement à la réalisation du plan d'action déjà tracé. Par contre si cet écart est positif alors le management intervient pour apporter les améliorations nécessaires à travers l'amélioration du plan d'action ou la mise en place d'un nouveau. Ces écarts peuvent être présentés au manager sous la forme présentée par le Tableau 4.6.

Tableau 4.6 – Ecart dans l'évolution *CCV*

	Investissement	Exploitation	Maintenance	Environnement			Elimination	Total
				Exploitation	Maintenance	Autres		
Système 1	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -
Système 2	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -
...								
Total	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -	+ ou -

Dans le dernier Tableau, le coût lié à l'environnement est relié aux processus d'exploitation et de maintenance parce que ce coût peut être expliqué par une faible performance au niveau du processus de conception, d'exploitation ou de maintenance du système.

Pour évaluer la performance du processus d'exploitation, dans le cadre de l'approche que nous avons proposé, nous pouvons présenter le *CCV* lié à l'exploitation selon la décomposition montrée par la Figure 4.15.

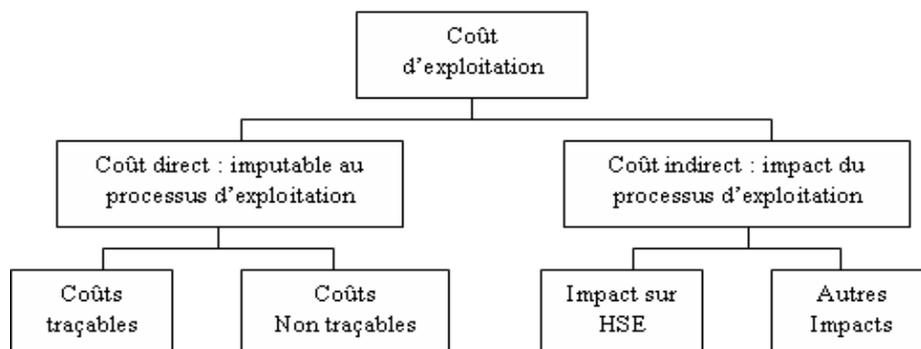


Figure 4.15 – Décomposition du coût d'exploitation

Cette décomposition met en évidence que le coût global d'exploitation est composé de :

- Coût direct : c'est la somme de toutes les ressources consommées pour atteindre les objectifs d'exploitation.
- Coût indirect : c'est l'évaluation financière des conséquences de fonctionnement du processus d'exploitation sur l'environnement, santé et sécurité.

Les différentes étapes du processus d'amélioration que nous avons construit pour la fonction maintenance, sont les mêmes pour l'amélioration du processus d'exploitation.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que la performance de la fonction de maintenance doit être améliorée 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 stratégiques de l'entreprise. Nous avons insisté aussi sur l'importance de la traduction des actions d'amélioration sous la forme la plus préférée chez les managers qui est le langage économique (valeur).

Nous avons décomposé le coût global de la 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 correctives réalisées suite à des défaillances non prises en compte par les plans de maintenance. Dans chaque type de coût, nous avons identifié un coût tangible et un coût intangible. Pour l'estimation du coût direct de la maintenance nous avons eu recours à un certain nombre d'outils. L'utilisation de la décomposition fonctionnelle du processus de maintenance en sous processus et de la méthode *time-driven ABC* a permis d'identifier les variables qui déterminent le coût tangible. Le coût intangible qui se traduit par son impact sur la production, la qualité et l'environnement a été exprimé en fonction de certaines variables déterminantes. Etant donné que les actions de maintenance ne sont pas connues au préalable lors de l'estimation du coût indirect de la maintenance, nous avons proposé un outil pour identifier en premier lieu les actions correctives et en second lieu, pour estimer leurs coûts indirects. L'estimation des parties tangible et intangible du coût indirect doit être conduite de la même manière que pour le coût direct de la maintenance.

Un processus de 5 étapes, basé sur le calcul du CCV pour améliorer la performance d'un système et dont la fonction maintenance fait partie, a été proposé. Nous avons préconisé l'utilisation de la formulation proposée pour l'estimation du coût global de la maintenance, dans le but de mettre en évidence les éléments à améliorer en priorité et aussi pour aider à tracer un plan d'action dans le cadre d'une amélioration continue de la performance globale.

Troisième partie

Application

Chapitre 5

Chapitre 5

Audit de la fonction maintenance

Nous avons choisi le secteur pétrolier pour réaliser l'application du cadre de mesure de performance que nous avons proposé dans la deuxième partie de cette thèse. En littérature, nous n'avons pas trouvé de travaux consacrés à la mesure de performance de la maintenance dans le secteur de Gaz & Pétrole, à l'exception des travaux réalisés entre 1999 - 2001 par l'équipe de "Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College". Leurs travaux faisaient partie du projet "Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators" dont les résultats n'ont pas été publiés en communauté scientifique mais sous forme de dossiers technique (voir Vatland *et al.* (1999), Liyanage and Selmer (1999), Ellingsen *et al.* (1999), Liyanage (1999), Liyanage *et al.* (2000), Ellingsen *et al.* (2001a) et Ellingsen *et al.* (2001a)).

Après avoir étudié les indicateurs de performance existants dans le secteur pétrolier (opérateurs de Gaz & Pétrole comme *Saga Petroleum* and *Statoil* et fournisseurs de logiciels spécialisés en Gaz & Pétrole comme *IFS*, *Industrial Communications* and *ADB Systemer*), ce dernier projet a adopté l'approche de Kaplan et Norton (Balanced Scorecard) pour choisir 32 indicateurs de performance parmi ceux retrouvés précédemment. Les secteurs clés choisis dans la Scorecard de ce projet étaient "Coût", "Opérations", "HSE" et "Organisation". Dans leurs rapports, les auteurs précédents ont signalé que dans chaque secteur clé, il existe plusieurs difficultés à mesurer les indicateurs qu'ils ont préconisé ; par exemple pour le secteur "Organisation" le projet n'était pas concluant : « *Le projet n'a réussi à développer aucun indicateur significatif de l'aspect "Organisation". Il est bien connu que cette tâche est difficile à mesurer et l'aspect doit donc être géré par le biais des processus d'enquête et d'évaluation des employés. La perspective d'organisation est néanmoins cruciale pour réussir dans les perspectives : Coût, Opération et HSE* » Ellingsen *et al.* (2001a).

Ainsi, il devrait toujours être maintenu dans l'esprit que ce n'est pas tout qui peut être mesuré au moyen des indicateurs. L'exemple que nous avons donné auparavant a clairement mis en évidence le besoin à d'autres techniques de mesure pour réaliser des évaluations additionnelles. Parmi ces outils il y a lieu de citer la technique d'audit ou de diagnostic (Belmokhtar *et al.*, 2004). Cependant, malgré l'utilisation très fréquente de cette technique dans les entreprises, pour identifier les insuffisances et les non-conformités existantes peu de résultats sont publiés sur l'audit des systèmes de maintenance sous prétexte de la confidentialité de ces résultats. Parmi les travaux effectués sur ce sujet nous pouvons citer Raouf and Ben-Daya (1995) et De Groot (1995) qui ont présenté les étapes de réalisation d'un audit de maintenance et Al-Muhaisen and Santarisi (2002) qui ont donné un exemple concret pour la réalisation de l'audit de maintenance.

Dans l'approche que nous avons construite pour l'amélioration stratégique de la maintenance, nous avons proposé un processus à cinq (05) étapes basé sur le CCV. La première étape de ce processus consiste à estimer le CCV à l'étape initiale de l'analyse. Cependant, cette étape ne peut être réalisée sans le recours au départ à l'audit du système existant. Pour cette raison, nous présentons dans ce chapitre, un audit de la fonction maintenance réalisé dans l'un des plus grands complexes de production de la société Sonatrach.

L'objectif de cet audit est d'identifier les causes principales des dysfonctionnements qui caractérisent la fonction maintenance. Un tel audit est en mesure de servir comme une base très importante dans la construction de tout plan d'amélioration. En effet, aucun plan d'amélioration ne peut réussir sans une compréhension approfondie des points forts et des points faibles du système étudié.

5.1. Le contexte du management de maintenance

Le groupe pétrolier et gazier Sonatrach (y compris ses associations) emploie 120000 personnes et a réalisé en 2005 un chiffre d'affaires à l'exportation qui dépasse les 45 milliards \$ et a produit (tous produits confondus) 232 MTEP (million de tonne équivalent pétrole).

La priorité de corporation du groupe pétrolier est de maximiser la production. Ceci est confirmé par le document de corporation de stratégie pour la période 2005-2009. Dans ce document, par exemple, il est prévu que la production quotidienne cible du pétrole serait de 2 MB/j (million de barils par jour) à l'horizon 2010. Pour réaliser cette cible, le groupe pétrolier doit continuer à augmenter sa production. Par exemple, la production de pétrole était 1,2 MB/j en 2003 et 1,4 MB/j en moyenne en 2005.

Cette priorité a été constante depuis longtemps parce que les exportations du groupe Sonatrach (SH) représentent plus que 98% des devises qui entrent en Algérie. Ainsi, les différentes unités de production de ce groupe sont appelées à fonctionner de manière permanente, excepté les temps d'arrêt planifiés. Cependant étant donné que le nombre d'heures de la journée est limitée à 24 heures et le temps d'arrêt planifié est programmé à l'avance, le seul gisement d'optimisation est le temps d'arrêt non planifié qu'il faudra toujours minimiser autant que possible. Ainsi la maximisation de la disponibilité des installations représente pour SH un objectif stratégique. Mais la disponibilité des équipements dépend du niveau d'efficacité de la maintenance. Pour mesurer le niveau d'efficacité de la fonction maintenance chez SH, nous avons sélectionné la région de production de Hassi Messaoud (HMD). La sélection de cette région, est motivée par le fait que cette dernière est considérée comme étant l'une des régions de production les plus importantes pour la compagnie SH. En effet, la société SH (seule sans les associations) a produit (tous produits confondus) 33 MTEP en 2006 et 37 MTEP en 2007, dont respectivement, 67% et 58% par HMD.

La Division Production de SH dans la région de HMD englobe principalement : le Complexe Industriel Sud (CIS), le Complexe Industriel Nord (CINA) et les Secteurs de Mesdar et d'El-Borma. Dans toute la partie pratique de cette thèse nous allons nous intéresser particulièrement à la situation de la fonction maintenance au sein du CIS qui est de loin plus important que le CINA.

La collecte des informations, pour réaliser notre application, s'est déroulée durant la période allant du 09/2006 au 01/2007. Nous avons utilisé plusieurs sources d'information (les bilans, les rapports mensuels et annuels, les rapports de réunions, les interviews, les observations sur les lieux de travail, etc.). Toutes nos estimations sont basées sur les données de trois années 2003, 2004 et 2005. Cependant les graphes rendent compte de cinq années 2001, 2002, 2003, 2004 et 2005 ce qui permet une meilleure observation des allures des courbes.

5.1.1. Mission de la Direction maintenance

La région de production HMD fait partie de la Division Production de l'Activité Amont de la compagnie SH. Cette région comprend plusieurs directions qui sont dénombrées par la Figure 5.1. Parmi les directions de la région de production HMD, nous retrouvons la Direction Maintenance (DM). Cette direction est chargée d'assurer en permanence les performances optimales des installations et veiller aux bonnes conditions de fonctionnement des équipements de production de la région HMD.

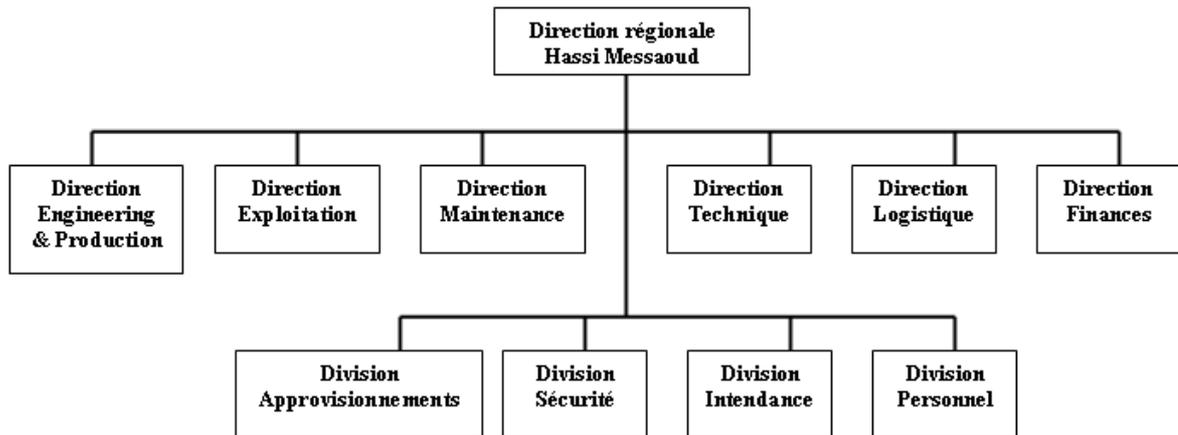


Figure 5.1 – Directions de la région HMD

Les missions de la DM sont énumérées ci-dessous :

1. Assurer la disponibilité et la tenue en bon état de fonctionnement de tous les équipements et installations des complexes industriels et unités satellites de HMD à travers :
 - a. la planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre des services de maintenance,
 - b. la préparation et la mise à jour des programmes et plannings pour les révisions et les modifications,
 - c. l'exécution des différents travaux de maintenance : contrôle, dépannage, réparation, révision, remise à neuf, mise à la réforme, rectification, fabrication de pièces, etc.,
 - d. le lancement d'appels d'offres et préparation des cahiers de charges pour les grands travaux et les prestations de services de maintenance,
 - e. la supervision des travaux de maintenance sous-traités,
 - f. la collecte et l'analyse de l'historique des équipements,
 - g. l'analyse des causes de défaillance et étude des problèmes techniques liés à la maintenance,
 - h. l'amélioration des procédures de travail et de gestion,
 - i. la sollicitation des experts pour les technologies avancées.
2. Mettre en place des ressources pour les travaux de maintenance et acquisition de nouvelles technologies, de moyens et outils modernes de gestion et d'ingénierie de la maintenance.
3. Assurer une production à moindre coût par :
 - a. l'optimisation et la prévision des coûts des travaux, de réparation et de sous-traitance,
 - b. la gestion du budget de maintenance,
 - c. la réduction des coûts de stocks.
4. Gérer les stocks (équipements, pièces de rechange, consommables et outillage) :

- a. la tenue des stocks (entrées et sorties),
 - b. l'établissement des plans d'approvisionnement,
 - c. la préconisation et la commande des pièces de rechange et équipements nécessaires,
 - d. l'assainissement des stocks morts.
5. Gérer et développer les ressources humaines de la DM par le perfectionnement du personnel en adéquation avec l'évolution des technologies, des méthodologies de travail et de management.
 6. Gérer les ateliers de maintenance : machines-outils, moteurs thermiques, chaudronnerie, électromécanique, électronique, instrumentation et les différents ateliers d'intervention.
 7. Assurer la sécurité du matériel et du personnel et protéger l'environnement.
 8. Assurer le maintien de liaison avec les autres structures de la région (voir Figure 5.2).

5.1.2. Relation de la DM avec les autres structures

La Figure 5.2 montre la relation qui doit exister entre la DM et les autres directions de la région HMD.

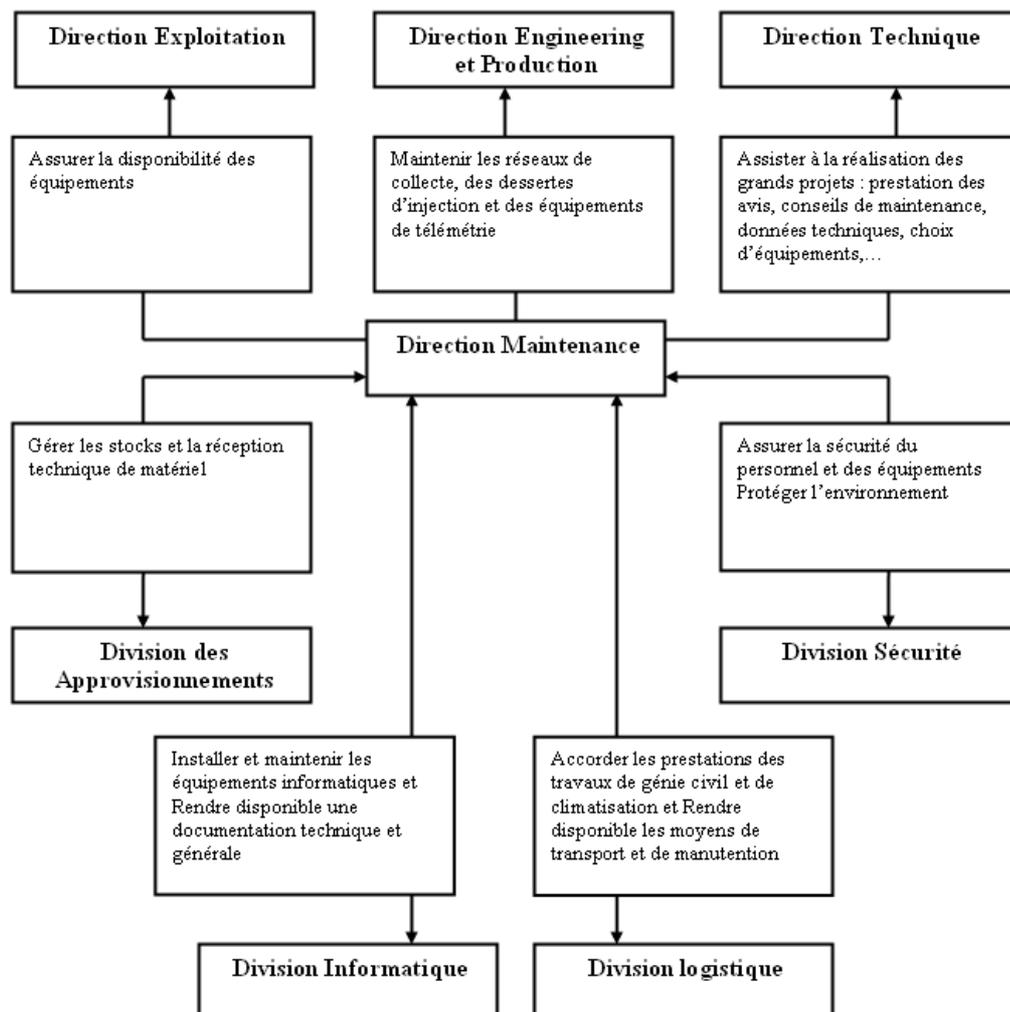


Figure 5.2 – Interaction de la DM avec les autres structures de HMD

Cette Figure montre que la maintenance est de nature une fonction de soutien. En effet, son rôle primordial est d'assurer la disponibilité des différents équipements utilisés par les Directions Exploitation et Engineering & Production. Ce schéma montre aussi que le management de la fonction maintenance est indépendant des autres directions. Cette séparation traduit l'importance de la mission accordée à la fonction maintenance pour réaliser les objectifs stratégiques de SH au niveau de la région HMD. Comme il ressort du schéma précédent, que la DM travaille en collaboration avec les Divisions Sécurité et Approvisionnement et reçoit le soutien de deux Divisions qui sont la Division Informatique et la Division Logistique.

5.1.3. Organisation de la DM

Pour accomplir les missions qui lui sont assignées au sein de la région de production HMD, la DM est dotée de l'organigramme représenté par la Figure 5.3.

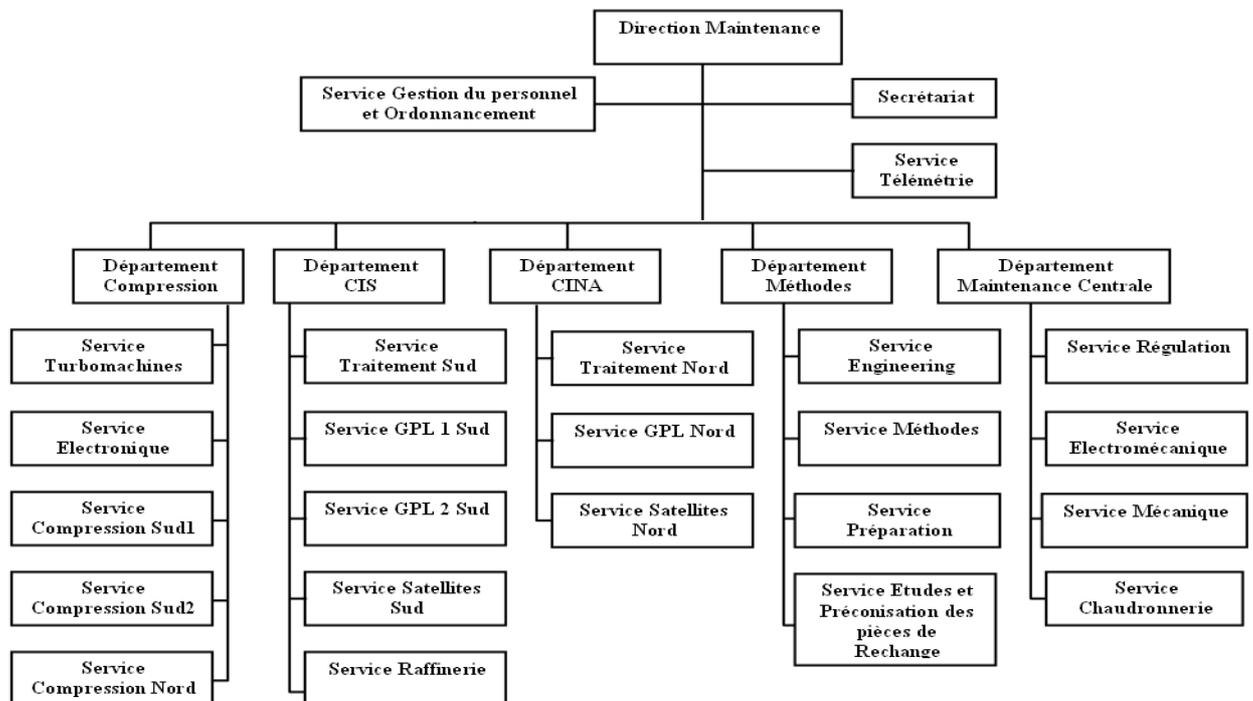


Figure 5.3 – Organigramme de la DM

La Figure 5.3 montre que la DM est composée de cinq Départements subdivisés en plusieurs services techniques et distingués selon deux types d'activités :

- Activité « Intervention » : activité opérationnelle assurée par trois Départements : Département CIS, Département CINA et Département Compression.
- Activité « Support » : activité de soutien assuré par deux Départements : Département Méthodes et Département Maintenance Centrale.

Deux autres services sont liés directement à la DM :

- Service Gestion du Personnel et Ordonnancement.
- Service Télémétrie.

Chaque service d'intervention est divisé en trois sections qui travaillent en collaboration avec la Section Préparation (faisant partie du Département Méthodes) :

- La Section Mécanique est chargée du suivi et de la maintenance des équipements suivants : compresseurs, pompes, aéroréfrigérant, vannes, soupapes,...
- La Section Electrique a pour tâches le suivi et la maintenance des équipements suivants : moteurs électriques, réseaux, éclairage, installations des stations,...
- La Section Régulation est chargée du suivi et de la maintenance des équipements suivants : Manomètres, Thermomètres, Régulateurs, Vannes automatiques, Sondes de températures, Sondes de vibration, Sondes de vitesse, Pressostats, etc.

Les relations entre les différents Départements de la DM sont présentées par la Figure 5.4.

5.1.4. Politique de maintenance

La DM applique une maintenance préventive systématique sous forme de révisions périodiques et selon un programme tracé annuellement sur la base du cumul horaire de fonctionnement des machines tournantes et sur la base de la réglementation légale pour les appareils soumis à la pression. La maintenance curative est réalisée sur un équipement suite à une défaillance soudaine ou progressive. Les équipements stratégiques pour cette entreprise sont les turbines, les compresseurs, les moteurs électriques et les pompes à haute pression. Pour les turbines, le programme de maintenance comprend l'Inspection de la chambre de Combustion (IC) et l'Inspection Majeure (IM) après respectivement 12000 et 48000 heures de fonctionnement. Le programme de maintenance des compresseurs contient la Révision Partielle (RP) et la Révision Générale (RG) après respectivement 12000 et 48000 heures de fonctionnement du compresseur. Les moteurs (générateurs à gaz) sont expédiés chez leur constructeur pour réaliser leur programme de maintenance. Il existe aussi un programme des visites et inspections réglementaires destinées aux appareils à pression de gaz (ballons, fours, aéroréfrigérants, colonnes, bacs de stockage, etc.). Le programme de révision des appareils à pression de gaz (APG) est établi en collaboration avec le Service Inspection de la Direction Technique (DT), mais son suivi est fait par la DM.

Pour répondre à la charge importante du travail de maintenance, plusieurs activités sont externalisées vers plus de 80 compagnies nationales. Parmi les activités sous-traitées, nous pouvons citer la maintenance de certaines turbines à gaz, l'entretien des lignes électriques, la réalisation des travaux de chaudronnerie et de calorifugeage, la maintenance de certains équipements statiques, la fabrication mécanique, etc.

5.1.5. Contraintes de maintenance

Plusieurs contraintes caractérisent le contexte actuel de la fonction maintenance au sein de CIS. Parmi les plus importantes nous citons les contraintes ci-dessous.

5.1.5.1. Degré d'interconnexion et d'interdépendance entre les unités

La Figure 5.5 fournit une vue d'ensemble sur le processus de production existant à CIS. Cette Figure montre le degré d'interconnexion et d'interdépendance entre les différentes phases de la production, ainsi l'output d'une unité est un input pour une autre.

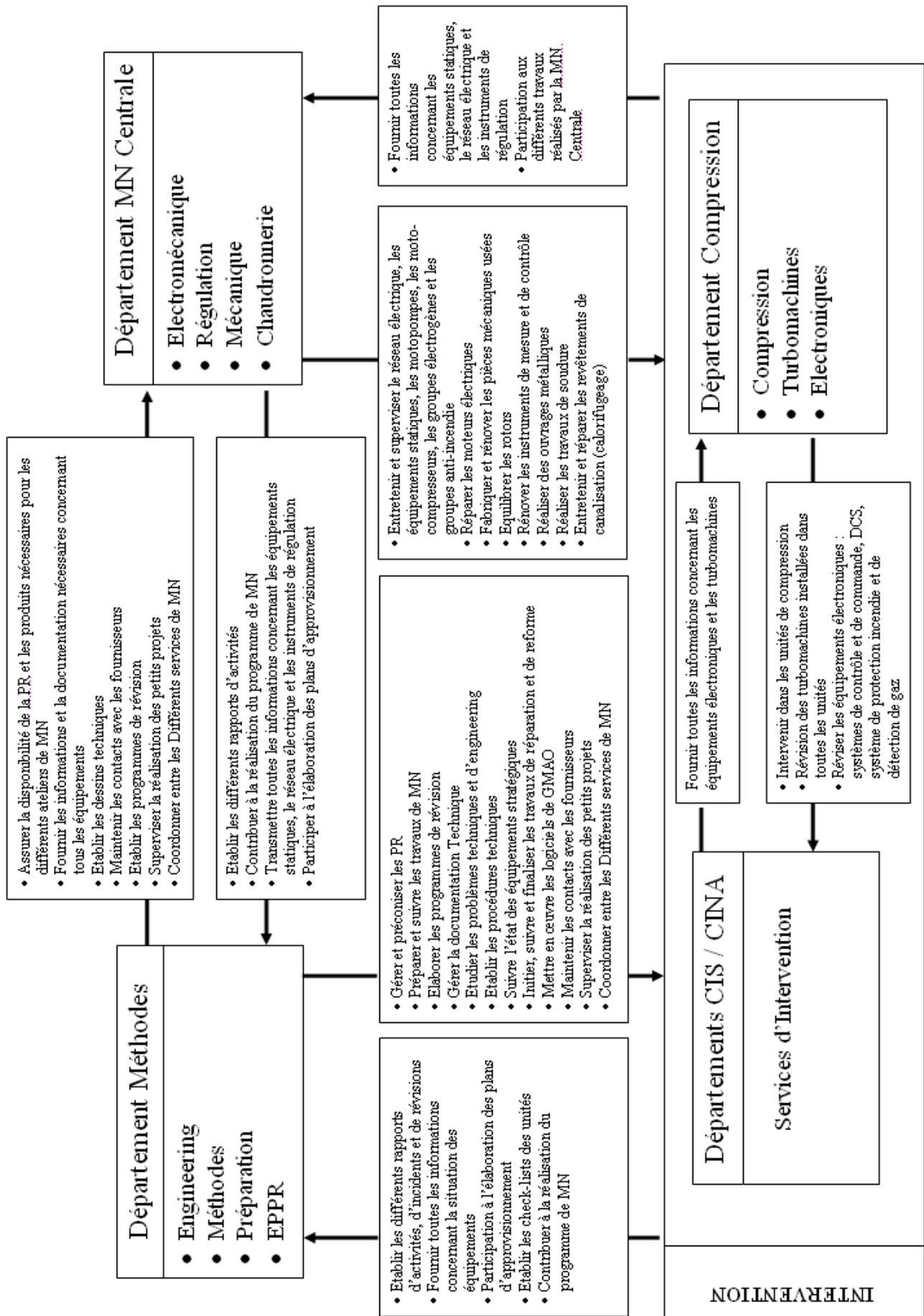


Figure 5.4 – Relations entre les Départements de la Direction Maintenance

En conséquence, tout arrêt d'une unité aura un impact sur les autres unités. Comme il ressort aussi de cette dernière Figure que tout le long du processus d'exploitation le gaz associé doit être récupéré pour être injecté dans les puits de production de pétrole. Cette récupération des gaz permet une meilleure utilisation des ressources gazières et aussi une minimisation des quantités de gaz torché qui représente une menace pour la santé et l'environnement.

5.1.5.2. Nombre important d'équipements

Le CIS contient un parc machines composé de plus de 47000 équipements, dont les plus importants sont les machines tournantes (5319), les moteurs électriques (36), les équipements statiques (1679), les équipements électriques (4627), les équipements d'instrumentation (31353) et les équipements électroniques (3771). Parmi les équipements stratégiques de la compagnie il y a lieu de citer les turbines à gaz (64), les turboréacteurs (8), les compresseurs à gaz (95), les moteurs électriques (36) et les pompes à haute pression (12).

5.1.5.3. Nombre important de constructeurs

A la contrainte du nombre important des équipements à maintenir, s'ajoute la contrainte de diversité des constructeurs. Par exemple, les principaux constructeurs des turbines à gaz sont General Electric, Hispano Suiza, Pratt/Whitney, Thomassen, Rolls-Royce, English Electric, Solar, Tornado et Worthington. Les principaux constructeurs des compresseurs à gaz sont Nuovo-pignone, Thermodyn et Dresser Rand. *Vétusté de certains équipements*

Le site industriel a été créé depuis plus de 40 ans. D'ailleurs, certains constructeurs n'existent plus, par exemple CEM pour les moteurs et Rateau pour les compresseurs.

5.1.5.4. Nombre important des stocks

Le nombre de biens gérés en stock est environ 120000 dont 60000 sont destinés au service de maintenance.

Il est de la responsabilité de la DM de planifier, de contrôler et d'améliorer le fonctionnement de la maintenance au sein de CIS, mais les contraintes précédentes sont de nature à rendre cette mission difficile et diminuent l'efficacité de fonctionnement du processus de maintenance. Les dysfonctionnements qui caractérisent actuellement la maintenance, sont les signes de son inefficacité dont les plus importants sont discutés dans la section suivante.

5.2. Indicateurs de dysfonctionnement de maintenance

Les unités de production sont appelées à fonctionner en permanence, à l'exception des temps d'arrêts planifiés. Pour assurer une exploitation continue des unités de production, chaque jour et dans chaque unité de production, deux équipes d'exploitation travaillent en alternance avec 12 heures de travail pour chacune. Ainsi, le temps annuel planifié pour chaque ligne de production est de 8760 heures (24h × 365 jours) pour les années 2003 et 2005 et de 8784 heures (24h × 366 jours) pour l'année 2004. En considérant le nombre de lignes de production composant chaque unité, nous obtenons les temps planifiés pour les années 2003, 2004 et 2005.

Nous avons rassemblé les données pour les trois années 2003, 2004 et 2005 concernant les différents états du système :

- Etat de fonctionnement (Operating stat)
- Etat d'attente (Standby state)
- Panne (Fault)
- Arrêt programmé (Shut-down).

Ces différents états sont représentés par la Figure 5.6.

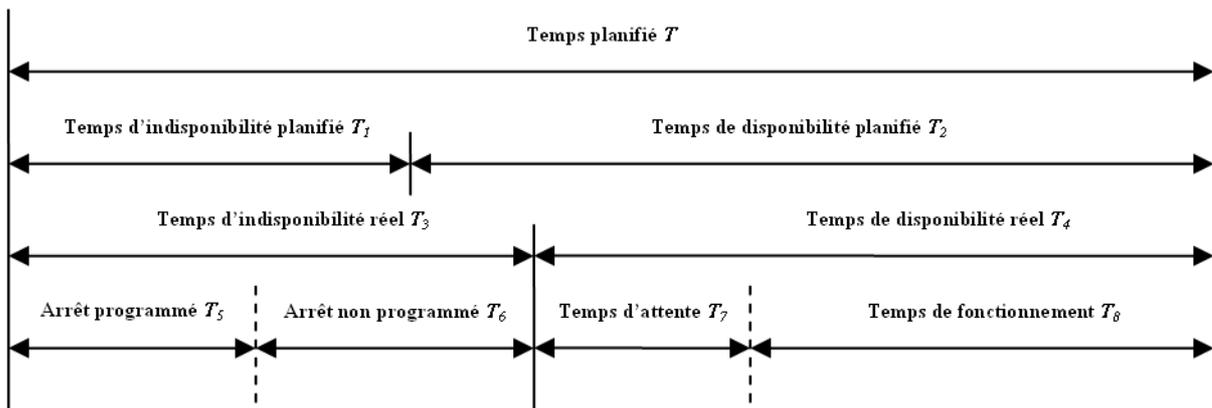


Figure 5.6 – Différents temps du système

Les différents temps correspondants :

- T : temps planifié
- T_1 : temps d'arrêt planifié théorique
- T_5 : temps d'arrêt planifié réel
- T_6 : temps d'arrêt non planifié
- T_7 : temps d'attente
- T_8 : temps de fonctionnement

sont donnés dans le Tableau 5.1 pour les 05 unités de production qui composent le CIS.

Notons que le temps d'arrêt planifié théorique (T_1) est le temps d'arrêt planifié qui apparaît dans les programmes annuels de maintenance de 2003, 2004 et 2005. Ce temps d'arrêt planifié théorique traduit le nombre d'heures nécessaires pour réaliser les différents programmes de la maintenance préventive systématique des équipements stratégiques. Il est déterminé sur la base des temps nécessaires pour réaliser 1IC, 1RP, 1RG et 1IM qui sont respectivement 7 jours, 7 jours, 21 jours et 42 jours.

5.2.1. Taux de disponibilité

Le premier indicateur de base à mesurer est le taux de disponibilité. Ce dernier est mesuré par le rapport entre le temps de fonctionnement brut (T_4) et le temps requis (T_3+T_4), d'où la formule :

$$Disponibilité = \frac{T_4}{T_3 + T_4} = \frac{(T_7 + T_8)}{(T_5 + T_6) + (T_7 + T_8)} \dots\dots\dots(5.1)$$

Tableau 5.1 – Temps caractéristiques (heures)

Unité	T : temps planifié				T_I : arrêt planifié théorique			
	2003	2004	2005	2003-2005	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	70 080	70 272	70 080	210 432	1 560	2 112	3 024	6 696
Treatment	61 320	61 488	61 320	184 128	1 008	2 160	3 744	6 912
GPL 1	52 560	52 704	52 560	157 824	1 512	3 360	2 760	7 632
GPL 2	61 320	61 488	61 320	184 128	1 248	2 928	7 128	11 304
Compression	192 720	193 248	192 720	578 688	3 432	1 416	6 456	11 304
Total	438 000	439 200	438 000	1 315 200	8 760	11 976	23 112	43 848

Unité	T_5 : arrêt planifié réel				T_6 : arrêt non planifié			
	2003	2004	2005	2003-2005	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	714	857	1 407	2 978	2 397	3 481	6 057	11 935
Treatment	386	1 866	711	2 963	1 272	5 103	14 618	20 993
GPL 1	888	3 154	1 113	5 155	4 283	10 561	12 113	26 957
GPL 2	566	1 440	5 322	7 329	9 268	8 955	5 391	23 614
Compression	2 409	240	6 668	9 317	72 426	58 916	36 037	167 379
Total	4 963	7 557	15 221	27 742	89 646	8 7016	74 216	250 878

Unité	T_7 : temps d'attente				T_8 : temps de fonctionnement			
	2003	2004	2005	2003-2005	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	1 528	1 286	817	3 631	65 441	64 648	61 799	191 888
Treatment	24 409	18 490	9 981	52 880	35 253	36 029	36 010	107 292
GPL 1	1 013	5 864	7 154	14 031	46 376	33 125	32 180	111 681
GPL 2	2 205	2 729	5 614	10 548	49 281	48 364	44 993	142 637
Compression	7 053	1 871	12 896	21 820	110 832	132 221	137 119	380 172
Total	36 208	30 240	36 462	102 910	307 183	314 387	312 101	933 670

Le Tableau 5.2 donne les différents taux de disponibilité annuels pour les différentes unités de production de 2003 à 2005.

Tableau 5.2 – Disponibilité

Unités	Disponibilité (%)			
	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	97	95	91	93
Traitement	98	91	76	87
Gpl 1	92	79	76	80
Gpl 2	85	85	90	83
Compression	62	69	81	69
Ensemble	79	79	80	79

Le taux de disponibilité moyen annuel de l'ensemble des unités est égal à 79%. Ce taux est stable durant les trois années 2003, 2004 et 2005, ce qui traduit l'absence d'une amélioration au niveau global. Les trois premières unités (Satellites, Traitement et GPL1) ont enregistré une détérioration de leur disponibilité annuelle. Les deux autres unités (GPL2 et Compression) ont enregistré une amélioration de leurs disponibilités d'une année à une autre. Cette amélioration est expliquée en partie par l'âge de ces deux unités. En effet l'unité de

GPL2 est entrée en production en 1999 et l'unité de Compression de gaz qui était composée de 07 stations de Compression a été renforcée par 04 nouvelles stations en 2000.

5.2.2. Taux d'utilisation

L'examen du taux de disponibilité n'est pas suffisant pour évaluer la productivité des unités de production. Etant donné que ce taux prend en considération le temps de fonctionnement brut. Pour mesurer la part du temps de fonctionnement effectif nous faisons appel au taux d'utilisation donné par la formule :

$$Utilisation = \frac{T_8}{T_3 + T_4} = \frac{T_8}{(T_5 + T_6) + (T_7 + T_8)} \dots\dots\dots(5.2)$$

Les différents taux d'utilisation des équipements entre 2003 et 2005 pour les différentes unités de production sont donnés par le Tableau 5.3.

Tableau 5.3 – Taux d'utilisation

Unités	Utilisation (%)			
	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	93	92	88	91
Traitement	57	59	59	58
Gpl 1	88	63	61	71
Gpl 2	80	79	73	77
Compression	58	68	71	66
Ensemble	70	72	71	71

Le taux d'utilisation annuel pour l'ensemble des unités est stable autour de 71%. Cette stabilisation traduit l'absence d'une amélioration. La seule unité de production qui a enregistré une nette amélioration dans son taux d'utilisation est la Compression. Les autres unités ont enregistré des détériorations dans leurs taux d'utilisation à l'exception de l'unité de traitement qui est utilisé à un degré plus ou moins stable.

5.2.3. Taux de productivité

La mesure de la performance dans les industries de process est basée sur le temps parce que la production est appelée à être continue. Ainsi pour estimer la productivité, nous utilisons la formule :

$$Productivity = Availability \times Utilization \dots\dots\dots(5.1)$$

Le Tableau 5.4 donne les différents taux de productivité annuels pour les différentes unités de production de 2003 à 2005.

Tableau 5.4 – Productivité

Unités	Productivité (%)			
	2003	2004	2005	2003-2005
Satellites	90	87	80	85
Traitement	56	54	45	50
Gpl 1	81	50	46	57
Gpl 2	68	67	66	64
Compression	36	47	58	46
Ensemble	55	57	57	56

La productivité moyenne pour les trois années 2003, 2004 et 2005 est 56% pour l'ensemble des unités. Ce taux est presque le même d'une année à une autre. Nous ne pouvons parler dans ce cas d'une amélioration de productivité. Toutes les unités de production ont enregistré des détériorations dans leurs productivités à l'exception de la Compression qui a atteint un taux de productivité de 58% en 2005 alors que ce taux était de 36 % seulement en 2003.

Le temps improductif a été causé par trois sortes d'arrêts :

- les arrêts non planifiés,
- les arrêts planifiés et
- les arrêts causés par des indisponibilités externes.

La part de chaque type d'arrêt dans la non-productivité des unités, pour la période 2003-2005, est donnée par le Tableau 5.5.

Tableau 5.5 – Distribution de la perte en productivité

Unités de production	2003-2005			Total (%)
	Arrêt non planifié (%)	Arrêt planifié (%)	Attente (%)	
Satellites	64	16	20	100
Traitement	27	4	69	100
Gpl 1	58	11	30	100
Gpl 2	57	18	25	100
Compression	84	5	11	100
Ensemble	66	7	27	100

Selon ce dernier Tableau, dans toutes les unités de production, la cause principale de la non-productivité revient aux arrêts non planifiés à l'exception de l'unité de traitement, dont le temps d'attente représente la première cause principale de non-productivité. Pour l'ensemble des unités, les arrêts non planifiés expliquent en moyenne 66% de tout le temps improductif enregistré durant les années 2003, 2004 et 2005.

5.2.4. Nombre de programmes de maintenance annulés

Dans les industries de process où la production est généralement continue la disponibilité des machines et équipements occupe une place stratégique (Arts *et al.* 1998). Pour cette raison des programmes importants de maintenance sont souvent tracés pour assurer un niveau élevé de

disponibilité des machines et équipements et éviter des arrêts accidentels qui engendrent des pertes financières importantes. Cependant, la réalisation de ces programmes dépend de l'efficacité de la fonction maintenance. Les annulations ou les retards dans la réalisation des programmes de maintenance sont de nature à dégrader l'état de fonctionnement des équipements et engendrent ainsi de plus en plus d'arrêts accidentels (non planifiés) des unités de production.

Les graphes des Figures 5.7 et 5.8 représentent l'évolution du nombre de révisions (programmées et réalisées) de type IC et RP, respectivement.

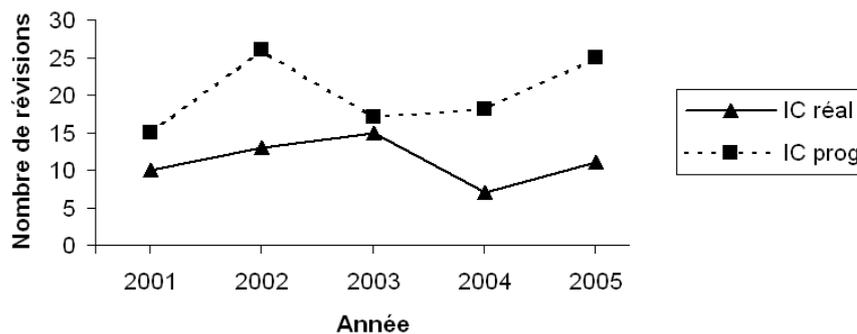


Figure 5.7 – Nombre d'IC programmées et réalisées

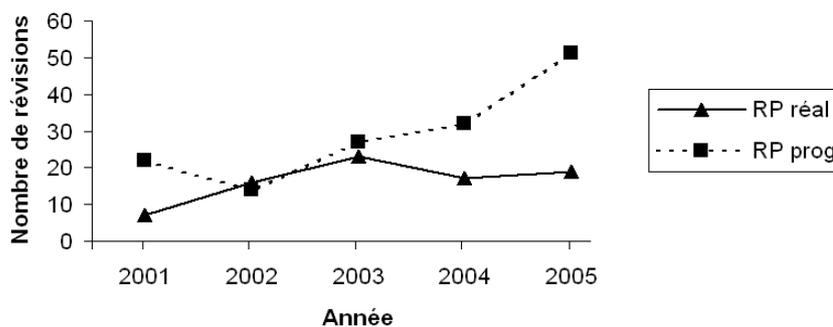


Figure 5.8 – Nombre de RP programmées et réalisées

Ces graphes montrent qu'en général les programmes d'IC et de RP n'ont pas été respectés. Pour les turbines, le taux de réalisation de l'IC était 67%, 50%, 88%, 39% et 44%, en 2001, 2002, 2003, 2004 et 2005, respectivement. Pour les compresseurs, le taux de réalisation de la RP était 32%, 114%, 85%, 53% et 37%, en 2001, 2002, 2003, 2004 et 2005, respectivement. Le taux moyen de réalisation du programme de maintenance, pour la période 2001-2005, était de 55% pour les IC (turbines) et de 56% pour les RP (compresseurs).

Les graphes des Figures 5.9 et 5.10 représentent, respectivement, l'évolution du nombre de révisions d'IM et RG programmées et réalisées. Ces graphes montrent qu'en général les programmes des IM et des RG sont beaucoup plus respectés que ceux des IC et des RP. En effet, étant donné qu'après trois (03) CI (3×12000 heures) et trois PR (3×12000 heures) il y a une (01) MI et une (01) GR, pour les turbines et les compresseurs respectivement, il semble

que la tendance qui règne au sein de la CIS est de récupérer dans les grandes révisions (IM et RG) réalisées à long terme, ce qui n'a pas été réalisé dans les révisions de moyen terme (CI et RP). Ainsi, durant la période 2001-2005, le taux de réalisation moyen était de 100% pour les IM (turbines) et les RG (compresseurs).

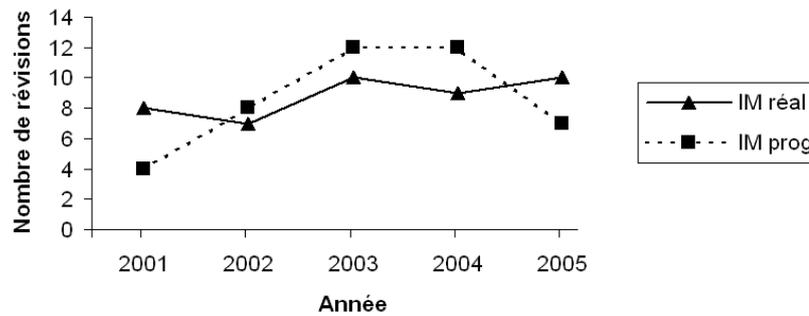


Figure 5.9 – Nombre d'IM programmées et réalisées

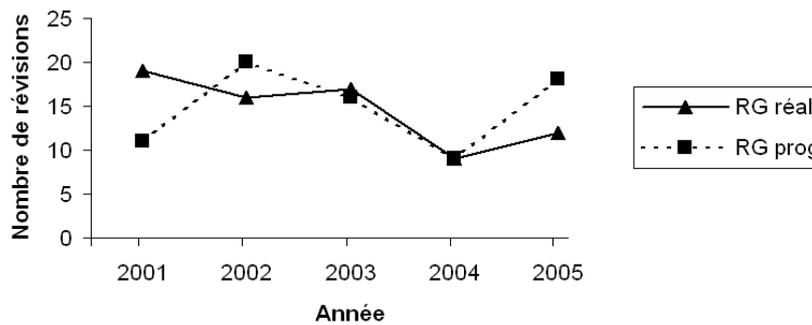


Figure 5.10 – Nombre de RG programmées et réalisées

La situation des programmes de maintenance des appareils à pression de gaz (APG) est plutôt la même que celle des programmes de maintenance de moyen terme des équipements stratégiques (IC et RP). Ce constat est dévoilé par la Figure 5.11.

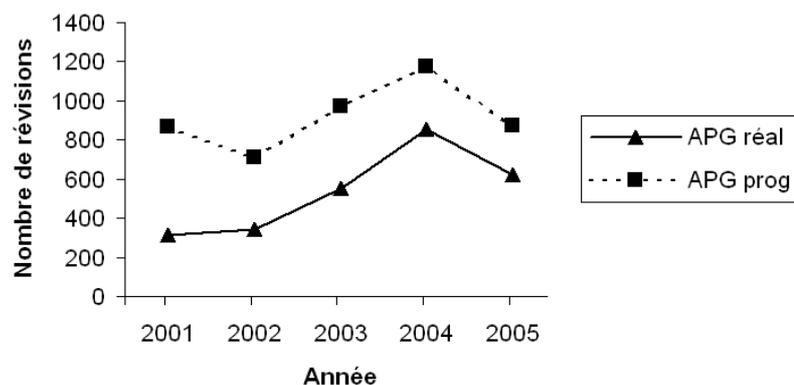


Figure 5.11 – Nombre de révisions programmées et réalisées des APG

La dernière Figure, montre que les programmes de maintenance des APG ont un taux de réalisation relativement faible. En 2001, 2002, 2003, 2004 et 2005, les taux de réalisation des révisions d'APG étaient de 36%, 49%, 57%, 73% et 72%, respectivement. Pour la période 2001-2005, ce taux était en moyenne de 59%. Le non réalisation des programmes de révision des APG représente un risque potentiel important d'explosion et il est de la responsabilité du management de la maintenance d'assurer la sécurité des personnes et des équipements et de sauvegarder l'environnement.

5.2.5. Taux de Maintenabilité

Le faible taux de réalisation de la maintenance préventive est de nature à générer de plus en plus d'arrêts non planifiés. La durée d'un arrêt non planifié (accidentel), dépend principalement de l'efficacité du management de maintenance à rétablir le bien en panne dans un état où il peut accomplir sa fonction requise. Malheureusement, les données actuellement disponibles au sein du CIS, ne permettent pas d'estimer le MTTR (voir Figure 5.12) même pour les équipements stratégiques.

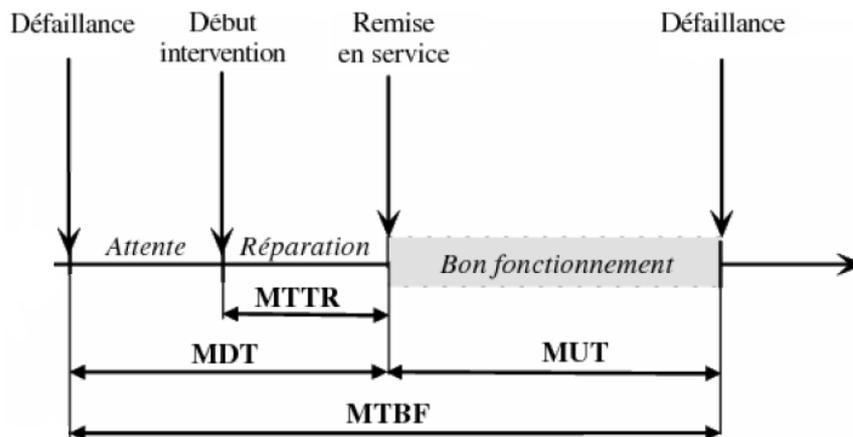


Figure 5.12 – Décomposition du MTBF

Afin d'apprécier l'importance du temps qui s'écoule entre le moment de l'arrêt d'un équipement et le début d'exécution d'une tâche de maintenance corrective nous considérons la distribution du temps d'utilisation du personnel entre la maintenance corrective et la maintenance préventive, illustrée par la Figure 5.13. Cette dernière montre que la proportion du temps en Homme/heure (H/h) utilisé pour la maintenance corrective, suite à des arrêts non planifiés (accidentels), représente en moyenne 15 % du temps d'utilisation total du personnel et le reste (85%) est utilisé dans la maintenance préventive. Mais, nous avons déjà montré que le temps des arrêts non planifié et le temps des arrêts planifiés représentent respectivement 66% et 7% du temps improductif total. Donc nous pouvons conclure que 15 % du nombre total des H/h du personnel est utilisé dans 66% du temps improductif et le reste (85% du nombre total des H/h du personnel) est utilisé dans seulement 7% du temps improductif des unités. Cette distribution montre le manque de préparation réservée à la maintenance corrective et l'importance du temps perdu entre le moment de l'apparition de la défaillance et le moment de l'intervention.

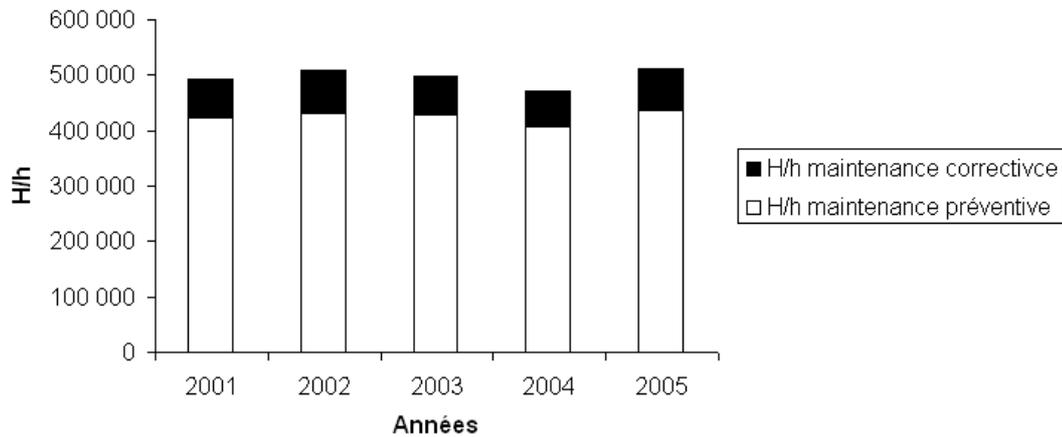


Figure 5.13 – Distribution de l'utilisation du personnel

5.2.6. Ecart entre le délai de révision programmé et réalisé

Nous avons déjà mentionné que les temps nécessaires pour réaliser 1IC, 1IM, 1RP et 1RG sont respectivement 7 jours, 7 jours, 21 jours et 42 jours. A titre d'exemple, la Figure 5.14, montre le planning prévisionnel d'une révision de type IC.

TÂCHES / DURÉE EN JOURS	1	2	3	4	5	6	7
POSE DU JOINT PLEIN	[Bar chart showing task duration from day 1 to 1]						
DÉMONTAGE TUYAUTERIES FUEL GAZ	[Bar chart showing task duration from day 1 to 1]						
DÉMONTAGE INJECTEURS, BRIDES, FOURCHETTES, TUBES D'INTERCONNEXION ET TUBES A FLAMME	[Bar chart showing task duration from day 1 to 3]						
NETTOYAGE ET INSPECTION	[Bar chart showing task duration from day 3 to 4]						
REMONTAGE DES TUBES A FLAMME, TUBE D'INTERCONNEXION ET FOURCHETTES	[Bar chart showing task duration from day 4 to 5]						
REMONTAGE DES BRIDES ET INJECTEURS	[Bar chart showing task duration from day 5 to 6]						
REMONTAGE DE LA TUYAUTERIE F.G	[Bar chart showing task duration from day 6 to 7]						
DEPOSE JOINT PLEIN F.G	[Bar chart showing task duration from day 7 to 7]						

Figure 5.14 – Planning des tâches d'une révision de type IC

Afin de mettre en évidence l'importance du retard enregistré pendant la réalisation des révisions nous avons tiré au hasard un exemple des révisions réalisées.

Il s'agit de la révision de type IM des turbines à gaz TG1101 et TG1102 de la station SC7. Le nombre de jours prévus pour réaliser ces travaux était 42 jours (du 07/07/2003 au 18/08/2003). En réalité ces travaux ont pris 70 jours (du 07/07/2003 au 15/09/2003). Les retards enregistrés sont détaillés dans les Tableaux suivants (Tableaux 5.6, 5.7 et 5.8).

Tableau 5.6 – Travaux programmés et réalisés de la phase démontage

Travaux programmés	Durée prévue en jours	Durée réalisée en jours	Observations
<ul style="list-style-type: none"> - Platinage de la station - Pose vérins - Démontage des accouplements - Contrôle des alignements - Démontage des enceintes - Démontage tuyauteries fuel et air - Démontage injecteurs, brides, fourchettes, crossfire, tubes à flammes et chambres de combustion 	8	12	- Impossibilité d'utilisation du Pont roulant pour les 2 turbines en même temps.
<ul style="list-style-type: none"> - Dépose caisson d'aspiration et convoyeurs gaz chauds - Démontage visseries caisse compresseur - Dépose caisse compresseur - Démontage goupilles et visseries caisse turbine - Dépose caisse turbine 	4	8	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'outillages spécifiques - Manque de consommables (dégrippant) - Manque d'outillages spécifiques - Manque de consommables (dégrippant)
<ul style="list-style-type: none"> - Dépose directrice premier étage - Dépose parois d'échappement - Démontage visseries caisse d'échappement - Dépose caisse échappement - Dépose boucliers thermiques supérieurs - Dépose diaphragme moitié supérieure 	3	4	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'outillages spécifiques - Manque de consommables (dégrippant)
<ul style="list-style-type: none"> - Prise des jeux pour compresseur axial - Dépose chapeaux des paliers - Prise des jeux - Dépose rotors HP et BP - Démontage des goupilles de centrage - Dépose caisse diaphragme 	5	6	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'outillages spécifiques - Manque de consommables (dégrippant)

Tableau 5.7 – Travaux programmés et réalisés de la phase inspection

Travaux programmés	Durée prévue en jours	Durée réalisée en jours	Observations
<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage et taraudage des pièces - Perçage des visses cassées - Inspection et contrôle des pièces - Réparation de la directrice 2^{ème} étage - Changement aubage rotors HP et BP 	15	40	<ul style="list-style-type: none"> - Lenteur et difficulté d'approvisionnement en achat local - Certains articles demandés n'ont pas été fournis (forêts, mandrin pour perceuse magnétique) - Ampleur des dégâts très importants - Attente de réparation de la pièce au niveau des ateliers ALGESCO - Lenteur d'exécution des travaux au niveau de l'atelier central - Moyens logistiques insuffisants (un seul Clark pour tout le CIS souvent en panne) - Véhicule de service immobilisé au niveau du garage à 2 reprises pendant plus de 10 jours pour manque de pièces de rechanges (batterie et plaquettes de freins)

Tableau 5.8 – Travaux programmés et réalisés de la phase remontage

Travaux programmés	Durée prévue en jours	Durée réalisée en jours	Observations
<ul style="list-style-type: none"> - Remontage à blanc des caches paliers pour flusching 	3	3	
<ul style="list-style-type: none"> - Remontage diaphragme partie inférieure - Pose des goupilles de centrage - Pose paliers 1, 2, 3 et 4 parties inférieures - Pose rotors HP et BP - Prise des jeux des paliers 1, 2, 3 et 4 - Pose caches paliers - Prise des jeux turbines et compresseurs - Remontage diaphragme partie sup 	6	6	
<ul style="list-style-type: none"> - Remontage des boucliers thermiques - Remontage des caisses compresseur - Remontage directrice 1er étage - Remontage convoyeurs - Remontage caisse turbine - Remontage caisse échappement - Remontage caisses convoyeur et aspiration - Remontage parois échappement - Remontage des chambres de combustion, tubes à flammes, fourchettes, brides, injecteurs et tuyauterie fuel gaz et air - Remontage enceintes - Contrôle alignement et dépose vérins - Remontage accouplements 	9	9	

Nous récapitulons ci-dessous le nombre de jours de retard enregistré dans chaque phase de la révision :

Phase de démontage (10 jours) :

- Durée prévue pour la phase démontage 20 jours.
- Durée réalisée pour la phase démontage 30 jours.

Phase inspection et de réparation (25 jours) :

- Durée prévue pour la phase d'inspection et de réparation 15 jours.
- Durée réalisée pour la phase d'inspection et de réparation 40 jours.
- Début prévu des travaux à partir du 15ème jour de la phase démontage.
- Début réalisé des travaux à partir du 25ème jour de la phase démontage.

Phase de remontage (0 jour) :

- Durée prévue pour la phase remontage 18 jours.
- Durée réalisée pour la phase remontage 18 jours.
- Le début prévu de la phase de remontage est le 24ème jour de la révision.
- Le début effectif de la phase de remontage était le 52ème jour de la révision.

Nous résumons les problèmes rencontrés dans l'exemple précédent comme suit :

Problèmes techniques :

Incidents très importants au niveau de la turbine TG1101 à savoir :

- Endommagement de la directrice 2ème étage.
- Endommagement des boucliers thermiques intérieurs et extérieurs.
- Endommagement des sabots d'étanchéité HP et BP.
- Endommagement aubage BP et cover plate BP.

Problèmes de manutention :

- Il existe un seul chariot élévateur pour tout le CIS qui est, la plupart du temps, indisponible suite à des pannes répétées.
- Le pont roulant de l'atelier central est en panne ce qui a empêché de réaliser les travaux d'usinage.
- Le pont roulant de la station concernée a été utilisé simultanément pour les 2 groupes.

Problèmes de pièces de rechanges :

- Les deux covers plates arrières sont non-conformes, ce qui a entraîné un temps d'attente d'une durée de 10 jours pour leurs changements et acheminements de l'Italie avec une nouvelle carte de montage.

Problèmes matériels consommables :

- Lenteur de la procédure d'achat local ;
- Certains biens n'ont pas été fournis tels que (forets adéquats, colle, mandrin pour perceuse...)

Problèmes matériels bureautiques

- Micro-ordinateur en état vétuste
- Manque d'imprimantes (une seule pour tout le Département Compression en mauvais état de fonctionnement).
- Manque de papier.

Problèmes liés à la réparation :

- Durée considérable pour la réparation de la caisse intermédiaire et l'usinage des boucliers thermiques livrés à l'état brut, au niveau des ateliers ALGESCO (opérations très difficiles à réaliser).
- Charge de travail de réparation et de perçage des pièces très importante pour l'atelier central.

Problèmes de moyens de transport

- Véhicule du service constamment en panne.

5.2.7. Nombre d'accident de travail

Un autre indicateur de l'inefficacité de la maintenance est le nombre d'accidents enregistrés au sein de la DM. Même si le nombre annuel des accidents est en baisse au sein du complexe industriel CIS comme le montre le graphe de la Figure 5.15, la maintenance reste un métier où il existe un risque important d'accidents par rapport aux autres structures du CIS.

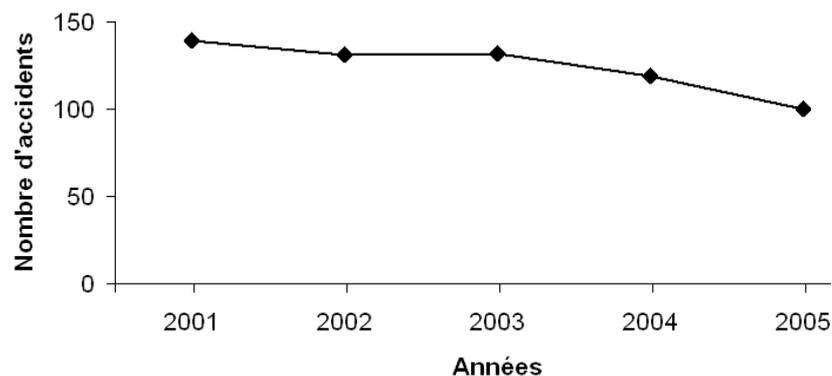


Figure 5.15 – Evolution du nombre d'accident de travail au CIS

Ce résultat est confirmé par le Tableau 5.9 qui donne la distribution du nombre d'accidents enregistrés durant l'exercice 2005 selon les différentes structures qui composent le CIS. Ce Tableau montre que la maintenance est en tête avec 29% du nombre d'accidents devant même la direction de production.

Nous avons classé les différentes causes des accidents de maintenance pour l'année 2005 selon leurs causes. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 5.10. Ce dernier Tableau montre que la cause principale des accidents de travail en maintenance est l'erreur humaine. Ce qui donne à la préparation des interventions de maintenance un rôle primordial pour prévenir contre les accidents de travail. Le manque d'inattention des agents, la mauvaise posture, la fatigue, ou autres sources de l'erreur humaine, peuvent être réduits par un meilleur travail de préparation et aussi par une formation ciblée. Ainsi, la formation doit être orientée vers l'augmentation de l'efficacité dans la réalisation des tâches de maintenance mais aussi vers l'augmentation du niveau de sécurité et la minimisation des risques.

Tableau 5.9 – Distribution des accidents de travail selon les structures

Structure	% accidents	% journées perdues
Maintenance	29	24
Production	22	24
Exploitation	18	15
Logistique	12	8
Services pétroliers	8	12
Sécurité	6	12
Intendance	2	4
Approvisionnement	1	1
Technique	1	1
Ressources humaines	1	0
Total	100	100

Tableau 5.10 – Causes principales des accidents de travail de la DM

Cause	Exemple	%
Erreur humaine	Inattention, mauvaise posture, fatigue, ...	51
Non respect de procédure	Autorisation de travail, procédure d'utilisation procédure d'utilisation des équipements de sécurité, procédure d'utilisation des produits chimiques, procédure de montage et démontage, ...	22
Défaut de port de moyens de protection		12
Outillage non adéquat		4
Vétusté de l'équipement		4
Défaut de conception de l'équipement		4
Autre		4

5.2.8. Quantité de gaz torché

Le schéma de la Figure 5.5, montre que toutes les unités de production du CIS émettent des gaz résiduels qui sont envoyés vers l'unité de Compression qui les récupère pour les réinjecter dans les puits de production de pétrole pour maintenir leurs pressions. Cependant tout arrêt d'une unité de production implique le torchage des gaz résiduels étant donné qu'ils ne peuvent pas être stockés. Ce torchage, en plus d'être un gaspillage de ressources gazières, a des effets négatifs sur la santé et l'environnement.

Le graphe de la Figure 5.16, montre l'évolution de la quantité de gaz torché de toutes les structures de SH.

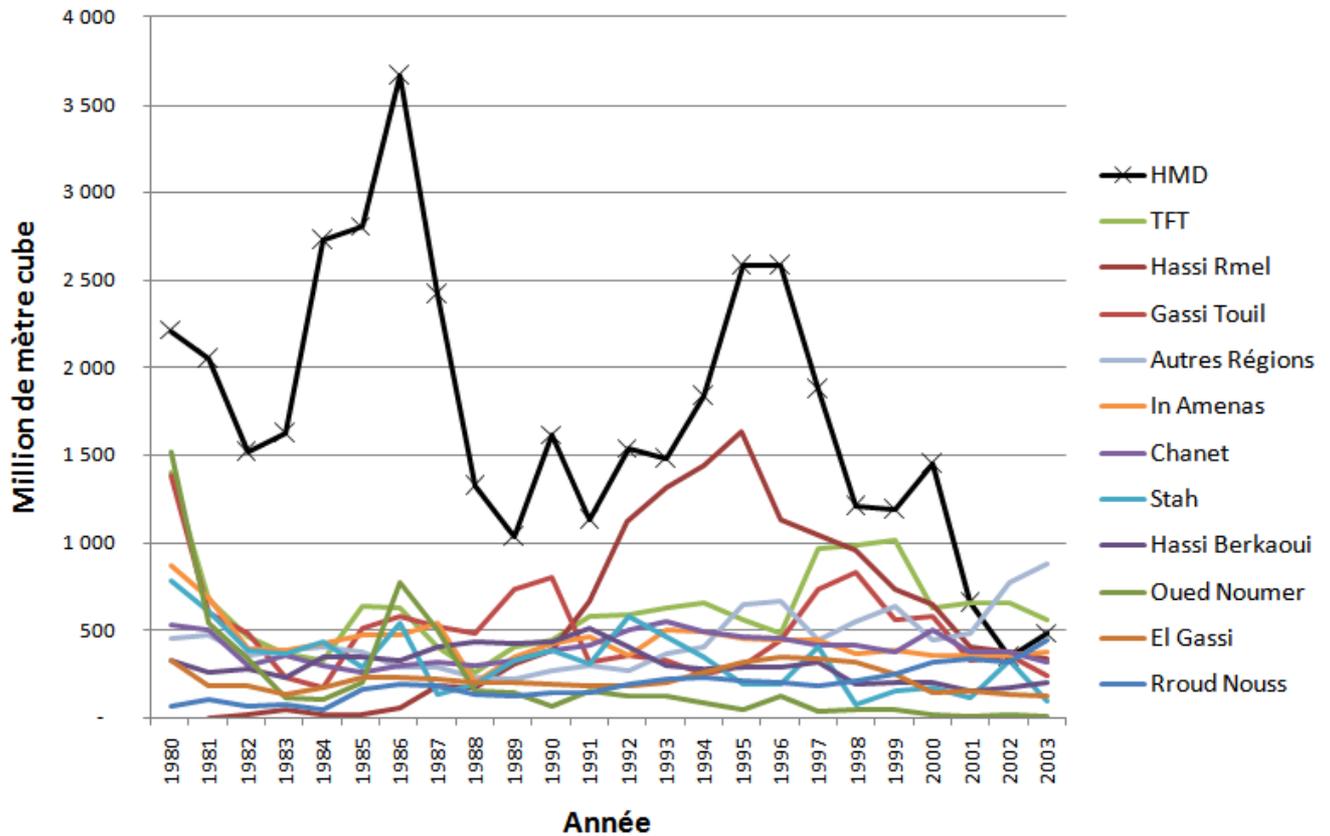


Figure 5.16 – Evolution de la quantité de gaz associés torchés de 1980 à 2003 à SH

Ce graphe montre qu'en général, toutes les structures ont enregistré des diminutions dans les quantités de gaz torchés. Cette diminution est expliquée par l'effort très considérable réalisé par SH pour la récupération de tous les gaz associés. Cette récupération se fait, essentiellement, par le biais des stations de Compression.

Nous remarquons que si la région HMD était responsable de 32% de la quantité totale des gaz torchés entre 1980 et 2003, elle est en revanche la structure qui a connu le taux de diminution le plus important. Cette diminution est expliquée par le nombre de stations de Compression qui a augmenté d'une manière très importante. En effet, la région HMD qui comptait seulement deux stations de réinjection de gaz en 1981, compte actuellement 12 stations.

Cependant ces efforts doivent être sauvegardés et améliorés pour minimiser les temps d'arrêt accidentels qui sont une source importante pour les gaz torchés. A titre d'exemple, en 2006, la quantité de gaz torché à HMD était $779\,154\,000\text{ m}^3$ sur un total Sonatrach de $3\,479\,481\,000\text{ m}^3$ émis.

5.2.9. Effort Formation non ciblée

L'effort de formation fourni par SH au personnel de maintenance est considérable comme le montre le graphe de la Figure 5.17.

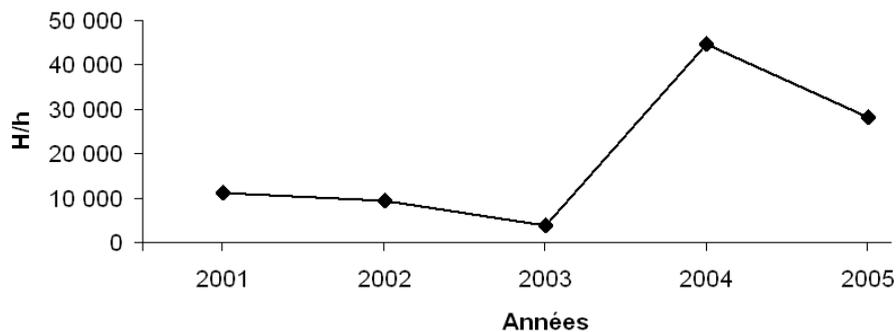


Figure 5.17 – Effort de formation en H/h

Cette courbe montre qu'en 2004 un effort très considérable a été fourni à la formation du personnel. Sachant que pour la même année, la capacité disponible en ressources humaines au sein de DM était 567365 H/h, ainsi l'effort de formation représentait 5% des H/h disponible, alors qu'elle ne représentait que 2% auparavant (2001, 2002 et 2003). Ce pourcentage a connu une baisse en 2005 pour atteindre 5%. En terme monétaire, les montants payés par SH en contre partie des prestations de formation reçues par le personnel de la région HMD, en 2006, a représenté 2% de la masse salariale de cette région.

Il reste que cette augmentation, dans l'effort de formation, n'est pas utilisée de la meilleure manière pour augmenter la productivité de la maintenance. En effet, nous avons constaté que l'effort de formation au sein du CIS n'est pas orienté vers les zones d'amélioration de la maintenance. Les programmes de formation sont décidés au niveau central sans prendre en considération les besoins réels des agents de maintenance. Cette situation rend la formation requise sans aucune répercussion directe sur l'efficacité des différentes tâches de maintenance,

5.3. Diagnostic du système de maintenance existant

L'amélioration du niveau d'efficacité de la fonction de maintenance au sein de CIS passe d'abord par la description de la situation existante. Cette description met l'accent sur les dysfonctionnements du système de maintenance. Ensuite il sera possible d'identifier les zones d'amélioration dans le système de maintenance. Dans le but de recenser les dysfonctionnements les plus importants du système de maintenance existant au sein du CIS, nous avons réalisé l'audit de la fonction maintenance au niveau des différentes unités de production qui composent le CIS. Les différentes étapes suivies durant l'audit de maintenance seront discutées ci-dessous (Aoudia *et al.*, 2008).

5.3.1. Questionnaire

Le questionnaire comprend 303 questions distribuées selon 12 facteurs en relation avec l'efficacité du management de maintenance. Ces facteurs sont :

- L'amélioration continue (23 questions)
- L'aspect financier (20 questions)
- Les ressources humaines (24 questions)

- Le management de l'information et la GMAO (20 questions)
- L'approche de maintenance (52 questions)
- Les moyens matériels (27 questions)
- L'organisation (29 questions)
- Le déploiement de la politique de maintenance (17 questions)
- La relation avec l'exploitation (34 questions)
- La gestion des pièces de rechange (17 questions)
- La planification et l'ordonnancement des tâches (23 questions)
- La formation (17 questions)

Ces facteurs sont déduits essentiellement de ceux cités par Cholasuke *et al.* (2004) auxquels nous avons introduit certains ajustements appropriés à la réalité de CIS. Ces ajustements sont :

1. Nous avons divisé l'axe « déploiement de politique et organisation » en deux facteurs « déploiement de la politique » et « organisation ». le but de cette séparation est de vérifier la nécessité de la nouvelle organisation que la direction de maintenance compte mettre en place pour améliorer l'efficacité de la maintenance.
2. Nous avons incorporé l'axe « externalisation de la maintenance » avec « déploiement de la politique ».
3. Nous avons rajouté trois autres axes. Le premier axe rajouté est « la relation de la maintenance avec l'exploitation ». Ce facteur est expliqué par l'organisation du complexe CIS qui distingue entre la Direction de Maintenance et celle de l'Exploitation (voir Figure 5.1., page 186). Ce type d'indépendance entre les deux directions peut être une cause pour l'inefficacité de la maintenance s'il n'existe pas un niveau élevé de coopération entre la maintenance et l'exploitation. Le deuxième axe rajouté est « les moyens matériels ». En effet, la direction de maintenance est appelée à intervenir sur tout le champ d'exploitation qui couvre plus de 2000 km² ce qui nécessite des moyens matériels importants pour intervenir d'une manière efficace lors d'un arrêt non planifié. Le troisième facteur rajouté est « la formation ». Nous avons montré précédemment que la maintenance connaît un nombre important d'accidents de travail. La formation a un rôle important à jouer pour faire diminuer ce nombre et améliorer ainsi l'efficacité de la maintenance en général.

5.3.2. Collecte d'information

Dans le but d'identifier les problèmes existants dans le système de maintenance de chaque unité de production du CIS, nous avons interviewé, au niveau de chaque unité de production (Satellites, Traitement, Compression, GPL1 et GPL2), le chef de service maintenance, 03 ingénieurs (mécanique, instrumentation et électricité) sélectionnés aléatoirement et 03 chefs d'équipe (mécanique, instrumentation et électromécanique) sélectionnés aussi d'une manière aléatoire. La durée de chaque interview était en moyenne de 3 heures et consistait à remplir le questionnaire conçu pour mesurer le niveau d'efficacité du management de maintenance selon les réponses aux 303 questions distribuées sur les précédents 12 axes.

5.3.3. Résultats

Les interviews ont donné un score pour chaque question. En conséquence, chaque facteur obtient un score moyen. Le score idéal pour chaque facteur est 100. Les résultats de l'audit peuvent ainsi être tracés autour d'un polygraphe. Chaque axe du polygraphe représente un des facteurs clés mentionnés auparavant.

Les scores obtenus pour chaque unité de CIS sont représentés par un polygraphe séparé dans les Figures 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 et 5.22. Par exemple, l'unité Traitement (Figure 5.18) a obtenu les scores suivants :

- L'amélioration continue (52/100)
- L'aspect financier (18/100)
- Les ressources humaines (77/100)
- Le management de l'information et la GMAO (43/100)
- L'approche de maintenance (58/100)
- Les moyens matériels (70/100)
- L'organisation (86/100)
- Le déploiement de la politique de maintenance (82/100)
- La relation avec l'exploitation (60/100)
- La gestion des pièces de rechange (56/100)
- La planification et l'ordonnancement des tâches (50/100)
- La formation (59/100)

Sur la base des scores obtenues, il devient facile de classer les axes selon leur degré de besoin à l'amélioration. Le Tableau 5.11, représente en ordre descendant, les axes qui exigent plus d'attention de la part du top management. Le premier axe qui doit être amélioré est l'aspect financier. En effet, le complexe de CIS a besoin d'un système efficace de la « maintenance costing ». Un tel système ne doit pas avoir seulement un intérêt historique mais aussi stratégique, aussi il doit permettre une optimisation des ressources utilisées non pas seulement par le processus de maintenance mais aussi au niveau de tout le complexe CIS. Ce système, ne doit pas seulement décrire les problèmes de la situation régnante, mais aussi encourager l'amélioration continue.

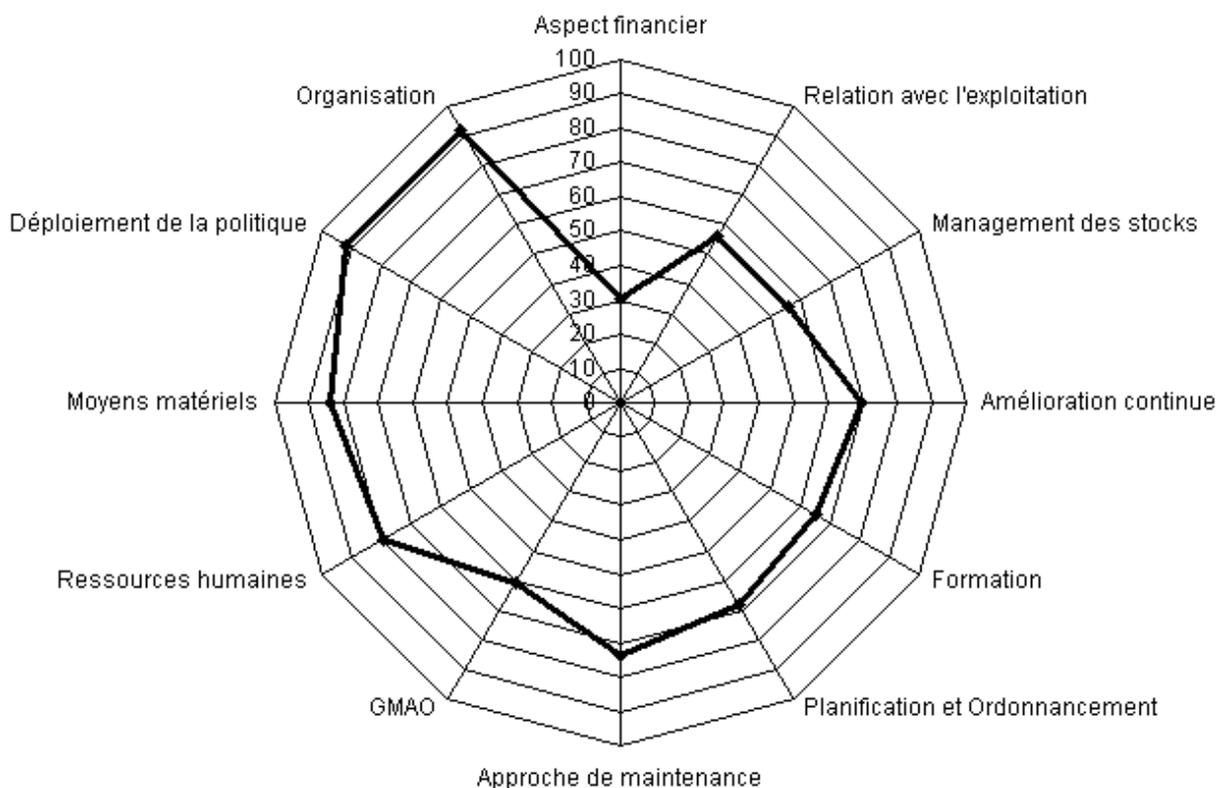


Figure 5.18 – Scores de l'unité Traitement

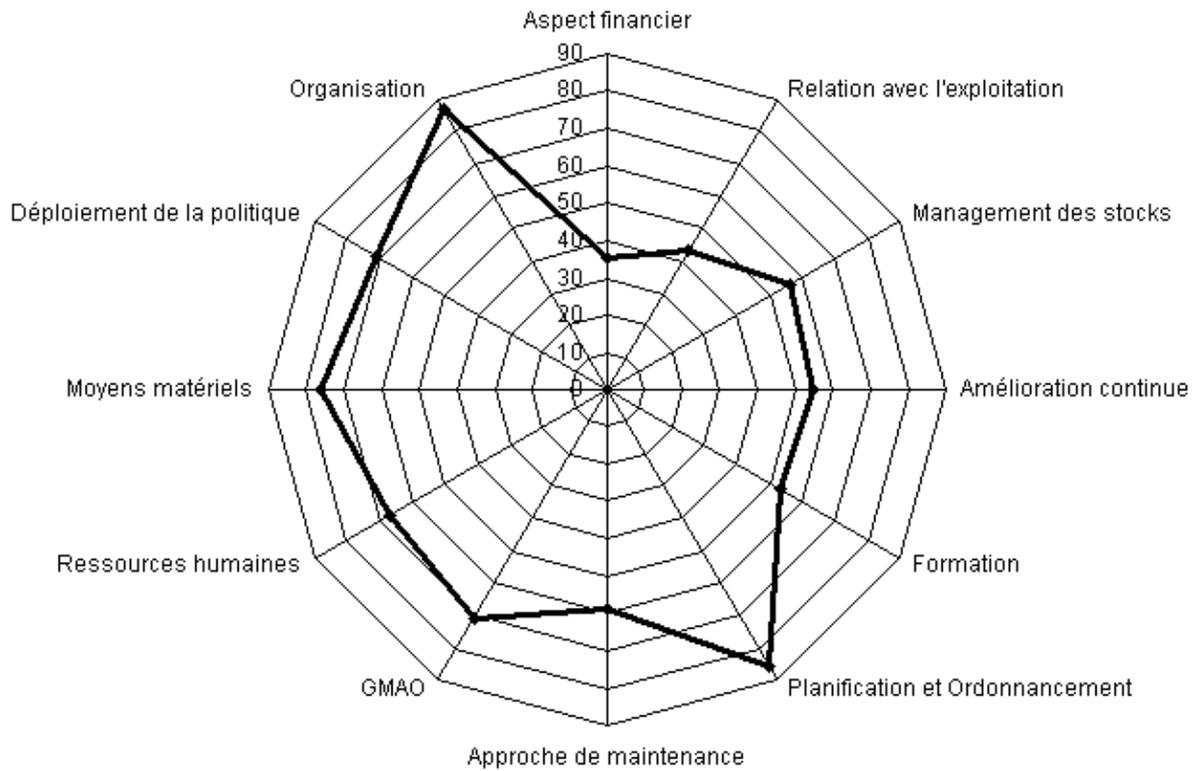


Figure 5.19 – Scores de l'unité Satellites

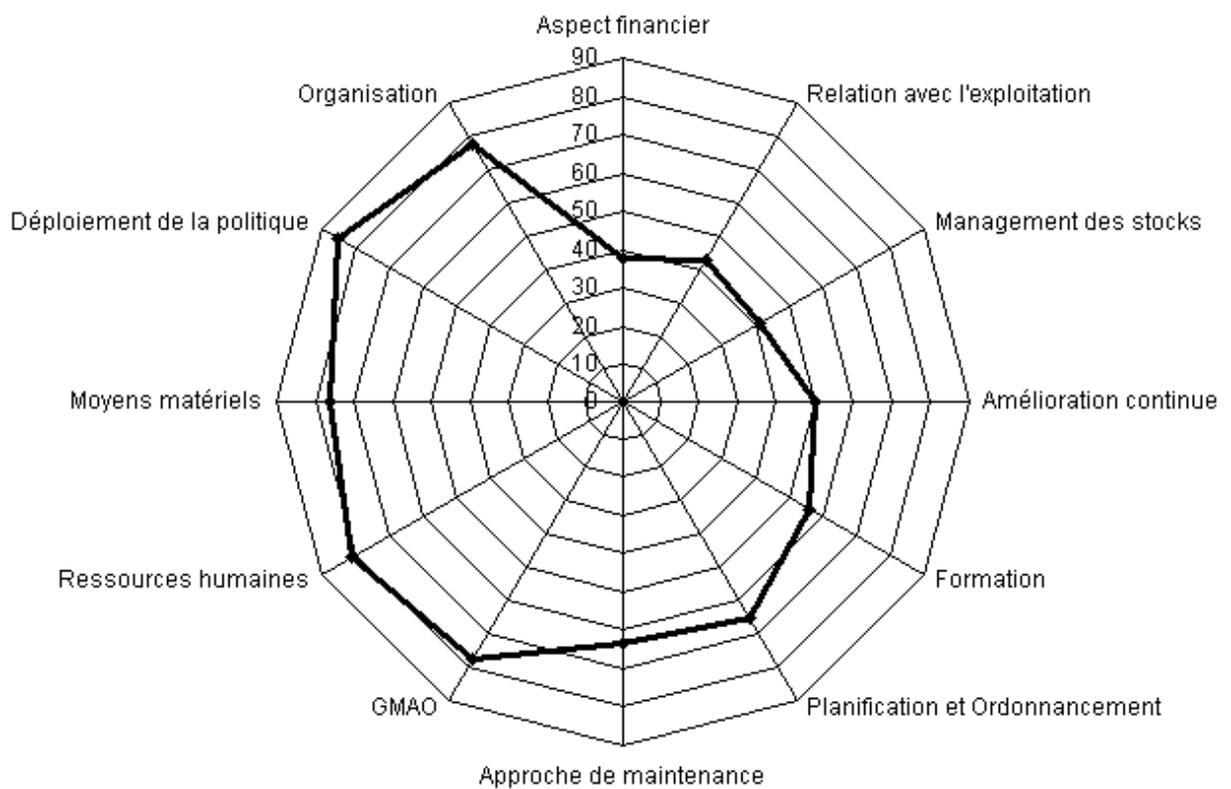


Figure 5.20 – Scores de l'unité GPL1

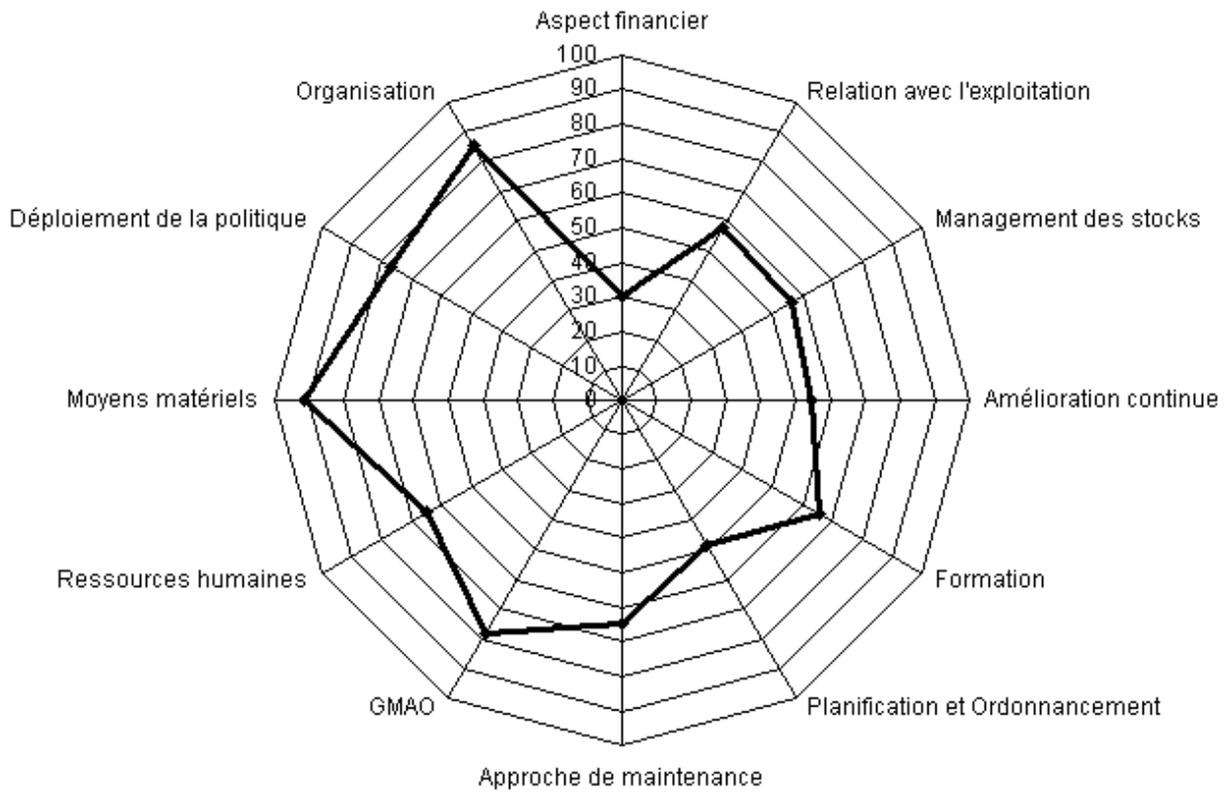


Figure 5.21 – Scores de l'unité GPL2

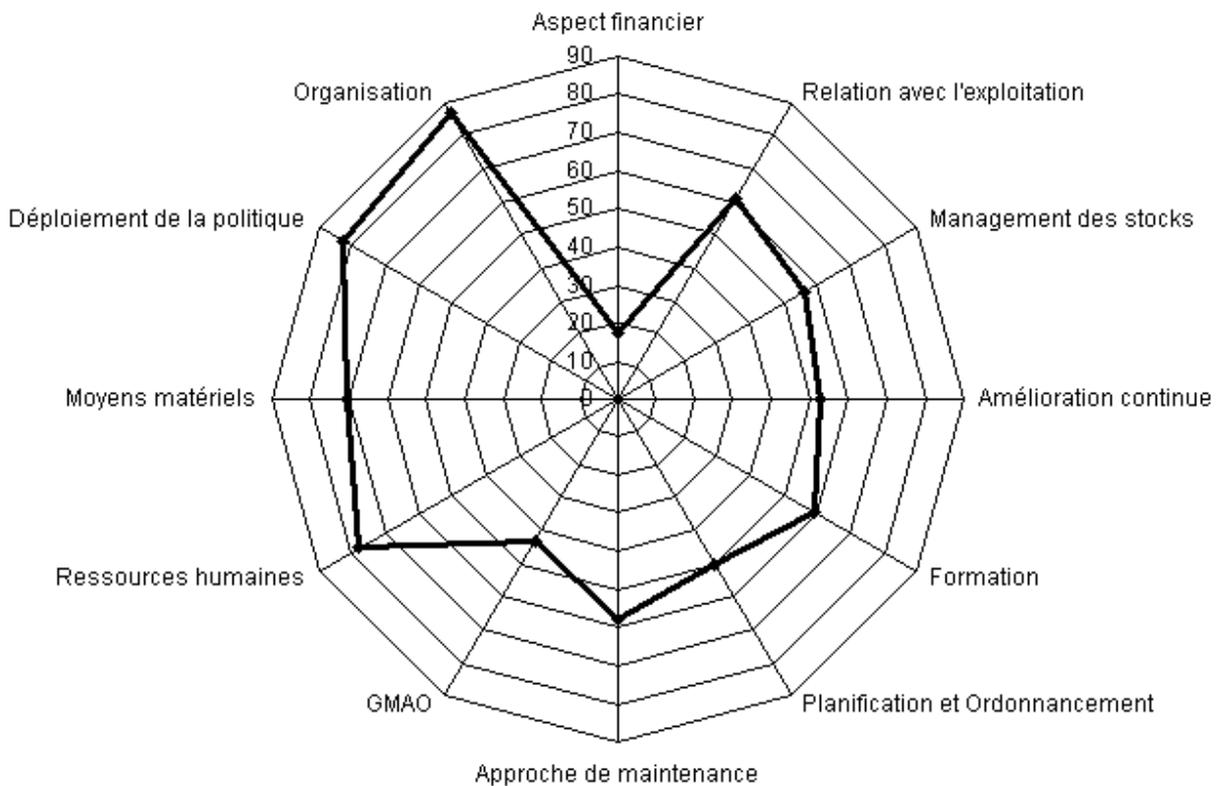


Figure 5.22 – Scores de l'unité Compression

Tableau 5.11 – Classement des axes d’audit selon des scores obtenus

Tranche de Score (%)	Axes d’audit
[0 , 50[Aspect financier
[50 , 60[Relation avec l’Exploitation Gestion de pièces de rechange Amélioration continue Formation
[60 , 80[Ordonnancement et planification des tâches Approche de maintenance Management de l’information management et GMAO Ressources humaines Moyens matériels
[80 , 100]	Déploiement de la politique Organisation

Dans le but de contribuer à l’élaboration d’un plan d’amélioration de la fonction maintenance au sein de CIS, nous présentons ci-dessous les insuffisances observées dans toutes les unités de production.

Aspect financier

- L'acquisition de données des coûts de maintenance se fait uniquement au niveau corporate.
- Le ratio de coût de maintenance préventive/corrective n’est pas connu donc pas suivi et c’est le cas même pour les machines stratégiques.
- Le système de maintenance costing existant n’est pas intégré dans le logiciel employé pour gérer le système de maintenance.
- Le système de costing existant ne fournit aucun feedback pour réduire le coût de maintenance.

Relation avec la Direction Exploitation

- La collaboration entre le personnel de l’exploitation et celui de la maintenance est insuffisante que ce soit avant ou après la réalisation des interventions de maintenance.
- Les demandes d’intervention de la maintenance sont toujours formulées par l’exploitation d’une manière verbale mais pas écrite.
- Les opérateurs d’exploitation ne jouent aucun rôle dans la maintenance et n’interviennent jamais dans les opérations de maintenance de niveau 1 (nettoyage des machines, contrôle des niveaux, ajustements élémentaires, ...)

Management des pièces de rechange

- Le stock de pièces de rechange n’est pas géré d’une manière systématique, par exemple il n’existe pas un système pour identifier le minimum ou le maximum de pièces pour commander à nouveau des pièces de rechange.
- Le stock des pièces de rechange disponibles n’est pas mis à jour régulièrement. Souvent, le personnel de maintenance doit vérifier sur place la disponibilité des pièces faute de mise à jour.
- Les pièces de rechange sont fournies selon une procédure basée sur le choix du moindre prix au lieu d’être basée sur la qualité et la fiabilité des fournisseurs.

- Il y a un important retard dans l'approvisionnement des pièces (en moyenne un contrat de fourniture de pièces est signé après 02 ans de l'appel d'offre).
- La gestion actuelle des stocks ne comprend pas une procédure d'approvisionnement spéciale pour les pièces des équipements stratégiques.
- Il n'existe pas un processus pour l'élimination des pièces de rechange utilisées.

Amélioration continue

- Absence d'indicateurs de performance pour le système de maintenance.
- Aucun outil scientifique n'est utilisé pour améliorer le fonctionnement du processus de maintenance (FMEA, Pareto Analysis, Fault Tree Analysis, Traitement Statistique, etc.).
- Les procédures nécessaires pour gérer et contrôler d'une manière satisfaisante le travail de maintenance sont insuffisantes.
- Les risques incombés aux tâches de maintenance ne sont pas assez évalués.

Formation

- La politique de formation ne répond pas convenablement aux besoins du travail de maintenance (par exemple : nouvelles technologies, normes qualité, élaboration des cahiers des charges, informatique, ...).
- Le personnel nouvellement recruté n'est pas formé d'une manière appropriée.
- Les connaissances acquises lors des formations ne sont pas appliquées pour améliorer la performance de la maintenance.

Planification et ordonnancement des tâches

- Il n'existe pas un système pour définir des priorités des interventions (préventives ou correctives).
- Les délais des révisions ne sont pas toujours respectés.
- Les ordres de maintenance n'identifient pas toujours les mesures de sécurité exigées, les procédures, les tests à conduire avant le redémarrage de l'équipement maintenu.

Approche de maintenance

- La maintenance conditionnelle n'est pas implantée, alors que son apport est très utile.
- Le programme de maintenance préventive néglige les vérifications systématiques et les inspections visuelles des machines et des équipements.
- Il n'existe pas de système des fiches préétablies à employer pour les visites systématiques.
- Le programme de maintenance est basé uniquement sur les recommandations des fabricants et l'expérience de fonctionnement n'est pas prise en compte.
- Il existe beaucoup d'interventions curatives et les urgences sont toujours existantes.

Management de l'information et GMAO

- L'enregistrement des données n'est pas systématique et certaines données enregistrées ne sont pas vérifiées (par exemple les temps d'intervention enregistrés sur les ordres de maintenance).
- L'enregistrement historique des équipements n'est pas conforme, même s'il existe pour certaines machines stratégiques, il n'est pas mis à jour systématiquement.
- L'historique de la maintenance corrective ne contient pas la cause de la défaillance.
- Le logiciel de maintenance adopté actuellement au sein de CIS offre plusieurs fonctions mais il demeure nettement sous-utilisé, particulièrement au niveau des services.
- Le logiciel de maintenance adopté actuellement au sein de CIS n'est pas accompagné de l'appui approprié tout le long de sa durée de vie (mises à jour, manuels, formation, etc.).

- La base de données des tâches de maintenance est incomplète ; par exemple, elle ne comprend pas les tâches génériques, la liste des outils, la documentation nécessaire, les heures-homme à alloués, les pièces de rechange exigées, etc.

Ressources humaines

- Il y a une incohérence entre certaines positions hiérarchiques et le travail réel.
- Il y a une incohérence entre l'effectif réel et l'organigramme. Par exemple en 2005, l'effectif était de 565 alors que l'organigramme prévoyait un nombre de 743.
- Les procédures administratives sont très lentes pour le recrutement du nouveau personnel.
- Le système de relève (4 semaines de travail x 3 semaines de repos) ne permet pas une meilleure attribution du personnel et augmente le taux d'absentéisme.
- Il y a un manque de motivation chez le personnel de maintenance.

Moyens matériels

- Les outils sont insuffisants (caisses à outils, outils généraux et outils spéciaux) et ne sont pas remplacés régulièrement.
- Il existe un manque important des moyens informatique, de locomotion, équipements d'ateliers et moyens pour diagnostic sur site, etc.
- Les ateliers ne sont pas assez commodes pour le personnel de maintenance et ne disposent pas de tous les équipements adéquats pour soutenir le système de maintenance.
- Il n'existe pas d'équipements appropriés pour l'élimination de rebut de maintenance.
- Les anciennes unités manquent de documentation technique et la documentation existante n'est pas mise à jour régulièrement.

Déploiement de la politique

- Absence de document qui décrit la politique de maintenance au sein du complexe CIS.
- Absence d'une stratégie écrite pour la maintenance.
- Absence d'une politique de sous-traitance des travaux de maintenance.
- Le top management de la compagnie vient toujours de la direction de production ou d'exploitation mais jamais de la maintenance.
- La direction de production bénéficie de plus de moyens matériels par rapport aux directions d'exploitation et de maintenance.
- Pour certains cas la maintenance n'arrive pas à décrocher l'accord de la Direction Exploitation pour l'arrêt des machines et des équipements stratégiques pour la réalisation de la révision.

Organisation

- Certains rôles sont redondants ; par exemple, il y a une confusion dans la préparation des interventions de maintenance entre le service méthode et le service préparation.
- Certaines responsabilités ne sont pas assez délimitées ; par exemple la responsabilité d'enregistrement des ordres de travail n'est pas bien déterminée entre les différents services d'intervention et le service de préparation.
- La maintenance participe à la définition des besoins en pièces détachées mais ne participe pas à la définition des critères de gestion des pièces de rechange.

5.4. Recommandations

Nous proposons les recommandations suivantes, dans le but d'améliorer l'efficacité du système de maintenance au sein de CIS

L'aspect financier

- Il est nécessaire d'installer au sein du CIS un système adéquat pour la maintenance costing en mesure d'aider le manager de maintenance à prendre les décisions les plus appropriées.
- Ce système de maintenance costing devrait être une fonction intégrale du logiciel employé pour gérer le système de maintenance.

La relation avec l'exploitation

- Les opérateurs devraient être formés pour réaliser les opérations de maintenance de 1^{er} niveau. La responsabilisation et l'amélioration du sentiment de propriété chez ces opérateurs sont susceptibles d'améliorer la collaboration entre les structures d'exploitation et de maintenance.

La gestion des pièces de rechange

- Les pièces de rechange peuvent être tenues centralement et à chaque emplacement de travail. L'inventaire des pièces de rechange doit identifier l'endroit de stockage et doit être complet, précis et à jour.
- Un système minimum et maximum pour la commande des pièces de rechange, doit être mis en place pour signaler automatiquement la pièce de rechange à commander lorsque le niveau minimum a été atteint.
- Les niveaux des pièces de rechange devraient être proportionnés pour la maintenance courante et peuvent comprendre des pièces vitales (approvisionnement pressant difficile).
- Les pièces de rechange des équipements stratégiques devraient être de qualité supérieure, certifiées et fournies par des fournisseurs très réputés pour la qualité de leurs pièces. Le système de maintenance devrait définir le processus pour l'élimination des pièces de rechange utilisées.
- Toutes les pièces de rechange devraient être à la protection proportionnée contre des dommages accidentels, des conditions environnementales nuisibles et, en cas de besoin, soient stockées dans une atmosphère commandée avec le chauffage, la ventilation, la climatisation et avec une humidité contrôlée, selon le besoin.
- Les endroits où une matière dangereuse est stockée dans le service, ou à côté du service, devraient être enfermés avec un accès verrouillé.

L'amélioration continue

- Il est important de restaurer une procédure qui facilite les propositions d'améliorations de tout le personnel intéressé. Toutes ces propositions devraient être soumises à un processus d'évaluation de leurs pertinences. Tous les changements réalisés doivent être enregistrés.
- Les archives de maintenance devraient être sujettes à la révision et l'analyse systématique pour améliorer l'efficacité du système de maintenance et pour identifier des éléments bénéfiques pour l'action d'amélioration. L'historique et les données de maintenance devraient être employés pour :
 - o évaluer le niveau d'accomplissement des objectifs et indicateurs de performance du système de maintenance ;
 - o analyser la tendance des données de suivi conditionnel ;

- estimer les fréquences de mode de défaillance d'équipement ;
- identifier les causes de racine des défaillances.
- L'engagement du top management dans l'amélioration du système de maintenance devrait être reflété dans l'appui continu et dans l'évaluation régulière de :
 - la performance et la pertinence du programme de maintenance ;
 - les ressources exigées ;
 - l'efficacité de management ;
 - la santé et la sécurité.

La formation

- Le personnel de maintenance devrait recevoir la formation nécessaire pour lui permettre de travailler sans risque et efficacement.

La planification et l'ordonnancement des tâches

- La maintenance corrective devrait être intégrée dans le programme de maintenance.
- Le système de maintenance devrait incorporer un processus d'analyse, de contrôle et de suivi des tâches de maintenance différées.

L'approche de maintenance

- La première étape essentielle dans un programme de maintenance est un programme d'inspection quotidienne. Les inspections visuelles devraient être conduites au moins deux fois par jour et incorporent tous les espaces accessibles contenant les machines en fonctionnement. Ces inspections n'ont pas besoin d'être incorporées dans le système de maintenance comme étant des tâches de maintenance avec des ordres de maintenance établis, mais peuvent être enregistrées dans l'historique de maintenance s'il y a lieu.
- Le prélèvement et l'analyse de l'huile, des eaux et des produits chimiques devront être des tâches routinières qui contribuent à une plus complète évaluation de l'état de fonctionnement des équipements. Ces tâches devraient être contrôlées et enregistrées mais pas nécessairement dans le système des ordres de travail des tâches de maintenance, mais avec leurs propres procédures. Ces analyses périodiques peuvent être faites par des laboratoires pour une analyse détaillée.

Le management de l'information et la GMAO

- Suite à l'accomplissement d'un ordre de maintenance les résultats, les données et l'historique devraient être enregistrés convenablement pour permettre l'analyse des pannes et l'amélioration du programme de maintenance. Les causes des défaillances devraient être déterminées. L'impact des ces défaillances devrait également être évalué afin de réduire au minimum la possibilité de répétition. Il faudra allouer le temps et les moyens permettant cela.
- Le fournisseur de logiciel de maintenance devrait aussi fournir le soutien nécessaire tout le long de son cycle de vie (familiarisation, formation appropriée, mises à jour et manuels).

Les ressources humaines

- Le temps et les qualifications nécessaires devraient être disponibles pour conduire n'importe quelle analyse des indicateurs de performance ou de données historiques sur le système de maintenance qui peut être exigée par l'organisation.

Les moyens matériels

- La construction et la disposition mécaniques et électriques d'atelier devraient se conformer à toutes les conditions de HSE. Les ateliers devraient avoir des équipements proportionnés pour soutenir le système de maintenance.
- Un système efficace de maintenance devrait maintenir et avoir accès à des stocks suffisants d'outils et d'équipements de maintenance pour faciliter la conduite appropriée des tâches comprises dans le programme de maintenance. L'utilisation des outils et l'équipement devraient se conformer aux conditions de HSE.
- Particulièrement, le nombre de postes d'ordinateur pour le travail devraient être très suffisant pour le système de maintenance. Ils devraient être situés dans des endroits appropriés.
- Des équipements suffisants et appropriés devraient être disponibles pour l'élimination de rebut de maintenance. Ceci devrait comprendre les pièces, les produits chimiques, huiles, électronique, plastique utilisé, usinage, scories et perte d'emballage. La collection, la ségrégation, le rangement et l'élimination de la perte sous toutes ses formes sont sujets à de normalisation et conditions réglementaires qui devraient être adhérentes dans tous les aspects. Une archive claire, précise et contrôlable de l'élimination des déchets devrait être documentée.

Le déploiement de la politique de maintenance

- Il est important que la politique et la stratégie de maintenance soient écrites. La politique, définit la portée et la nature des tâches qui seront adressées par le système de maintenance, les moyens à prévoir pour réaliser ces tâches et les principes à suivre. La stratégie devrait définir comment le système de maintenance sera développé, structuré, managé et évalué.

Organisation

- Le processus de maintenance exige des procédures pour gérer et contrôler d'une manière satisfaisante le travail impliqué. Ces procédures devraient être sujettes à la révision et à l'audit pour établir leur pertinence continue et leur respect. Une procédure devrait être suivie, modifiée, remplacé ou retiré.
- Les risques impliqués dans des tâches de maintenance devraient être évalués et compris. Ceci en particulier s'applique à la maintenance corrective. Chaque unité doit effectuer une évaluation des risques dans le lieu de travail. L'évaluation des risques devrait être documentée. Des procédures de sécurité standard devraient être documentées et les tâches auxquelles elles s'appliquent devraient être identifiées. La maintenance des équipements de sécurité (équipement de lutte contre l'incendie, systèmes d'alarme, les arrêts d'urgence, etc.) devrait être régulière et contrôlée.

5.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé un audit du système de maintenance existant au niveau des différentes unités de production du complexe industriel CIS de la région de production Hassi Messaoud du groupe pétrolier Sonatrach. Le but de cet audit est de détecter les différents dysfonctionnements responsables de l'inefficacité de la maintenance.

Le point de départ de notre analyse était l'écart entre le programme de maintenance tel qu'il a été tracé au départ et celui qui a été réellement réalisé. Cet écart est important et a engendré des arrêts non planifiés des équipements et machines stratégiques au niveau des différentes

unités de production qui composent le complexe industriel CIS. Ces arrêts non planifiés représentent en moyenne 66% du temps improductif du complexe, alors que les arrêts planifiés ne représentent que 2%. En plus de cela, la maintenance au sein du complexe CIS reste le métier qui a le plus de risque d'accident du travail. Une partie de ces accidents est causée par la mauvaise préparation des travaux de maintenance donc par l'inefficacité de maintenance.

Pour détecter les causes de l'inefficacité de la fonction maintenance, nous avons utilisé un questionnaire comportant 303 questions distribuées sur 12 axes différents en relation avec le niveau de performance du système de maintenance. Nous avons constaté que le niveau de productivité de maintenance est proche d'une unité à une autre et nous avons ainsi dressé la liste des dysfonctionnements communs entre les différentes unités pour aider le top management à tracer un plan d'amélioration de performance de la maintenance. Le diagnostic du système de maintenance a montré que le premier élément qui a besoin de plus d'amélioration était le système de la «maintenance costing». Le but du chapitre prochain est la conception d'un cadre pour la « maintenance costing ».

Chapitre 6

Chapitre 6

Evaluation économique et simulation

Le chapitre précédent nous a fourni une vue d'ensemble sur le contexte de la maintenance au sein du CIS. Il nous a aussi permis d'énumérer un certain nombre de causes responsables du dysfonctionnement du système de maintenance. A ce sujet, nous avons fourni quelques recommandations qui peuvent être adoptées pour remédier aux non-conformités et aux insuffisances qui caractérisent actuellement la fonction maintenance au CIS.

Ce travail constitue une première étape nécessaire pour pouvoir poursuivre l'application de l'approche que nous avons proposée dans la deuxième partie de cette thèse. Plus une démarche d'amélioration s'approche des vrais obstacles qui contraignent la performance, plus sa probabilité de réussite, une fois appliquée, est grande. A ce titre nous avons noté dans le chapitre précédent, que le management de maintenance a besoin en premier lieu de construire son système de maintenance costing. Ce constat est montré clairement à travers le résultat obtenu par le facteur "Axe financier" du questionnaire utilisé dans le diagnostic. En conséquence, notre travail qui vise à fournir au management un outil basé sur le CCV pour l'amélioration stratégique de la maintenance, vient pour répondre à un besoin réel et prioritaire au sein du CIS.

Nous avons mentionné, précédemment, que le coût direct de maintenance se rapporte aux actions de maintenance préventives ou correctives déterminées dans les plans tracés pour maintenir le système durant tout son cycle de vie. Nous avons défini deux composantes pour ce coût : le coût tangible et le coût intangible. Le coût tangible se détermine par la valeur des ressources allouées au fonctionnement du processus de maintenance. 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.

A ce propos, nous présentons dans ce chapitre une application concrète de l'approche que nous avons proposée afin qu'elle soit testée et validée. Dans la première section, nous estimons le coût tangible de maintenance au niveau du CIS 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 CIS. 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 section de ce chapitre, afin de mettre en évidence les éléments qui permettront de proposer un plan d'amélioration de la maintenance qui minimisera le CCV.

Avant d'expliquer en détail la méthodologie suivie pour réaliser les calculs, il est important d'énoncer dès le départ les hypothèses que nous avons adoptées pour obtenir les résultats présentés dans ce chapitre. Il s'agit notamment de :

- Le taux de change utilisé est celui de 2005 (72,6 DA/\$).
- Le logiciel employé dans la simulation du comportement dynamique est Vensim PLE Version 5.8c. Nous n'avons pas pu obtenir une version complète de ce logiciel ce qui nous a obligé, dans certains cas à accepter certaines hypothèses simplistes.

- Le cycle de vie admis est de 30 ans (360 mois).
- Le taux d'actualisation adopté est de 10%.
- Les résultats de ce chapitre seront donnés en Dollar constant 2005.

6.1. Estimation du CCV de maintenance du CIS

Nous commençons tout d'abord par estimer le CCV au niveau du CIS avant de s'intéresser plus particulièrement à l'unité qui représente l'inducteur de coût.

6.1.1. Estimation des coûts tangibles 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. Nous avons rassemblé toutes les informations qui concernent l'utilisation ou la consommation de ces ressources pour chaque structure (Direction, Département ou Service) figurant dans l'organigramme de la DM (voir Figure 5.3, page 188).

Nous nous sommes basés sur les informations qui concernent les exercices (2001 - 2005) pour construire les Tableaux des coûts sous la forme présentée par le Tableau 6.1.

Tableau 6.1 – Distribution du coût tangible

Ressources/Sous processus	1. Piloter	2. Planifier	3. Programmer	4. Réaliser
1. Frais Personnel	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}
2. Matières et Pièces	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}
3. Services généraux	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}
4. Services d'information	C_{14}	C_{24}	C_{34}	C_{44}
5. Immobilisations	C_{15}	C_{25}	C_{35}	C_{45}
6. Fournisseurs externes	C_{16}	C_{26}	C_{36}	C_{46}
Total	C_{PILO}	C_{PLAN}	C_{PROG}	C_{REAL}

Cependant, il est important d'enregistrer quelques remarques à ce sujet :

- Le coût des services d'information (C_{14} , C_{24} , C_{34} , C_{44}) a été inséré dans le coût des services généraux (C_{13} , C_{23} , C_{33} , C_{43}).
- Tous les coûts qui apparaissent dans la deuxième rubrique (Matières et pièces) ne concernent que le coût des consommables qui ne sont pas liés aux travaux de réalisation des différentes tâches de maintenance.
- Tous les coûts qui apparaissent dans la sixième rubrique (Fournisseurs externes) ne concernent que le coût des prestations autres que celles liées aux travaux de réalisation des différentes tâches de maintenance.
- Le coût de réalisation dans les Tableaux suivants (de 6.5 à 6.8) ne représente que le coût d'utilisation d'une unité de capacité, c'est-à-dire que pour obtenir le coût de réalisation d'une tâche de maintenance sur un élément du système il faudra prendre en considération le coût lié aux pièces de rechange ainsi que le prix des prestations de services si la tâche en question est externalisée en totalité ou en partie.

- Les coûts C_{PILO} , C_{PILO} , C_{PILO} , C_{REAL} sont obtenus par les équations 4.6, 4.7, 4.8 et 4.9 (page 162).

Les résultats de toutes les structures sont donnés par les Tableaux ci-dessous (de 6.2 à 6.8).

Processus de pilotage : Estimation de C_{PILO} , C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{15} , C_{16}

Tableau 6.2 – Coût d’une heure de capacité du processus de pilotage

Désignation	Direction maintenance
1. Frais personnel	1 489 961
2. Matières et pièces (consommables uniquement)	85 913
3. Services généraux (électricité et gaz)	2 084 675
5. Immobilisation – amortissement	21 021
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	15 066
Total (US\$/an)	3 696 636
Main d'œuvre (h/an)	191 059
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	19

Processus planification : Estimation de C_{PLAN} , C_{21} , C_{22} , C_{23} , C_{25} , C_{26}

Tableau 6.3 – Coût d’une heure de capacité du processus de planification

Désignation	Département méthodes
1. Frais personnel	1 021 424
2. Matières et pièces (consommables uniquement)	29 595
3. Services généraux (électricité et gaz)	2 478 769
5. Immobilisation – amortissement	24 995
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	22 963
Total (US\$/an)	3 577 747
Main d'œuvre (h/an)	91 041
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	39

Processus programmation : Estimation de C_{PROG} , C_{31} , C_{32} , C_{33} , C_{35} , C_{36}

Tableau 6.4 – Coût d’une heure de capacité du processus de préparation

Désignation	Département Maintenance centrale	Département Maintenance CINA	Département Maintenance CIS	Département Maintenance compression
1. Frais personnel	935 758	596 201	621 041	419 887
2. Matières et pièces (consommables)	331	1 527	708	45
3. Services généraux (électricité et gaz)	20 455 422	20 719	138 151	33 929
5. Immobilisation – amortissement	206 264	209	1 393	342
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	1 055	5 015	1 784	308
Total (US\$/an)	21 598 830	623 671	763 077	454 511
Main d'œuvre (h/an)	250 200	51 331	50 879	9 643
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	86	12	15	47

Processus de réalisation :

Tableau 6.5 – Coût d’une heure de capacité du processus de réalisation (Département Maintenance Centrale)

Désignation	Service mécanique	Service instrumentation	Service chaudronnerie	Service électromécanique
1. Frais personnel	448 576	145 209	460 932	297 393
2. Matières et pièces (consommables)	1 356	418	5 098	7 852
3. Services généraux (électricité et gaz)	348 787	55 257	200 981	3 000
5. Immobilisation – amortissement	3 517	557	2 027	30
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	10 085	912	2 904	2 507
Total (US\$/an)	812 321	202 353	671 942	310 782
Main d'œuvre (h/an)	15 138	10 206	27 680	13 121
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	54	20	24	24

Tableau 6.6 – Coût d’une heure de capacité du processus de réalisation (Département Compression)

Désignation	Turbomachines	Electronique Automatisation	Télémetrie	Compression Nord	Compression Sud
1. Frais personnel	607 471	446 895	170 035	940 456	1 685 715
2. Matières et pièces (consommables uniquement)	4 634	9 909	1 921	1 703	3 586
3. Services généraux (électricité et gaz)	91 532	1 065 425	1 016	639 170	24 457
5. Immobilisation – amortissement	923	10 743	10	6 445	247
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	16 420	11 905	23 702	5 518	11 033
Total (US\$/an)	720 980	1 544 877	196 685	1 593 291	1 725 037
Main d'œuvre (h/an)	51 523	34 527	17 656	39 189	71 842
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	14	45	11	41	24

Tableau 6.7 – Coût d’une heure de capacité du processus de réalisation (Département CINA)

Désignation	Traitement nord	Satellites nord	GPL Nord
1. Frais personnel	900 195	765 257	438 884
2. Matières et pièces (consommables uniquement)	5 615	1 246	1 315
3. Services généraux (électricité et gaz)	41 603	306 168	7 393
5. Immobilisation – amortissement	420	3 087	75
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	8 748	14 053	2 293
Total (US\$/an)	956 580	1 089 812	449 959
Main d'œuvre (h/an)	40 505	44 287	30 564
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	24	25	15

Tableau 6.8 – Coût d’une heure de capacité du processus de réalisation (Département CIS)

Désignation	Satellites sud	GPL 1 sud	GPL 2	Traitement sud	Raffinerie
1. Frais personnel	551 692	590 803	429 180	376 217	481 573
2. Matières et pièces (consommables uniquement)	2 970	1 111	1 004	1 203	787
3. Services généraux (électricité et gaz)	260 140	20 883	4 409	544 077	244 440
5. Immobilisation – amortissement	2 623	211	44	7 951	-
6. Fournisseurs externes - prestations reçues	11 170	15 312	4 776	4 918	5 829
Total (US\$/an)	828 595	628 320	439 415	934 365	732 628
Main d'œuvre (h/an)	50 956	38 553	28 622	30 961	32 712
Coût d'une heure de capacité (US\$/h)	16	16	15	30	22

Tous ces résultats sont rassemblés dans le schéma de la Figure 6.1.

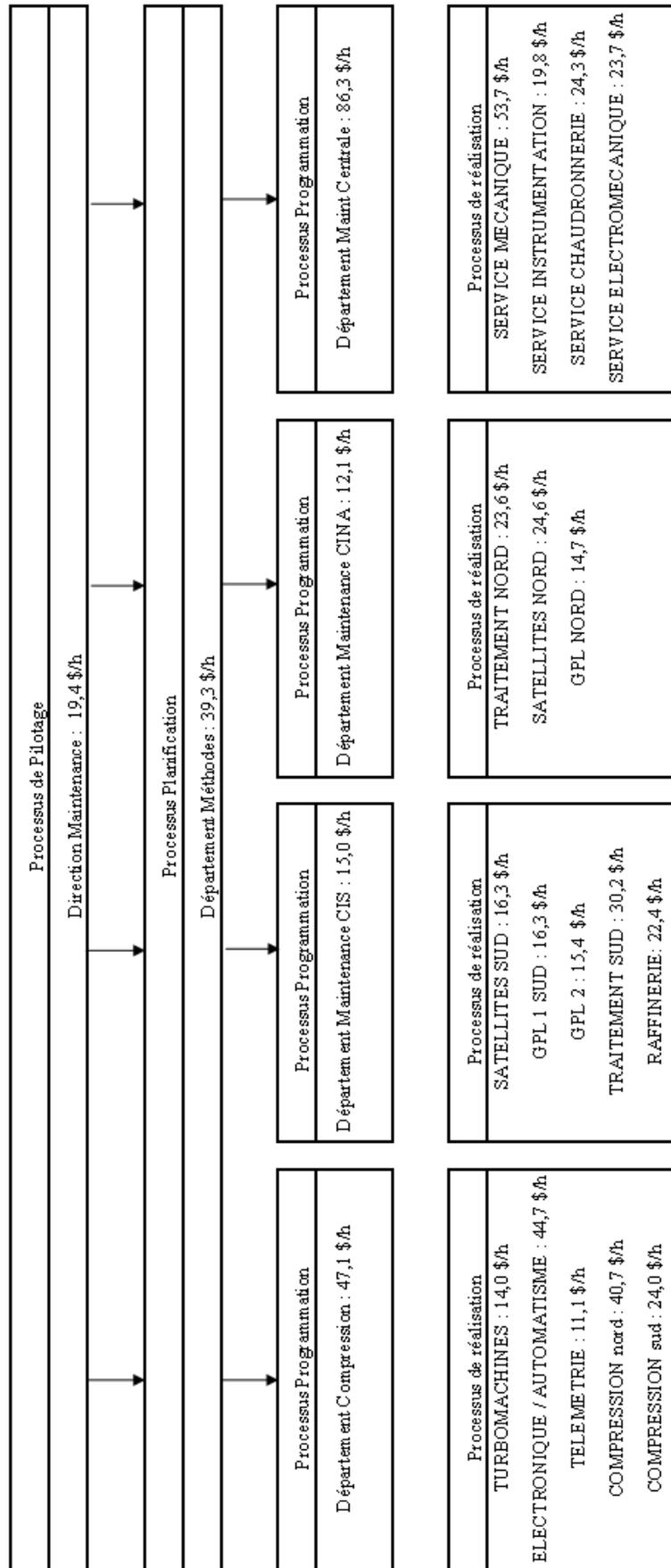


Figure 6.1 – Coût d’une heure de capacité du processus de maintenance

La distribution des coûts C_{PILO} , C_{PLAN} et C_{PROG} sur les différents éléments du système se fait en utilisant, respectivement, les équations 4.10 (page 164), 4.12 (page 165) et 4.14 (page 166).

Concernant le coût de réalisation (C_{REAL}), il est nécessaire de rajouter les coûts de pièces de rechange et aussi les coûts des prestations de services liés à la réalisation des tâches de maintenance, comme l'illustre l'équation 4.23 (page 169).

6.1.2. Simulation du Coût tangible de maintenance

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. Pour cette raison, nous avons utilisé le logiciel Vensim PLE version 5.8c.

Les diagrammes des flux et des niveaux du coût tangible direct et du coût direct intangible sont donnés par les Figures 6.2 et 6.3 respectivement.

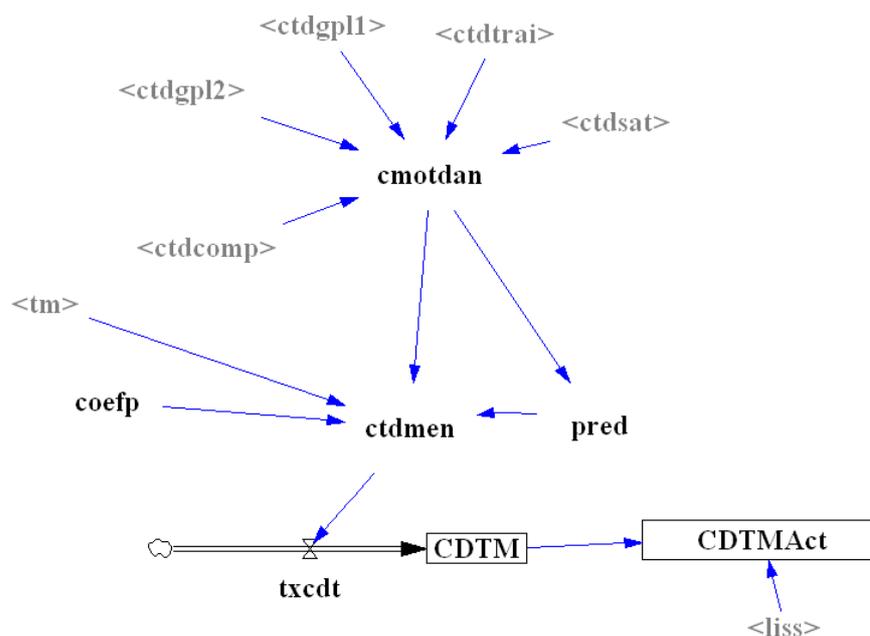


Figure 6.2 – Diagramme du Coût tangible (direct) actualisé

Les résultats de la simulation du coût tangible, du coût tangible direct et du coût tangible indirect, actualisés sont donnés, respectivement, par les Figures 6.4, 6.5 et 6.6.

Les résultats montrent que, pendant la première année du cycle de vie considéré, une partie évaluée à 31 M\$ (million de dollar américain) du coût de maintenance est liée aux travaux de maintenance non planifiée, alors que le coût des travaux de maintenance planifiée, pour la même année, est évalué à 22 M\$.

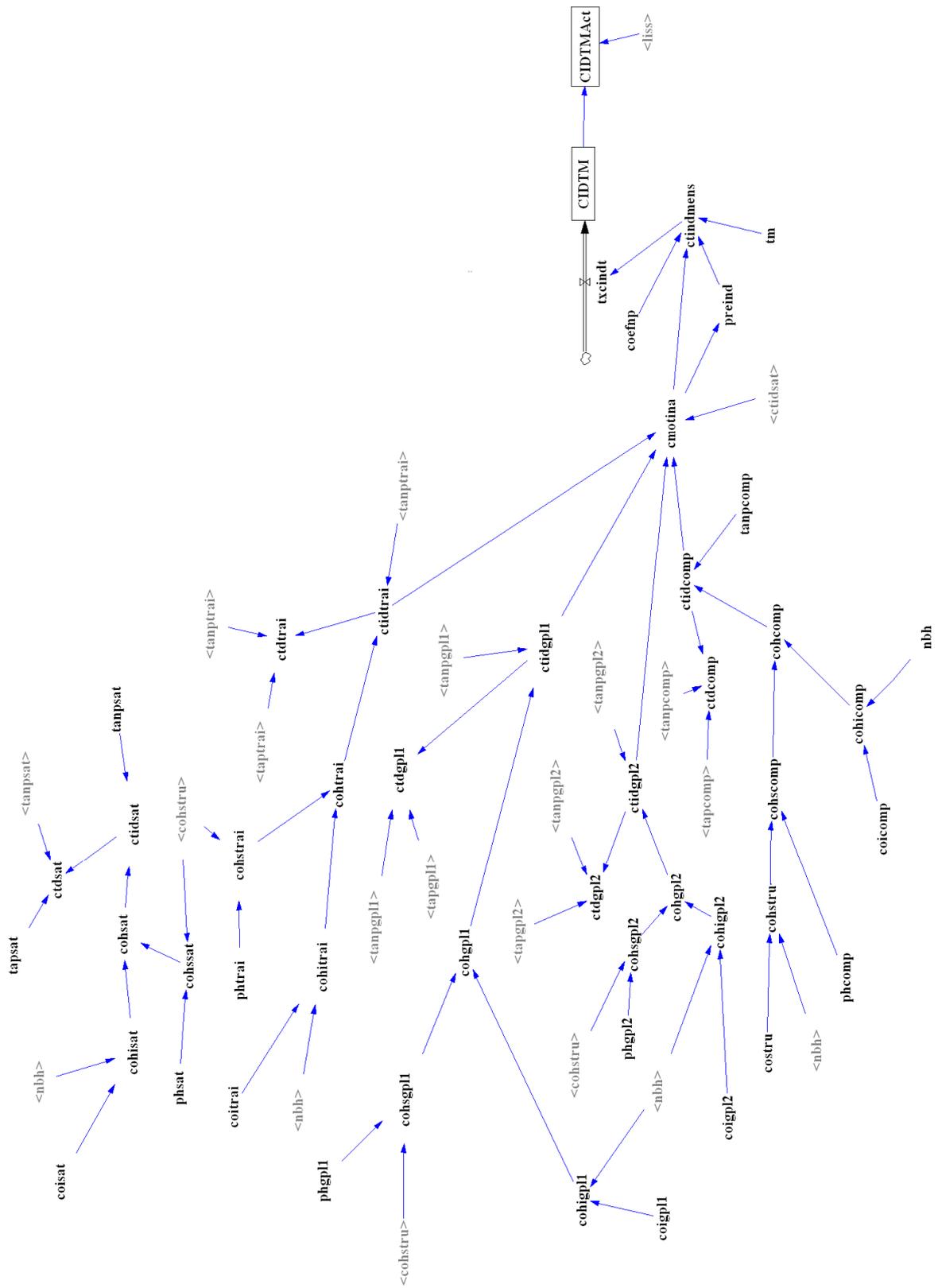


Figure 6.3 – Diagramme du Coût tangible (indirect) actualisé

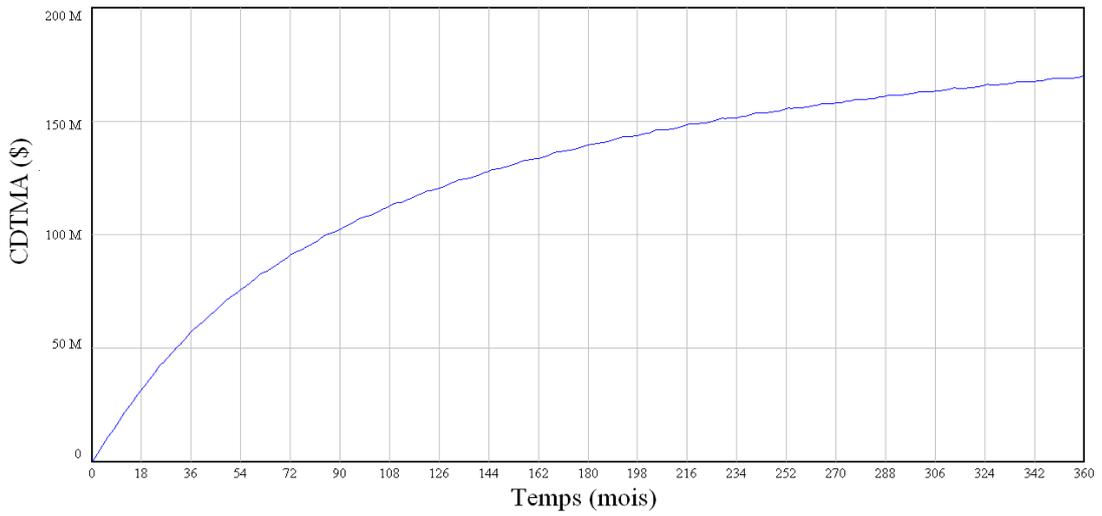


Figure 6.4 – Coût tangible (direct) de la maintenance

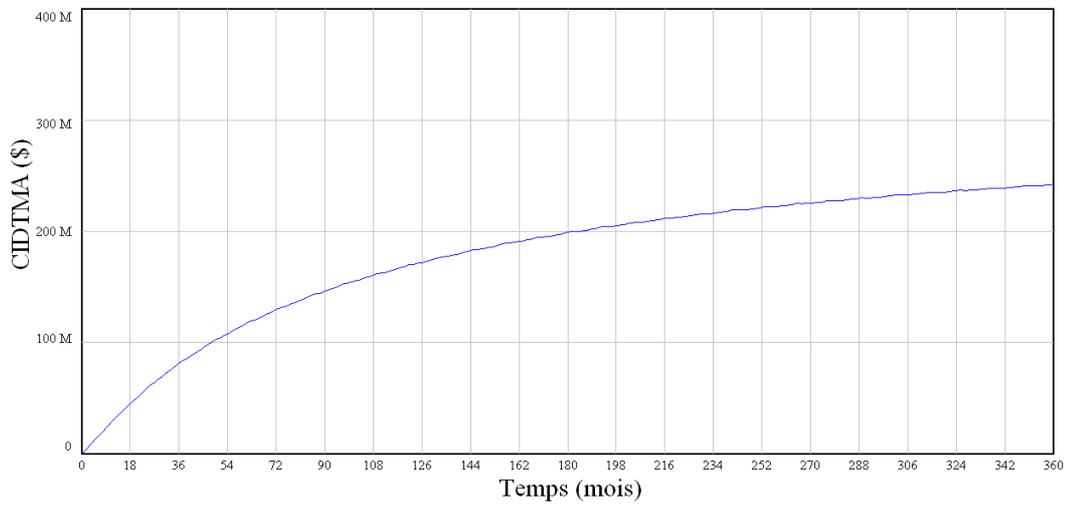


Figure 6.5 – Coût tangible (indirect) de la maintenance

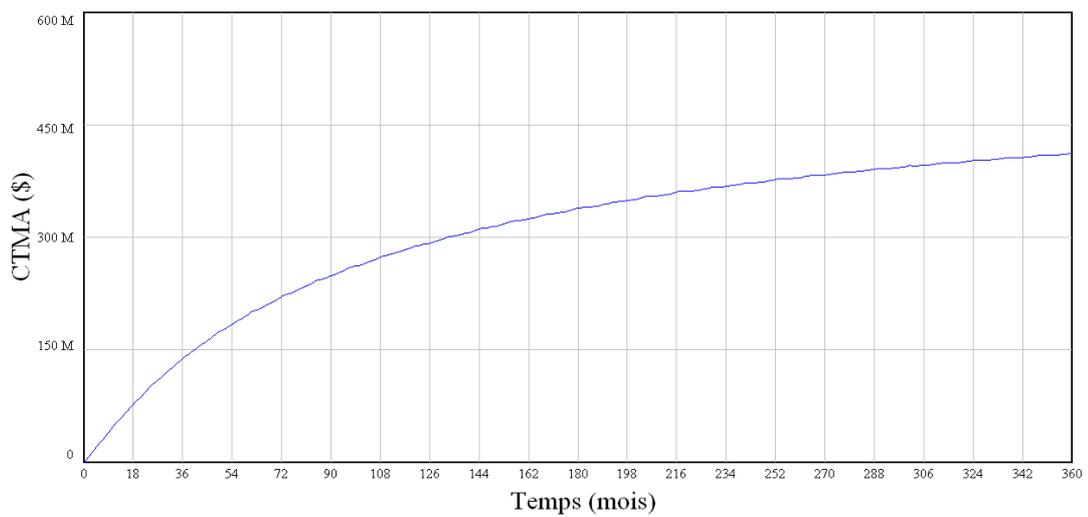


Figure 6.6 – Coût tangible de maintenance

6.1.3. Estimation des coûts intangibles de maintenance

Les outputs du système de production, à savoir la disponibilité, le volume, la qualité, le coût de production et la sûreté de fonctionnement déterminent le profit de l'entreprise. Ces outputs sont à leur tour influencés par la manière de fonctionnement du processus de maintenance.

Dans cette sous-section, nous évaluons le coût intangible de la maintenance qui représente, dans le cas étudié, l'impact de la maintenance sur le coût de production, le chiffre d'affaires, les ressources naturelles et l'environnement.

6.1.3.1. Impact sur le coût de production

Pour évaluer l'impact des travaux de maintenance sur le coût de production engagé suite à un arrêt planifié ou non planifié, nous avons examiné les différentes composantes du coût de production, durant la période 2003-2005, supporté par l'ensemble des unités qui composent le CIS pour produire une (01) TEP. Les composantes du coût de production à prendre en considération dans l'évaluation du coût de production lié à l'inefficacité de la maintenance sont les salaires, les impôts, les frais financiers, l'amortissement et les frais divers. Dans ce coût nous n'avons pas considéré le coût d'énergie, des matières et des fournitures consommées étant donné que cette consommation n'est pas impliquée pendant l'arrêt du processus de production. La somme des coûts de production considérés divisé par le volume de la production pendant la période correspondante, donne un coût de production engagé lors d'un arrêt de fonctionnement estimé à 12,25 \$/TEP. Il reste ensuite à multiplier ce coût unitaire par le volume de production qui devait être produit pendant le temps d'arrêt. La production annuelle moyenne du CIS entre 2003 et 2005 est évaluée à 20,3 MTEP, ce qui donne une production horaire de 2316 TEP/h. Cette production provient à 86% de l'unité de traitement, 10% de l'unité GPL2 et 4% de l'unité GPL1.

Ainsi le coût de production (à l'exception des matières et fournitures) engagé pendant les heures d'arrêts est évalué en moyenne, pendant la première année du cycle de vie, à 35 M\$.

En plus, les quantités de gaz qui ne sont pas injectées par les stations de Compression, suite à leurs arrêts, sont fournies par des unités extérieures au CIS, le montant de ces pertes est évalué à 525 M\$, pour seulement la première année de cycle de vie. Pour obtenir ce résultat, il suffit de multiplier le temps d'arrêt non planifié moyen de l'unité de Compression (2536 h) par le volume d'injection horaire moyen ($2 \text{ Mm}^3 / \text{h}$) et ensuite par le prix interne d'une unité de gaz injecté 0,1035 \$/m³).

6.1.3.2. Impact sur le revenu

Pour l'estimation du manque à gagner impliqué par les arrêts de maintenance, il suffit de multiplier le chiffre d'affaires qui provient de la vente d'une (01) TEP d'abord par le volume de production horaire (2316 TEP/h) ensuite par le nombre d'heures d'arrêt planifié ou non planifié. Sur la base des bilans annuels du Groupe SH, le chiffre d'affaires qui provient de la vente d'une TEP produite par le CIS est évalué en moyenne à 200 \$/TEP.

Ainsi le manque à gagner engendré par les arrêts des unités de production est estimé, pendant la première année du cycle de vie, à 556 M\$.

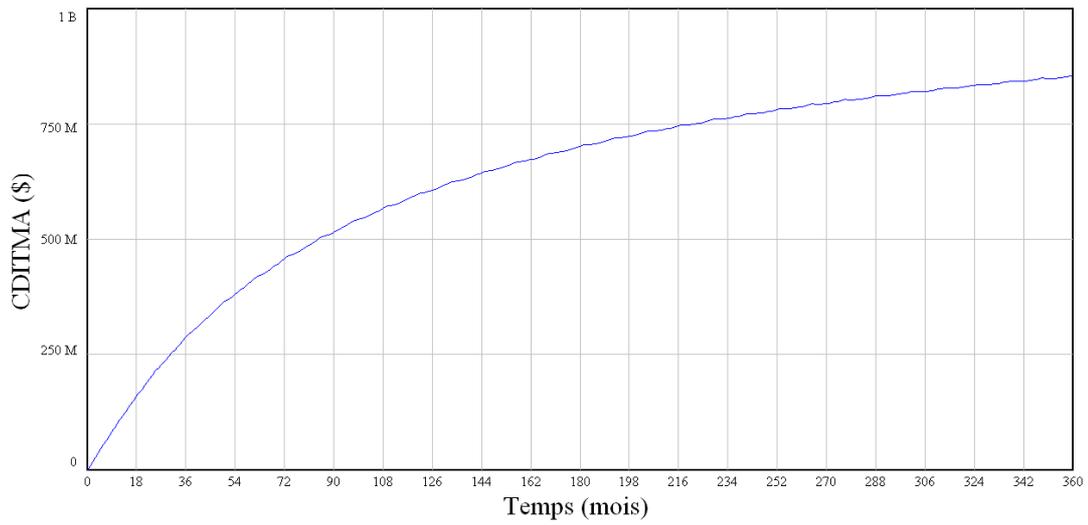


Figure 6.9 – Coût intangible (direct) de la maintenance

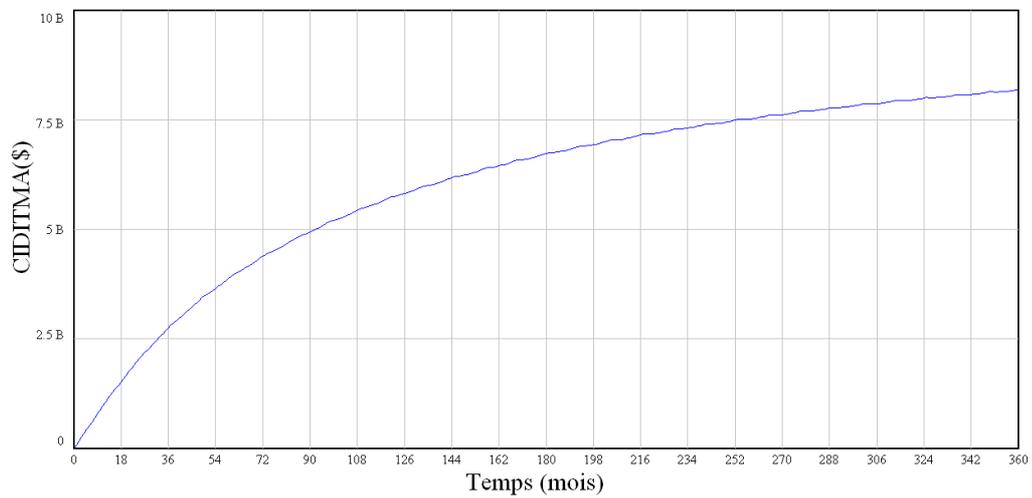


Figure 6.10 – Coût intangible (indirect) de la maintenance

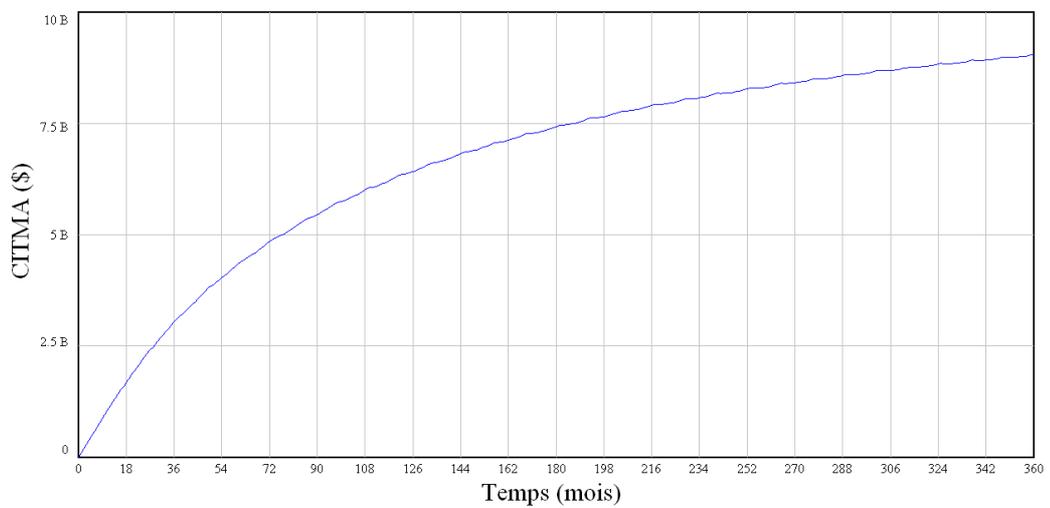


Figure 6.11 – Coût intangible de la maintenance

Le résultat de la simulation du CCV est donné par la Figure 6.12.

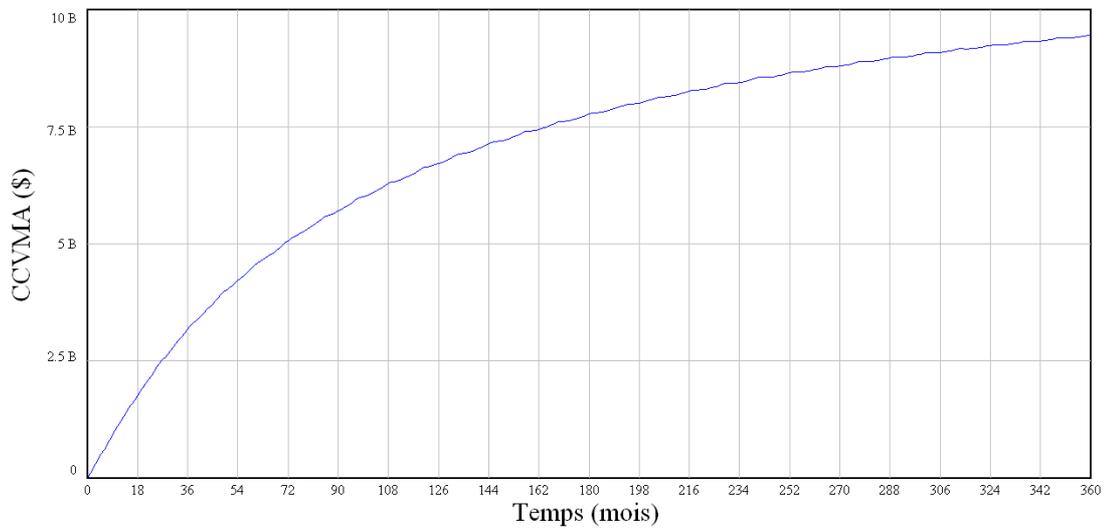


Figure 6.12 – CCV de la maintenance

Les résultats montrent que l’inefficacité de la maintenance au niveau du site industriel CIS a coûté au groupe SH, seulement pendant la première année du cycle de vie considéré, une perte financière estimée à *1210 M\$*. Cette perte représente pour le groupe SH approximativement 28 % du chiffre d’affaires qui provient du CIS. Ce montant peut être décomposé selon la démarche que nous avons proposée dans le chapitre 3, comme le montre la Figure 6.13.

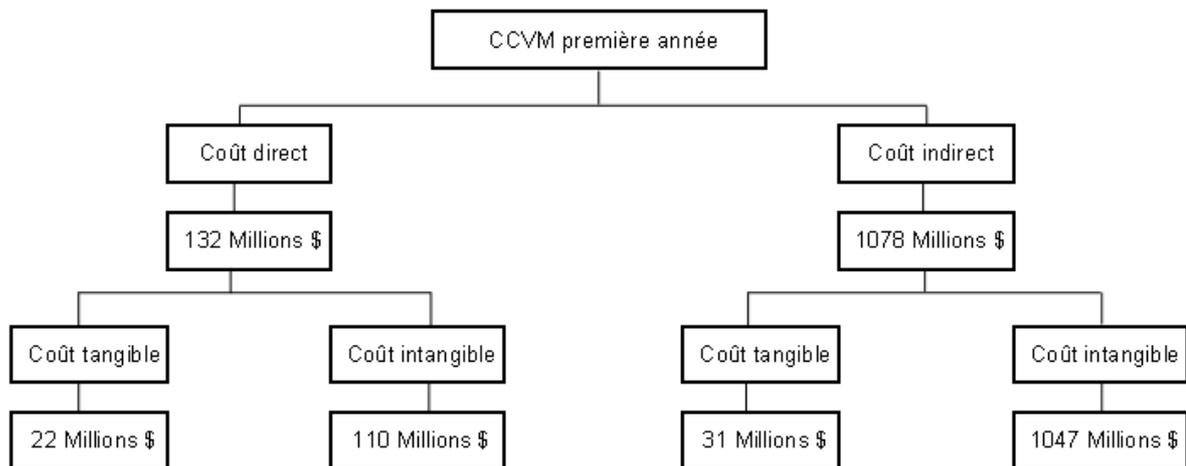


Figure 6.13 – Décomposition du coût de maintenance selon l’approche proposée

Le but recherché à travers la décomposition du coût global de maintenance (voir Figure 6.13) telle que nous l’avons présentée dans l’approche proposée pour la mesure de performance de la 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, cette approche classique n'accorde pas d'importance à la distinction entre le coût direct (Figure 6.14) et le coût indirect de maintenance (Figure 6.15), alors que ce dernier est huit (08) fois plus grand que le coût direct de maintenance, comme il a été montré par la Figure 6.13.

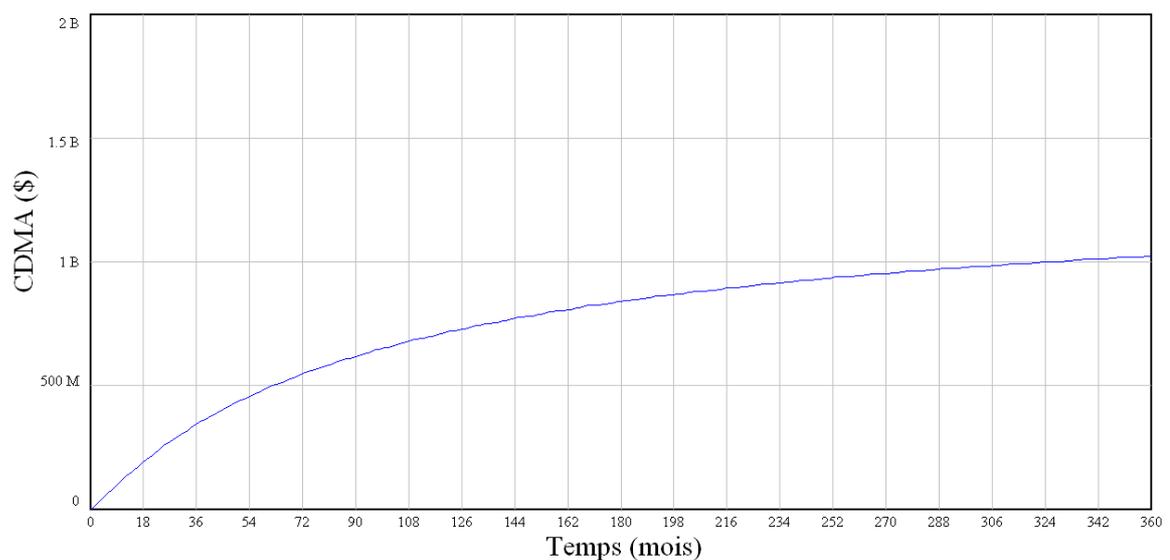


Figure 6.14 – Coût direct de la maintenance

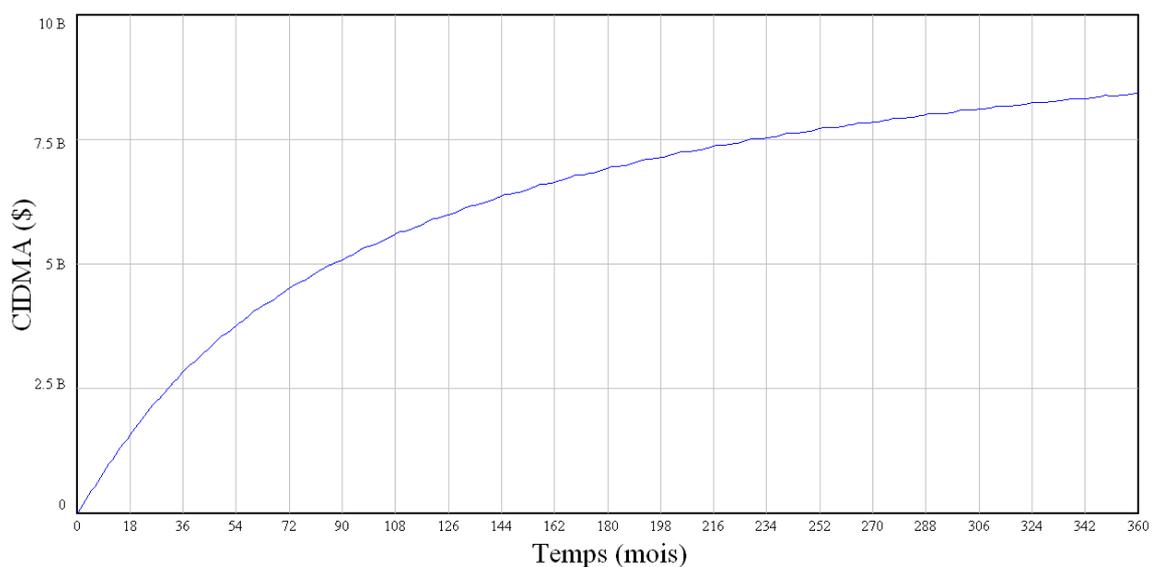


Figure 6.15 – Coût indirect de la maintenance

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 global de maintenance, même si cela exige une augmentation du coût considéré par le plan de maintenance (coût direct).

La troisième étape dans l'approche que nous avons proposée est l'identification des inducteurs de coûts. Selon l'étape précédente, il est nécessaire de maintenir le coût indirect au niveau le plus bas possible, c'est l'objet de la section suivante.

6.2. Estimation du CCV de la Compression

La décomposition précédente du coût de maintenance (voir Figure 6.13) montre que le coût indirect est très important, cela veut dire que l'effort d'amélioration doit être orienté vers la diminution de ce dernier au lieu de la diminution du coût direct de maintenance. Cependant le coût indirect est expliqué en grande partie par l'impact de la maintenance sur le coût de production en premier lieu ensuite par les pertes en revenu. Ces deux coûts sont liés principalement aux stations de Compression.

D'après les résultats de la simulation du CCV, nous avons identifié le coût de maintenance lié à la Compression comme étant l'inducteur de coût pour lequel il faudra donner le plus d'importance. En effet, le CCV de maintenance lié à la Compression représente 56% du CCV de maintenance du CIS. La Figure 5.5 (page 191), montre que les stations de Compression représentent le maillon le plus stratégique dans la chaîne de production. Elles permettent d'alimenter les puits en gaz pour maintenir la pression de production. La défaillance d'une station de Compression peut induire, par effet de propagation, des perturbations coûteuses sur toutes les infrastructures situées en amont et en aval.

Chaque station de Compression est composée de deux sections une pour la Basse Pression (BP) et l'autre pour la Haute Pression (HP). Chaque section HP et BP est composée d'un certain nombre d'éléments en série, comme le montrent les Figures 6.16 et 6.17.

6.2.1. Composantes du CCV de l'unité de Compression

Nous avons expliqué dans le chapitre 4, que le CCV est donné par la somme des coûts suivants : coût d'acquisition, coût d'exploitation, coût de maintenance (coût direct et coût indirect) et le coût d'élimination. Dans le cas des stations de Compression, le coût d'exploitation est négligeable devant le coût de maintenance. En effet, le coût d'exploitation représente, seulement, les charges du personnel ayant pour tâche la surveillance du système de contrôle des processus de fonctionnement des stations de Compression. Par exemple, le coût d'exploitation des nouvelles stations (démarrées en 2001) comprend les frais de personnel de deux (2) équipes (chacune formée de 04 personnes) qui travaillent en alternance (12 heures pour chacune) pour assurer la surveillance quotidienne des quatre stations SC9, SC10, SC11 et SC12. En plus, nous n'avons pas estimé le coût d'élimination d'une station de Compression à cause de l'absence de données nécessaires permettant cela.

Dans ce qui suit, nous négligeons le coût d'exploitation et nous délimitons le CCV à deux composantes seulement qui sont le coût d'acquisition et le coût d'investissement.

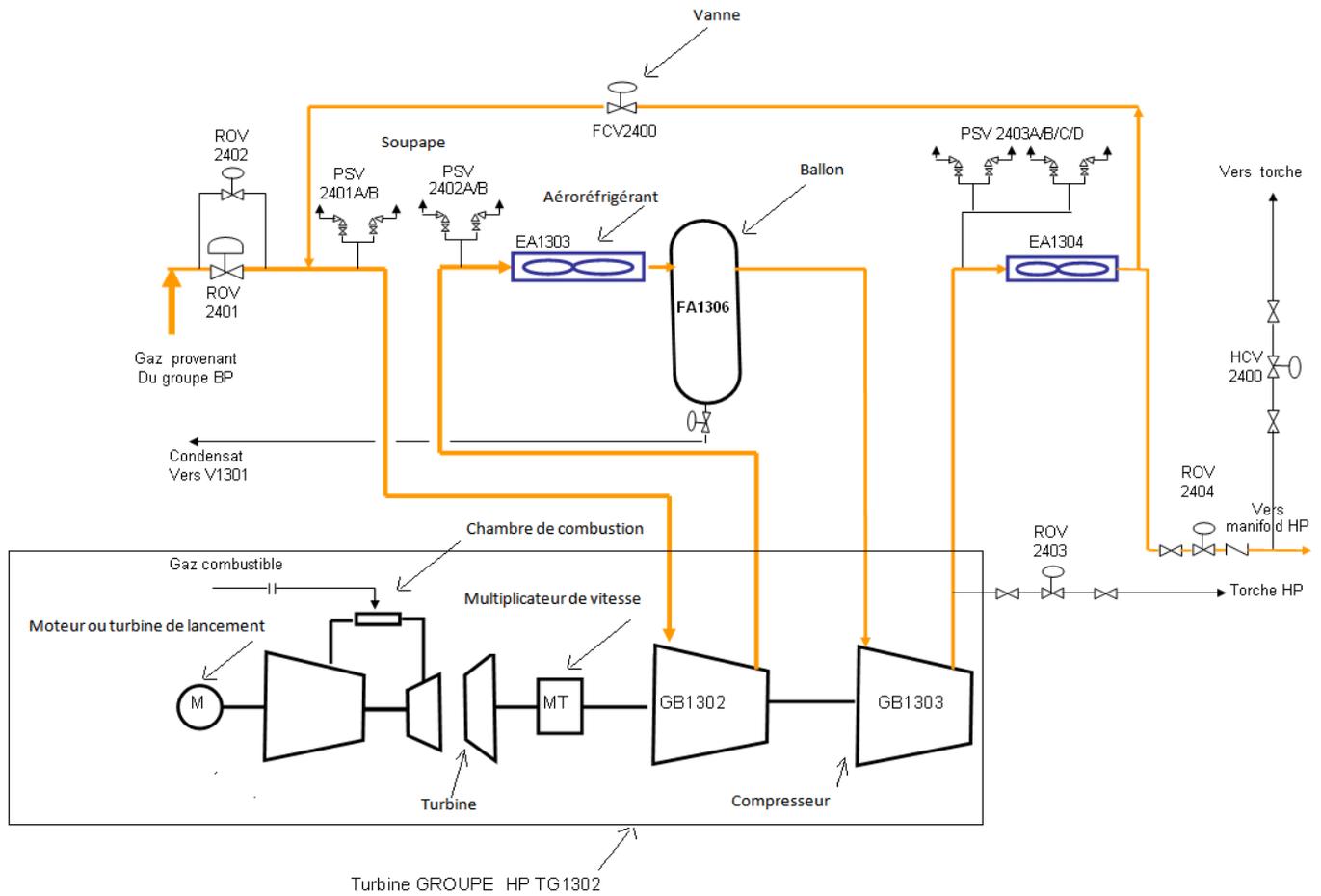


Figure 6.16 – Section de Compression Haute Pression

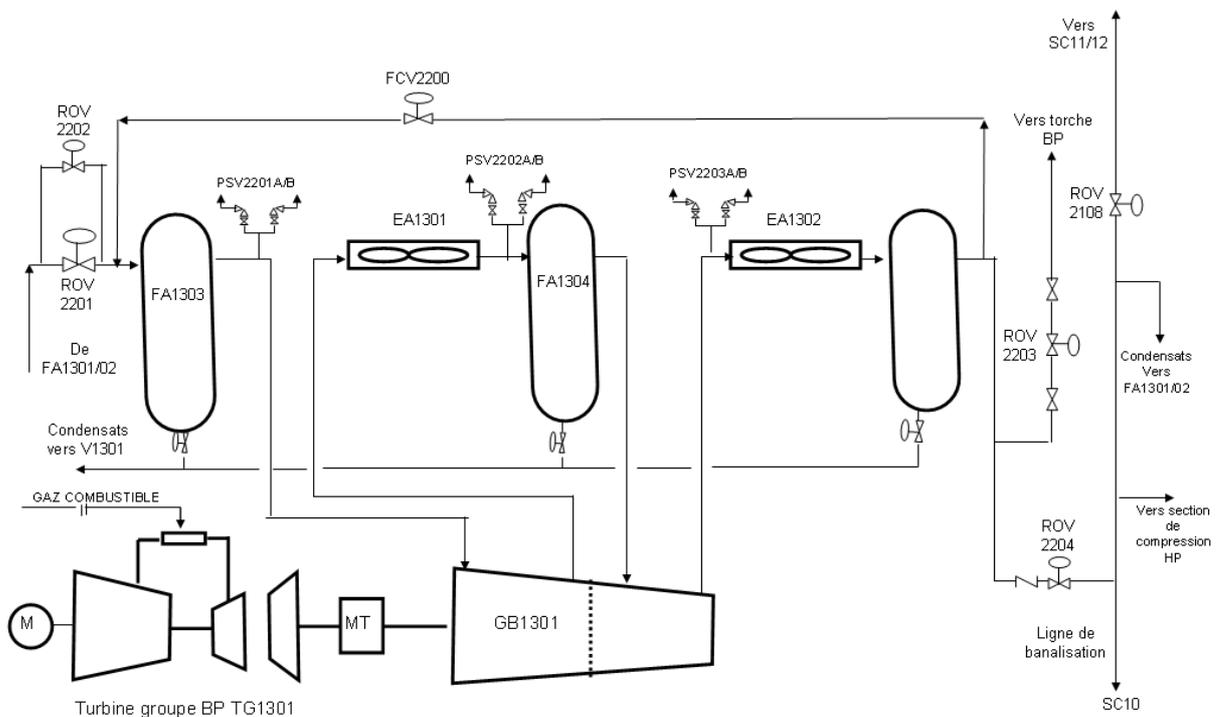


Figure 6.17 – Section de Compression Basse Pression

6.2.1.1. Coût d'acquisition d'une station

Le prix d'acquisition d'une station de Compression est la première composante de son CCV. Le coût d'investissement lié à l'installation d'une station de Compression est estimé à 51,2 M\$ (en 2001), comme le montrent les Tableaux 6.9 et 6.10.

Le Tableau 6.9 montre la décomposition des prix des biens et services de l'investissement réalisé pour les installations des 04 stations SC9, SC10, SC11 et SC12.

Tableau 6.9 – Coût d'investissement des nouvelles stations (2001)

Description	Montant (en 10 ³ \$)
Etude d'engineering	5 494
Matériels et équipements	160 582
Prestations sur site	14 580
Opérations portuaires et transport terrestre	5 066
Assurance transport, multirisques et automobiles	1 783
Charges fiscales et sociales	1 265
Pièce de rechange 2 ans	4 919
Équipement de construction	2 513
Spécialisation du personnel MO	530
Total partie provisionnée	7 962
Achats locaux	207
Fourniture locale	1 511
IBS pour la partie Yen japonais	4 241
IBS pour la partie DA	2 062
Total global	204 753

Le Tableau 6.10 montre la décomposition du coût des matériels et équipements pour une seule station de Compression (fret de transport pris en charge).

Tableau 6.10 – Coût d'équipement pour une seule station (2001)

Description	Montant (en 10 ³ \$)
Ballons, échangeur et bac	1 041
Aéroréfrigérant	2 457
Turbine et compresseur	21 747
Machinerie et pompe	745
Tuyauterie	5 967
Instrumentation	3 542
Electricité	2 428
Anti-incendie	462
Charpente métallique	167
Matériels de bâtiment	937
Équipements divers	423
Matériels divers	229
Total	40 145

6.2.1.2. Coût de maintenance

Nous avons déjà donné, dans la première section du présent chapitre, les éléments qui permettent l'estimation du coût tangible, il nous reste à mettre en évidence les déterminants du coût intangible lié aux stations de Compression. Pour cela nous avons examiné l'historique des onze (11) stations de Compression qui sont installées actuellement au CIS. Nous avons divisé ces stations en deux groupes (anciennes et nouvelles). Les données brutes concernant les anciennes stations (n° 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8) ont été collectées entre les années 2001 et 2002 par une équipe formée dans le cadre d'un projet de mise en place d'une cellule d'analyse des données de Fiabilité, de Disponibilité et de Maintenabilité (FDM) au sein du Département de Méthodes de la DM. Ce projet a été abandonné en fin de compte en 2003. Nous avons purifié et exploité ces données brutes (voir Tableau 6.11) pour la modélisation des durées de vies des différentes stations de Compression.

Tableau 6.11 – Caractéristiques des données des anciennes stations

Num. Station	Mise en service	Début de l'observation	Fin de l'observation	Nombre d'événements	Somme des arrêts (heure)	Somme temps bon fonctionnement (heure)	Max temps d'arrêts (heure)	Max. temps bon fonctionnement (heure)
2	1982	12/10/89 5:00	18/12/00 3:10	404	49 320	48 718	8 448	4 780
3	1984	21/12/89 7:30	3/3/01 14:30	490	32 959	65 208	6 582	1 130
4	1984	6/1/90 18:00	19/9/00 4:45	709	27 933	65 869	5 758	1 097
5	1987	1/10/89 18:20	8/2/01 22:50	490	35 175	64 381	11 917	1 678
6	1987	14/1/90 14:50	5/2/01 21:00	637	21 028	75 938	2 361	1 652
7	1991	21/2/91 10:40	3/1/01 16:50	479	16 597	69 905	1 439	1 512
8	1991	26/3/91 21:25	2/1/01 5:15	437	14 232	71 432	1 913	1 408

Aussi, nous avons exploité tous les rapports mensuels et annuels des nouvelles stations (n° 9, 10, 11 et 12) couvrant la période allant de janvier 2001 à septembre 2006. Nous avons utilisé les informations collectées (voir Tableau 6.12) pour la description des causes de défaillances des stations de Compression.

Tableau 6.12 – Caractéristiques des données des nouvelles stations

Numéro station	N	Maximum temps d'arrêt en heures	Somme des temps d'arrêt en heures	Moyenne du temps d'arrêt en heures
S09bp	65	441	3 606	55
S09hp	65	666	4 113	63
S10bp	65	744	3 881	60
S10hp	65	720	5 244	81
S11bp	65	737	3 308	51
S11hp	65	736	4 467	69
S12bp	65	744	7 897	121
S12hp	65	696	5 789	89

L'estimation du coût de maintenance, tel que nous l'avons défini dans notre approche, passe nécessairement par l'étude et l'analyse des temps de bon fonctionnement, des temps d'arrêt ainsi que des causes de tous les arrêts non planifiés.

6.2.2. Etude descriptive du temps de bon fonctionnement

Soit T_i la variable aléatoire qui représente la durée de bon fonctionnement entre deux arrêts consécutifs de la station numéro i . Pour mieux caractériser les temps de bon fonctionnement, nous présentons dans la Figure 6.18, les différentes moyennes des T_i sous forme d'intervalle (+ ou - 2 SD) pour visualiser les différences existantes entre chacune des stations (2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8) et la moyenne de l'ensemble des stations représenté par le numéro (0). Nous remarquons dans la Figure 6.18 que les moyennes des T_i sont proches l'une de l'autre.

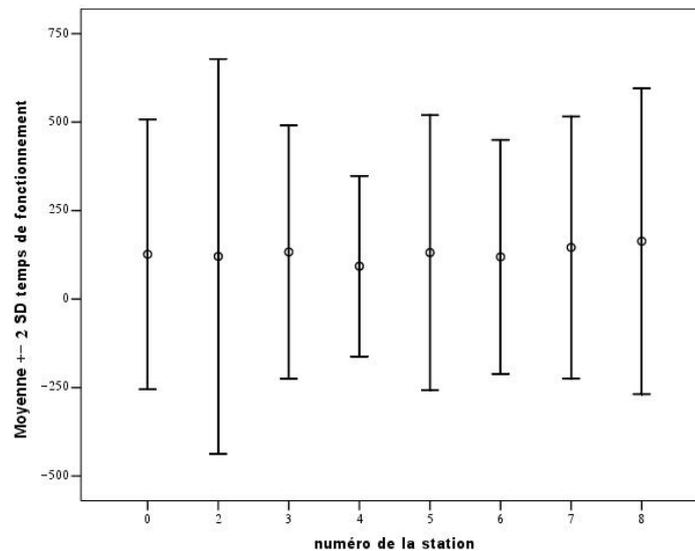


Figure 6.18 - La moyenne du temps de bon fonctionnement + ou - 2 fois l'écart type

Les histogrammes dans les Figures 6.19 (de (a) à (g)) confirment encore que toutes les stations sont soumises aux mêmes conditions d'exploitation et de maintenance étant donné qu'elles ont manifesté des temps de bon fonctionnement quasi-identiques (à l'exception de la station 2).

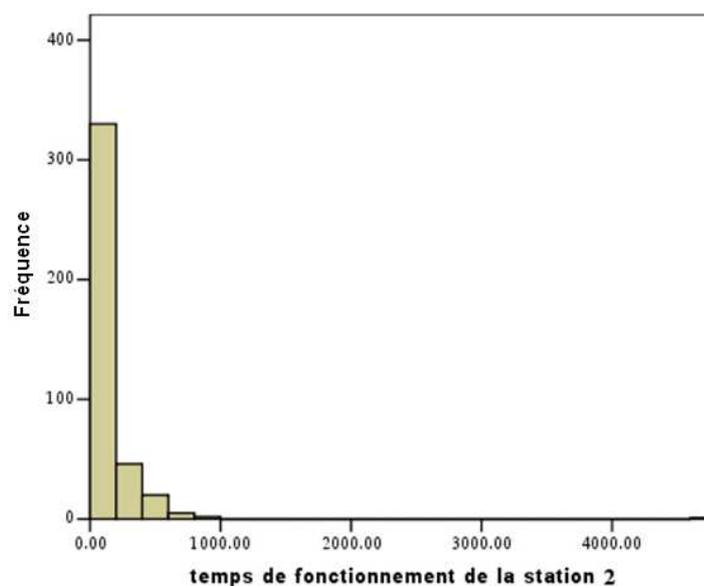


Figure 6.19 (a) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 2

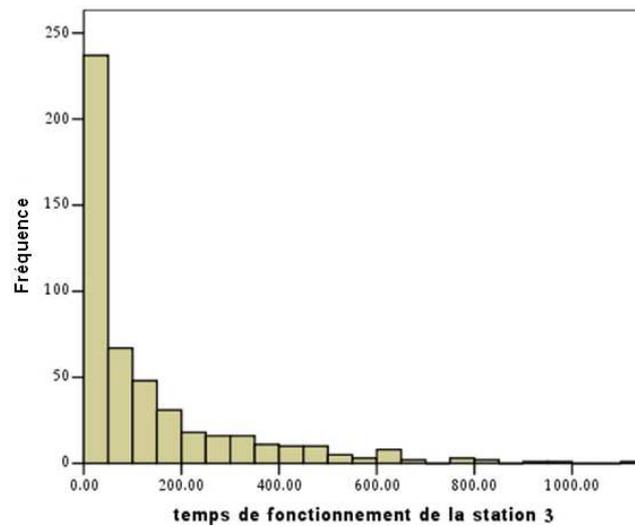


Figure 6.19 (b) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 3

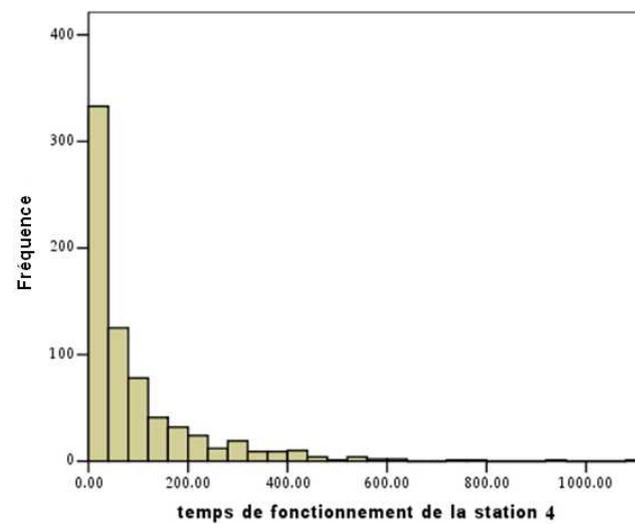


Figure 6.19 (c) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 4

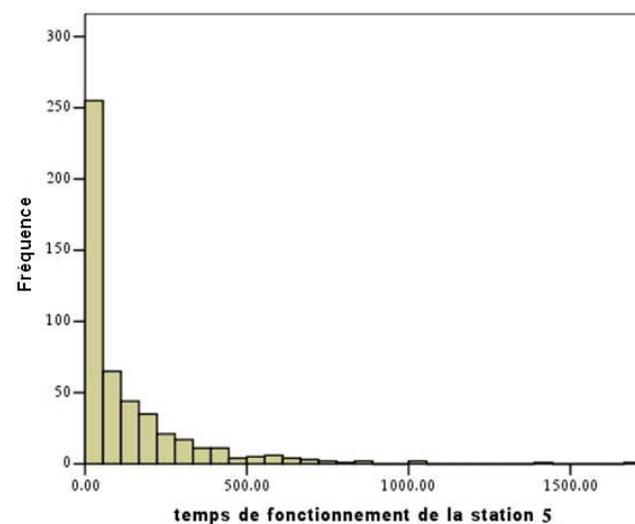


Figure 6.19 (d) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 5

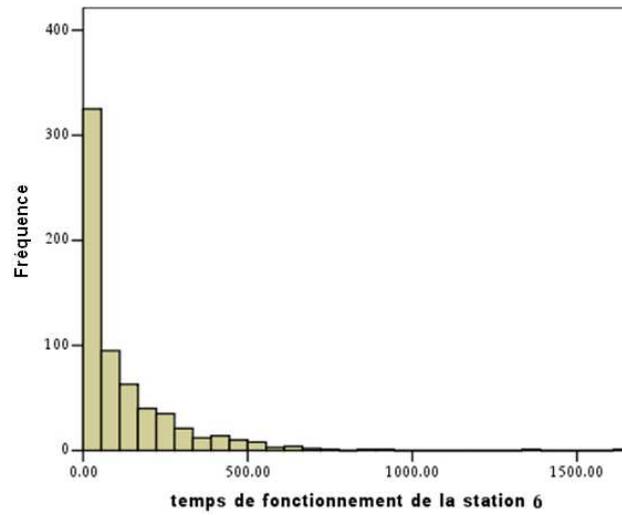


Figure 6.19 (e) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 6

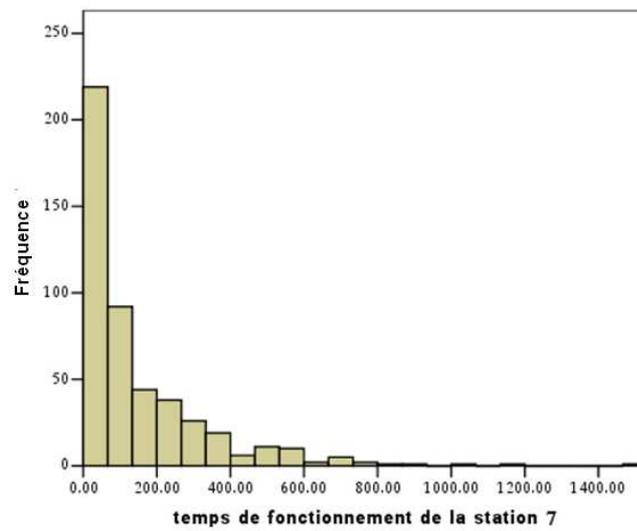


Figure 6.19 (f) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 7

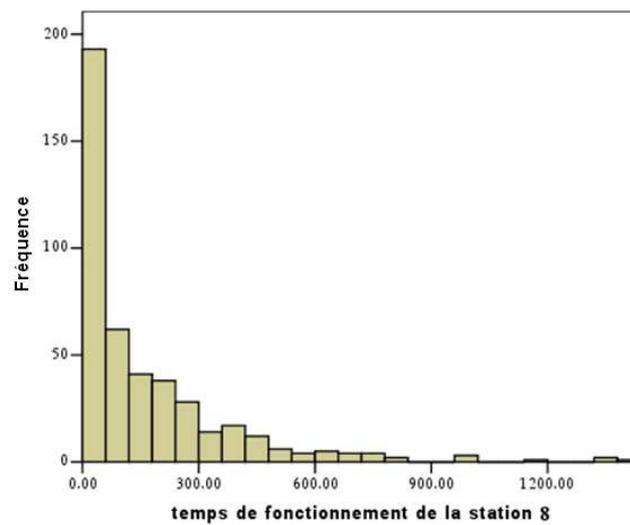


Figure 6.19 (g) – Histogrammes des temps de bon fonctionnement de la station 8

Pour encore mieux caractériser les temps de bon fonctionnement des différentes stations nous présentons dans le Tableau 6.13, les différents percentiles des temps d'arrêt et des temps de fonctionnement de 5% jusqu'à 95%. Ce Tableau nous permet d'identifier T_i qui vérifie $P(T < T_i) > 95\%$ pour chaque station et pour l'ensemble de stations.

Tableau 6.13 – Percentiles des temps de bon fonctionnement (heures)

Station	5	10	25	50	75	90	95
0	,8300	2,7500	15,5000	55,1650	165,6050	339,8190	477,5750
2	,5200	1,4150	7,7500	45,2250	137,4700	327,8350	477,9375
3	,9640	3,5170	16,1250	56,5100	170,0650	389,9750	515,9000
4	,7500	2,5000	12,0400	44,5000	118,3750	256,2500	367,0000
5	,7185	2,3000	14,7300	53,6250	172,4975	364,5220	531,9185
6	,7500	2,5000	16,0000	52,5000	162,7500	311,3000	446,5500
7	2,0000	5,1700	20,2500	80,2500	209,2500	357,2500	536,7500
8	1,5000	4,1360	20,0850	80,7500	229,1250	431,8500	627,8000

6.2.3. Ajustement des temps de bon fonctionnement

Les données rassemblées au CIS et qui concernent la variable aléatoire T (durée de bon fonctionnement entre deux arrêts consécutifs d'une station de Compression) s'ajustent convenablement à la loi de Weibull. La loi Gamma a été aussi testée (paramètre de forme (β) inférieur à 1) mais elle est moins appropriée comparativement à la loi Weibull comme le montrent les graphes des Figures 6.20 (de (a) à (h)).

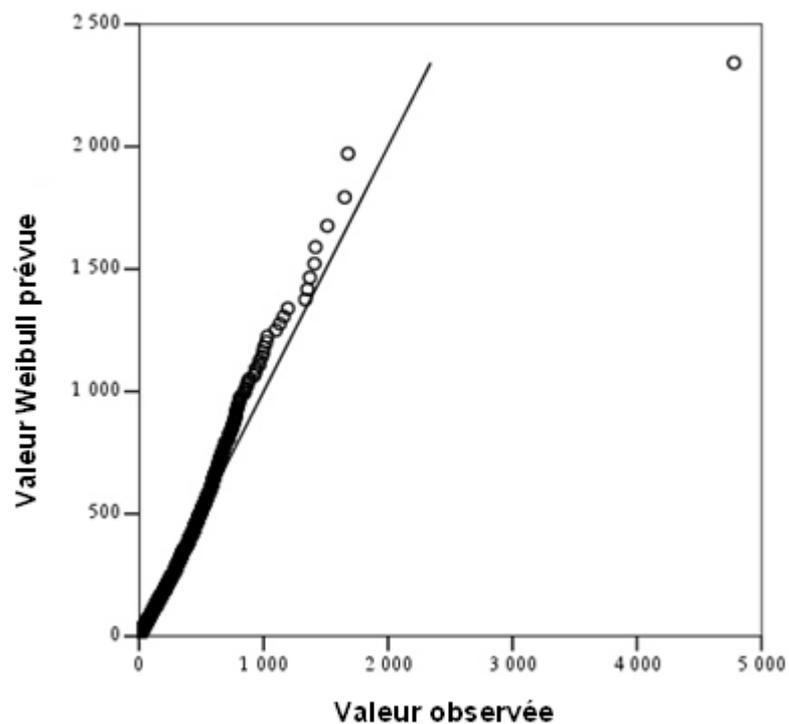


Figure 6.20 (a) – Graphe Q -Q Weibull de T (anciennes stations)

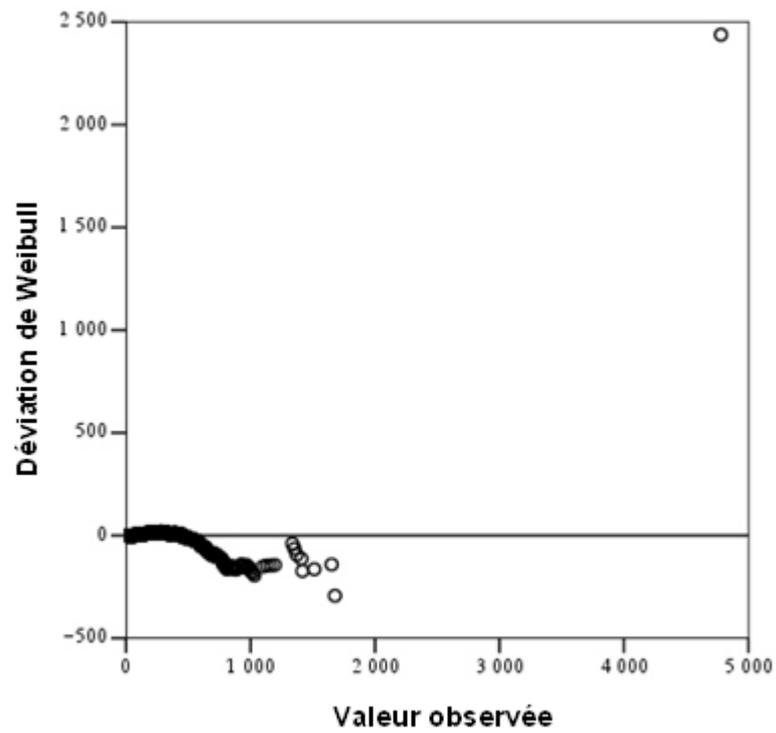


Figure 6.20 (b) – Graphe Q-Q Weibull de T détrendée (anciennes stations)

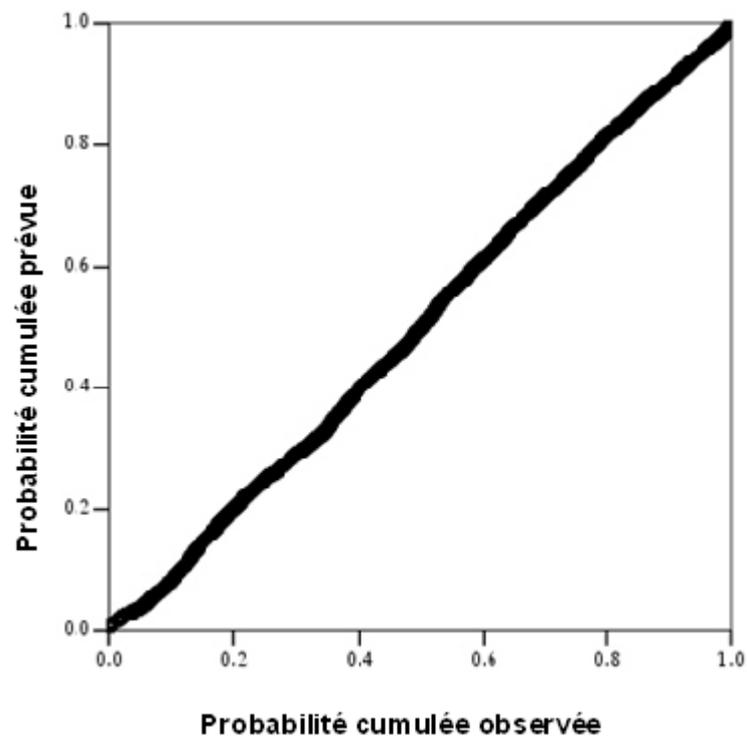


Figure 6.20 (c) – Graphe P-P Weibull de T (anciennes stations)

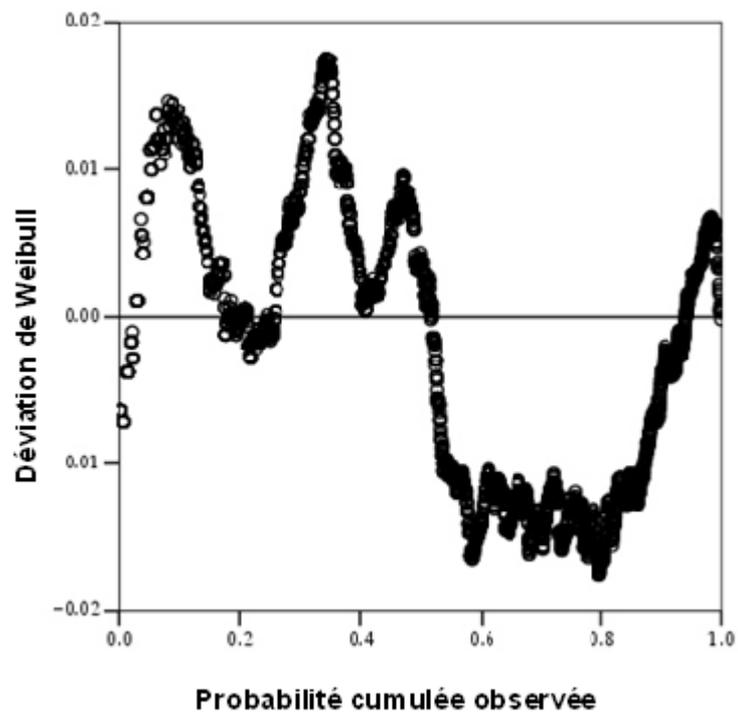


Figure 6.20 (d) – Graphe P-P Weibull T détrendée (anciennes stations)

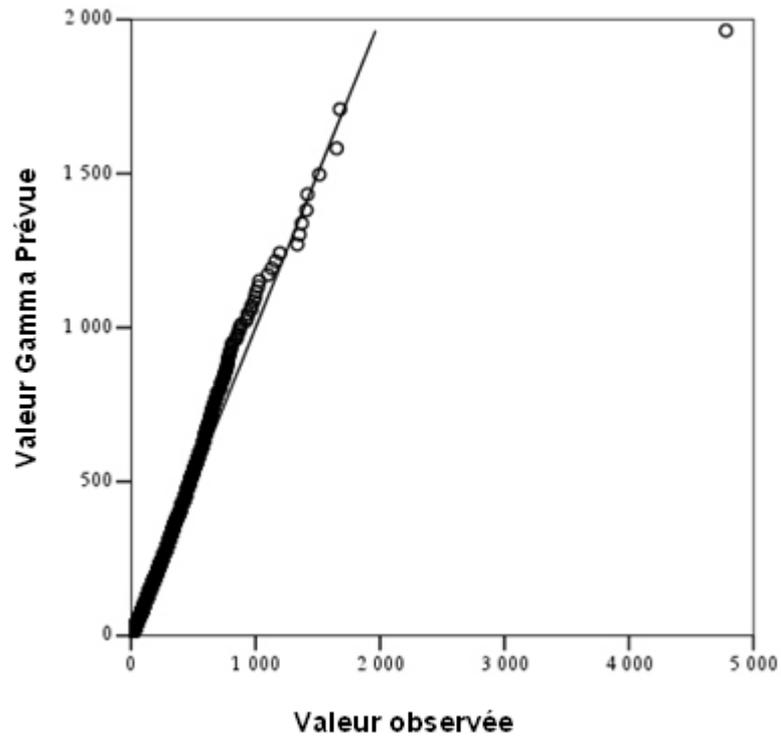


Figure 6.20 (e) – Graphe Q-Q Gamma de T (anciennes stations)

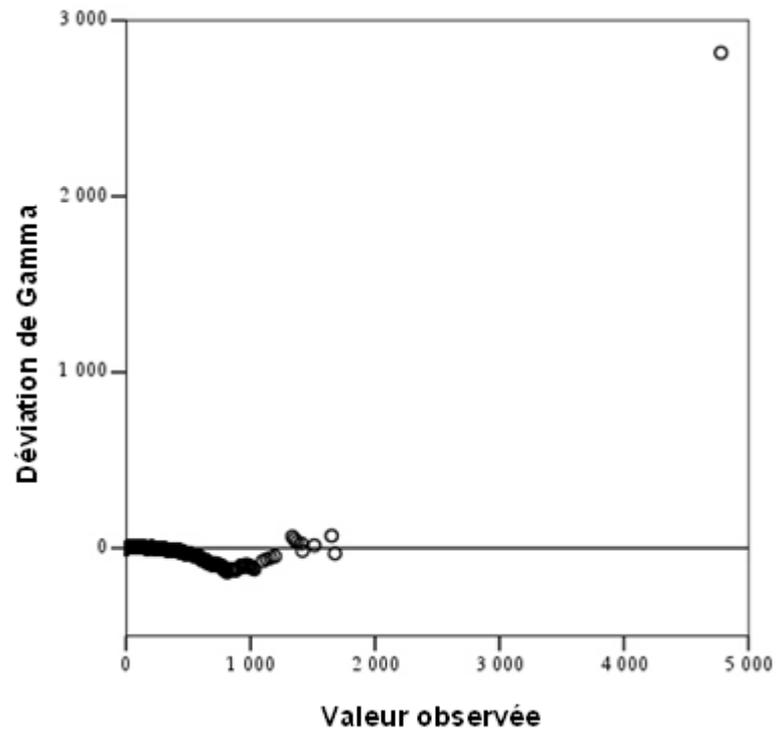


Figure 6.20 (f) – Graphe Q-Q Gamma détrendée de T (anciennes stations)

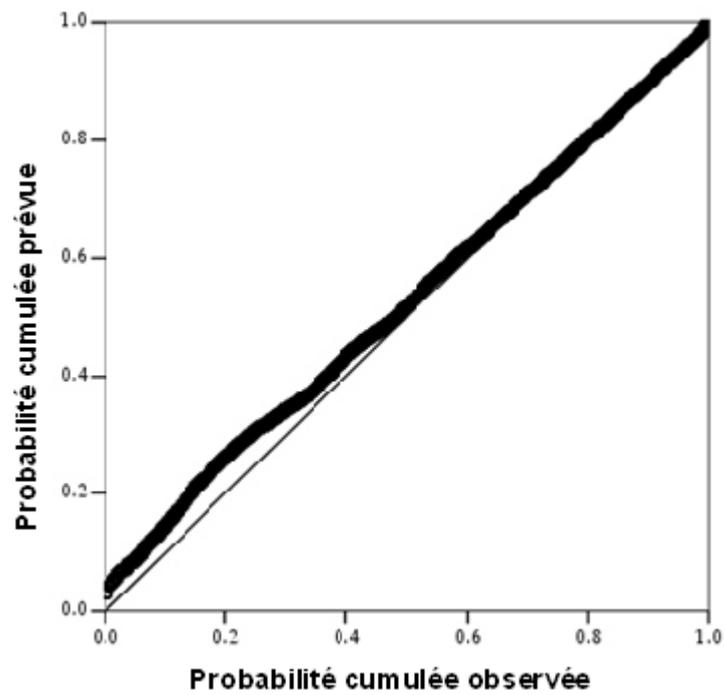


Figure 6.20 (g) – Graphe P-P Gamma de T (anciennes stations)

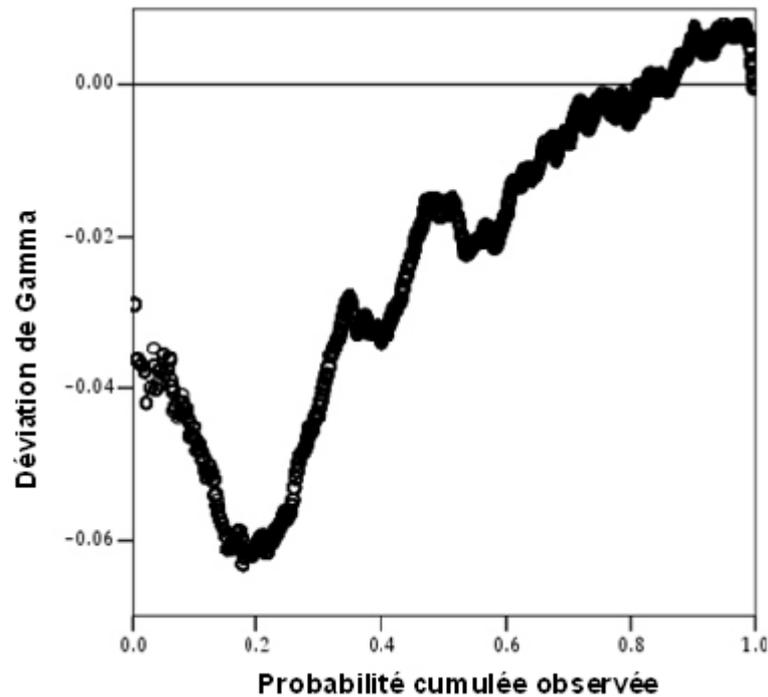


Figure 6.20 (h) – Graphe P-P Gamma détrendée de T (anciennes stations)

Toutes les stations donnent des résultats voisins pour les paramètres de forme (β) (voir Tableau 6.14). Nous remarquons dans ce dernier tableau que le paramètre d'échelle (η) (tel que $P(T < \eta) = 0,632$) évolue avec l'âge de la station.

Tableau 6.14 – Paramètres d'échelle et de forme des différentes stations

Paramètre	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	Stations 2 - 8
Echelle	77,285	101,921	73,685	97,430	93,554	123,263	131,348	96,475
Forme	,607	,687	,699	,666	,667	,743	,683	0,677

L'ajustement du temps de bon fonctionnement nous a permis de tracer la fonction de fiabilité $R(t)$ des stations de Compression (Figure 6.21) ainsi que la fonction du risque de défaillance $\lambda(t)$ (Figure 6.22). Nous remarquons que la fonction du taux de défaillance est décroissante ce qui suppose que l'équipement étudié (station de Compression) est en phase de "mortalité infantile" ou de "jeunesse". Nous avons obtenu un résultat identique même lorsque nous avons divisé la période d'observation en deux intervalles d'ajustement [1989 , 1995] et [1995 , 2001].

Nous avons donc formulé l'hypothèse suivante : il existe des défauts de conception dans les équipements étudiés. Pour infirmer ou confirmer cette hypothèse nous avons étudié les temps d'arrêt des différentes stations. Il est important de signaler ici que le résultat précédent peut aussi être causé par la nonconformité des pièces de rechange. Cependant, nous n'avons pas obtenu les données nécessaires pour étudier cette hypothèse, mais nous l'avons signalé lors de l'audit que nous avons présenté dans le chapitre 5.

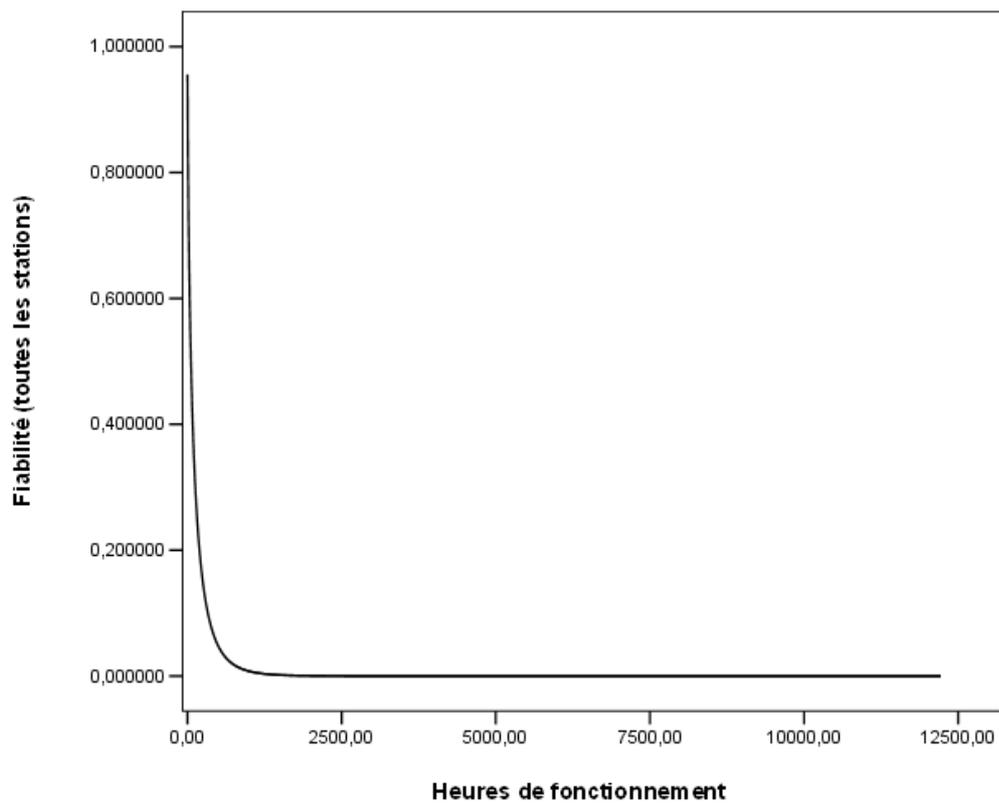


Figure 6.21 – Fonction de fiabilité (anciennes stations)

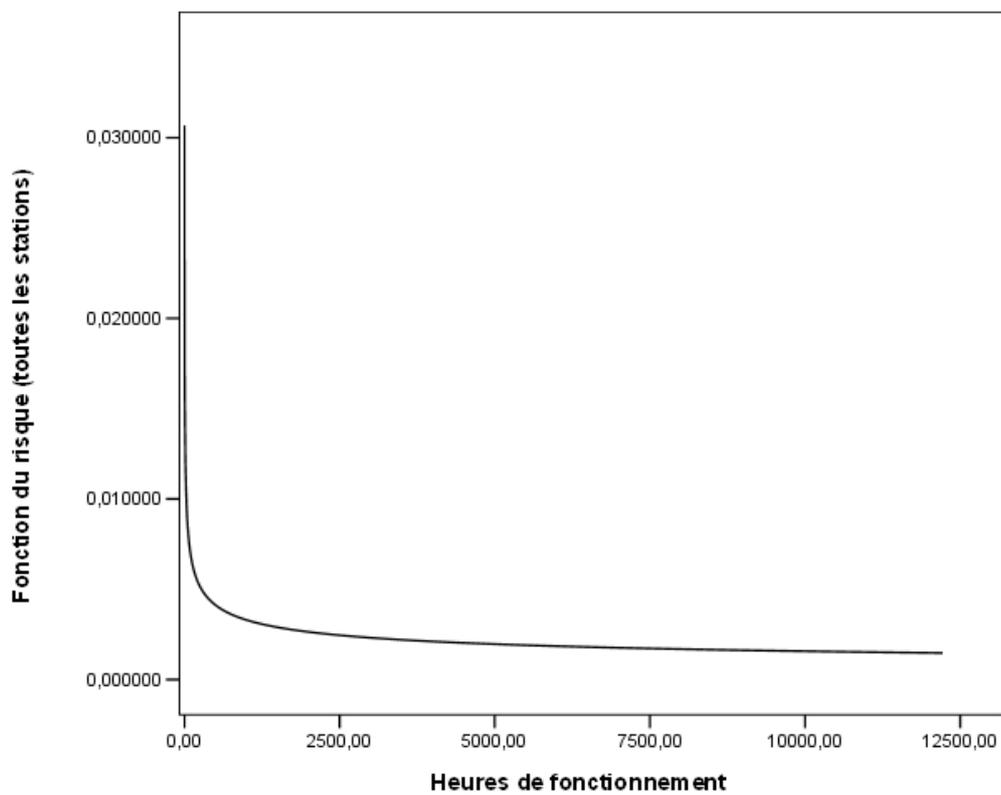


Figure 6.22 – Fonctions de taux de défaillance (anciennes stations)

6.2.4. Etude descriptive du temps d'arrêt

Nous présentons dans la Figure 6.23, les différentes moyennes de la variable aléatoire \bar{T}_i qui représente le temps d'arrêt non planifié de la station de Compression numéro i . Ces moyennes sont données sous forme d'intervalle (+ ou - 2 SD) afin de visualiser les différences existantes entre les différentes stations (2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8) et la moyenne de l'ensemble des stations représenté par le numéro (0).

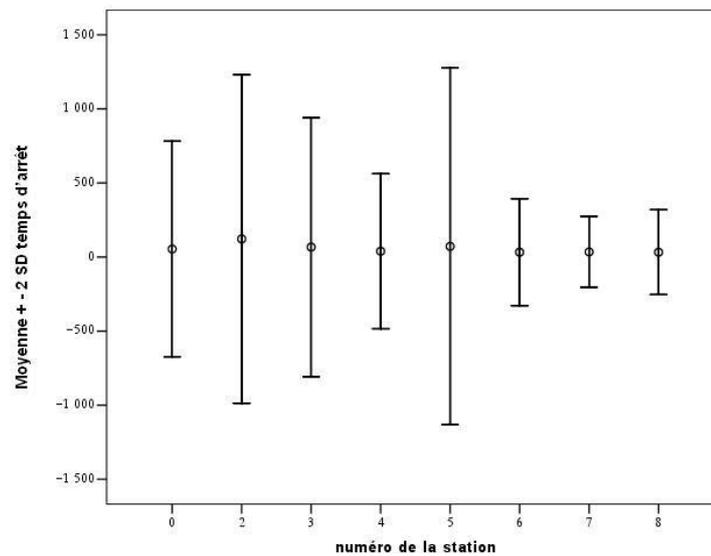


Figure 6.23 – La moyenne du temps d'arrêt + ou - 2 fois l'écart type

La Figure 6.23, montre que les moyennes des \bar{T}_i sont proches l'une de l'autre et que (à l'exception de la station 5) les écarts types des \bar{T}_i sont décroissants avec l'âge de la station i (sachant que les stations sont numérotées selon leur âge, ainsi la plus vieille station est la station 2 et les plus jeunes sont les stations 7 et 8). La décroissance de l'écart type selon l'âge de la station, est expliquée par le fait que chaque fois que l'âge de la station augmente le temps nécessaire pour identifier la cause de la panne augmente, ainsi le temps nécessaire pour rétablir l'état de bon fonctionnement de l'équipement défaillant sera de plus en plus long.

Les percentiles des temps d'arrêt et des temps de fonctionnement de 5% jusqu'à 95% sont donnés par le Tableau 6.15, pour chaque station et pour l'ensemble des stations.

Tableau 6.15 – Percentiles des temps d'arrêt des stations 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8

Station	5	10	25	50	75	90	95
0	,5000	,8300	1,7500	4,7500	16,2700	64,0510	153,9125
2	,7500	1,2900	3,6025	14,0400	59,7125	178,8750	431,7525
3	1,0000	1,2580	2,3300	5,7500	16,0625	54,0920	143,0125
4	1,0000	1,1700	2,0000	4,7500	15,2500	46,4200	129,4600
5	,5000	,7580	1,7500	4,8300	13,4400	48,1750	140,6375
6	,5000	,5000	1,0000	2,7500	9,5000	32,5660	97,7500
7	,5000	,7500	1,6700	4,2500	16,0800	67,7500	159,6700
8	,5000	,7500	1,6250	4,0000	13,5000	44,2500	86,8390

6.2.5. Ajustement des temps d'arrêt

L'ajustement par une loi Weibull ou par une loi de Gamma de la variable aléatoire \bar{T} (temps d'arrêt des anciennes stations de Compression), n'est pas approprié comme le montrent les graphes des Figures 6.24 (de (a) à (h)).

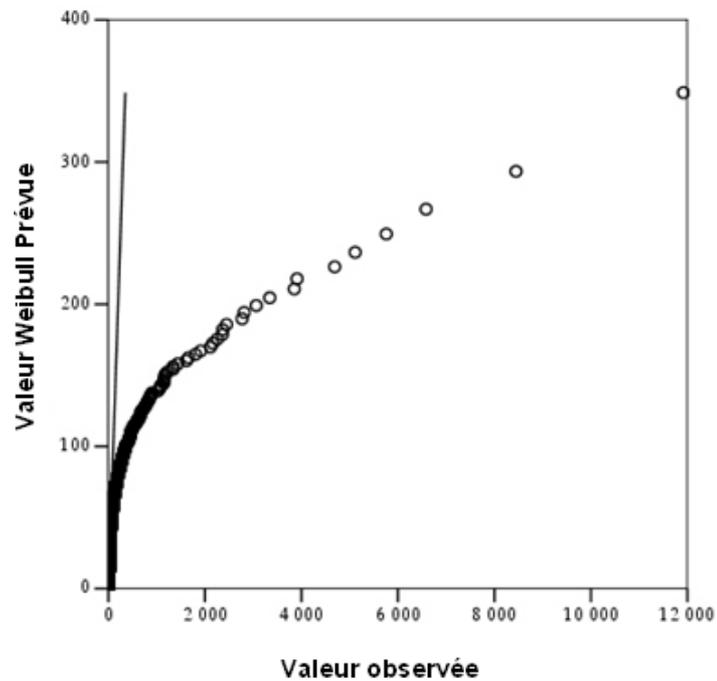


Figure 6.24 (a) – Graphe Q-Q Weibull de \bar{T} (anciennes stations)

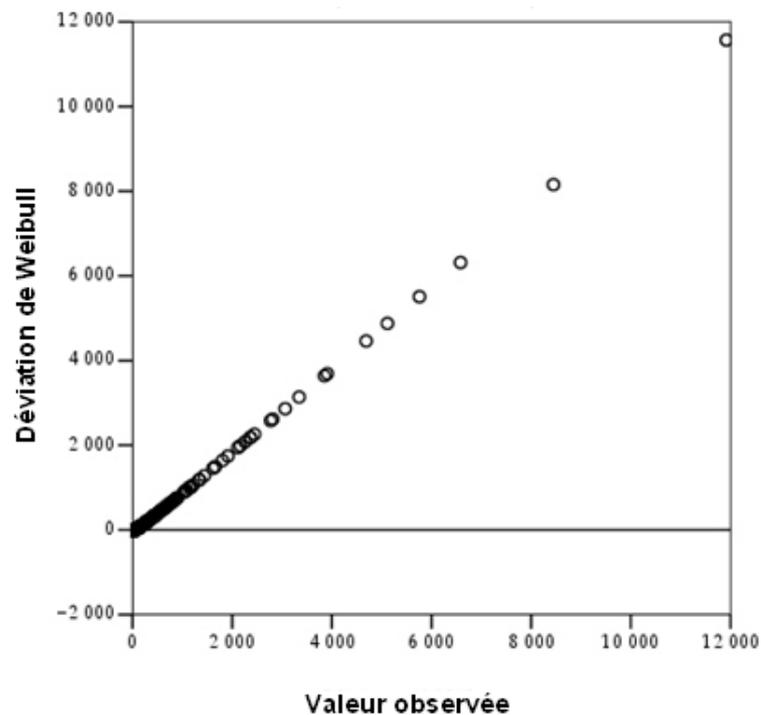


Figure 6.24 (b) – Graphe Q-Q Weibull détrendée de \bar{T} (anciennes stations)

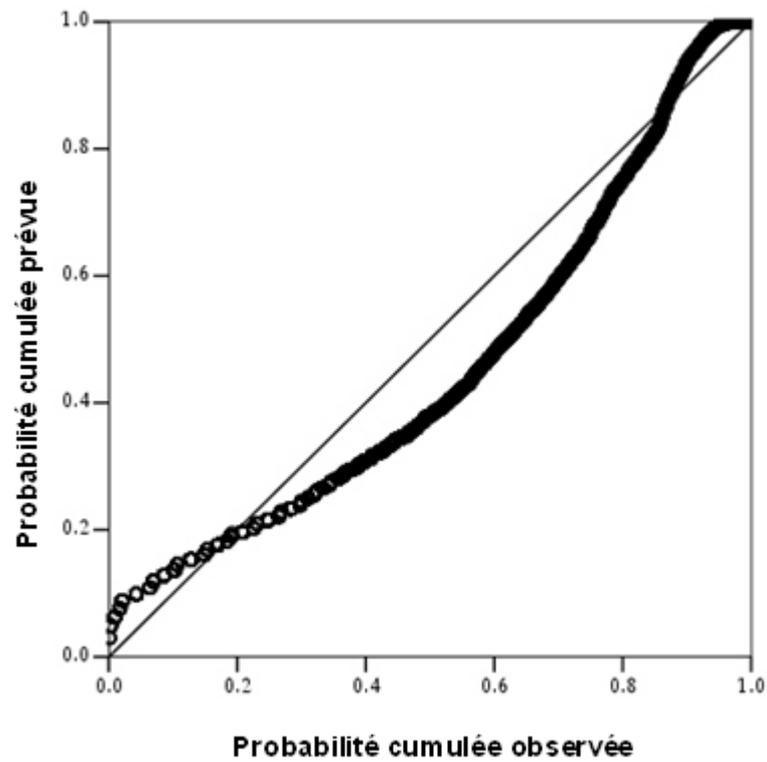


Figure 6.24 (c) – Graphe P-P Weibull de \bar{T} (anciennes stations)

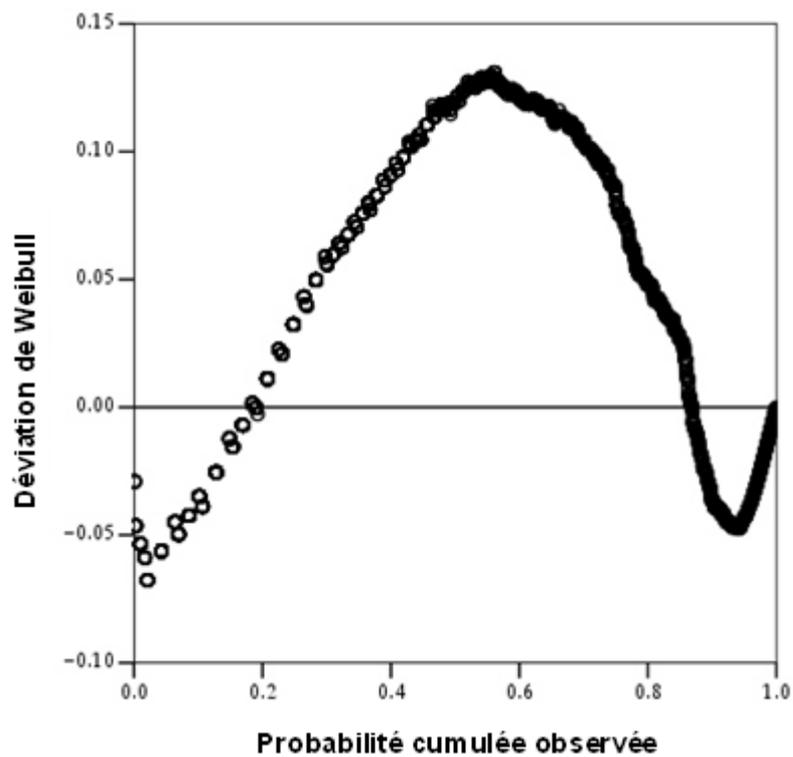


Figure 6.24 (d) – Graphe P-P Weibull détrendée de \bar{T} (anciennes stations)

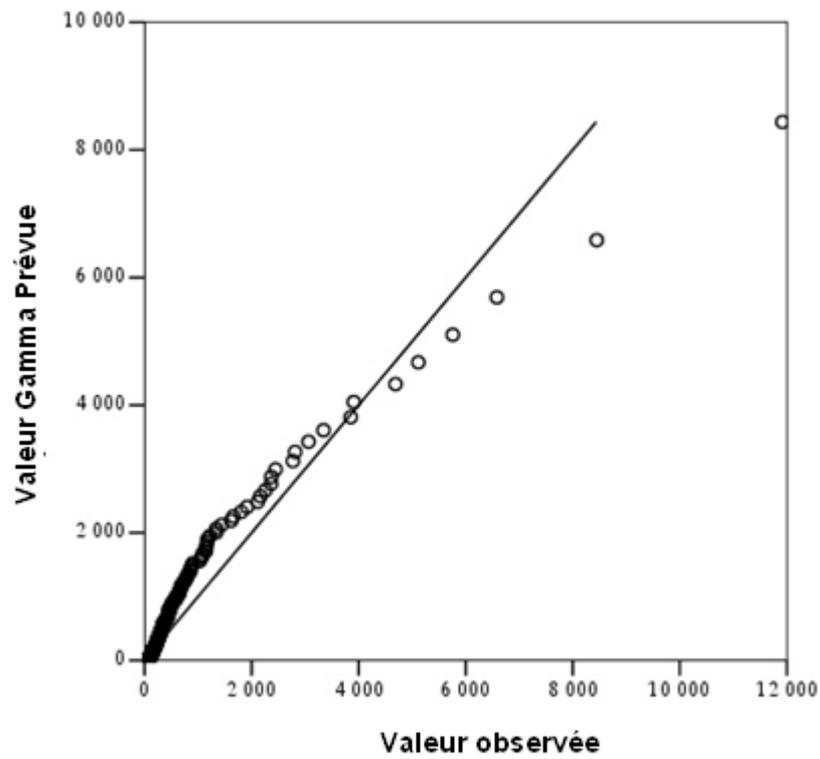


Figure 6.24 (e) – Graphe Q-Q Gamma de \bar{T} (anciennes stations)

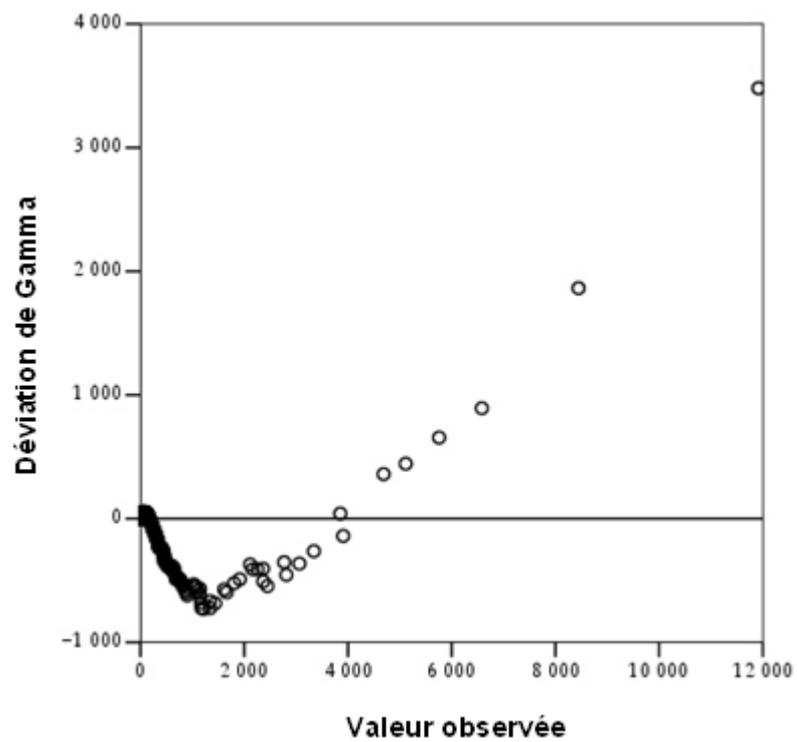


Figure 6.24 (f) – Graphe Q-Q Gamma détrendée de \bar{T} (anciennes stations)

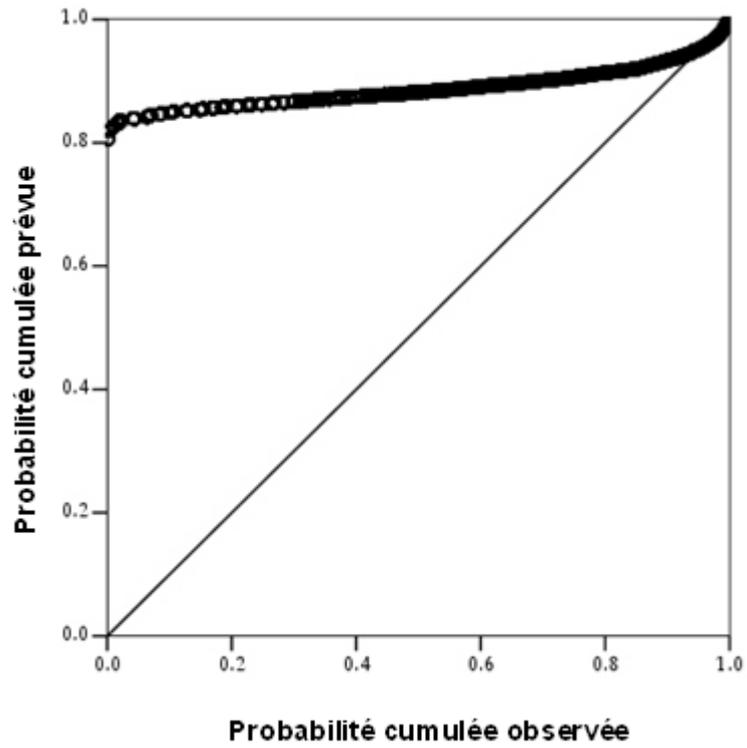


Figure 6.24 (g) – Graphe P-P Gamma de \bar{T} (anciennes stations)

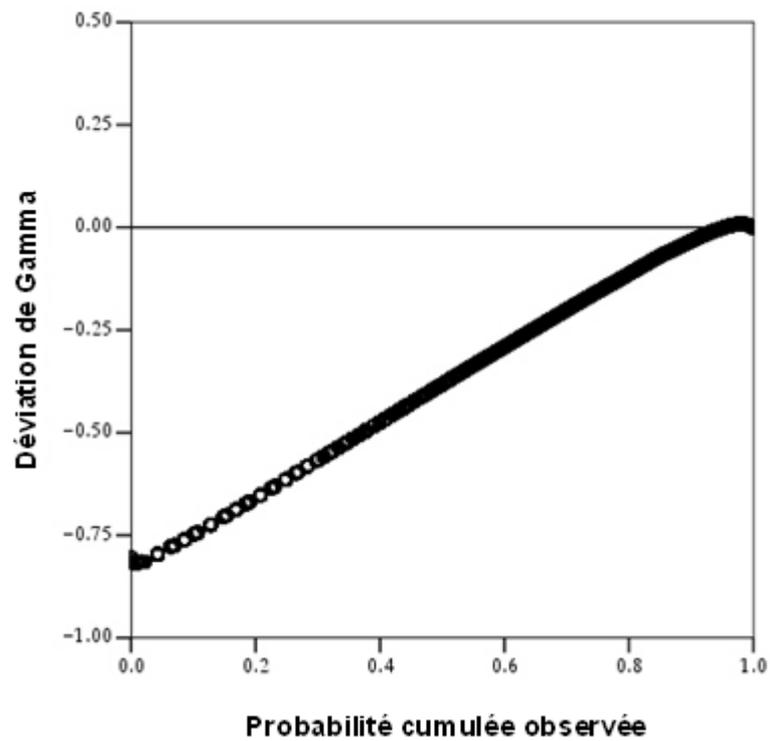


Figure 6.24 (h) – Graphe P-P Gamma détrendée de \bar{T} (anciennes stations)

6.2.6. Causes des arrêts non planifiés

Les causes d'arrêt des anciennes stations sont données par le Tableau 6.16.

Tableau 6.16 – Nature des pannes des anciennes stations

NATURE DE PANNE	Nombre des arrêts	Pourcentage
Régulation	253	52%
Mécanique	83	17%
Electrique	74	15%
Autres	80	16%
Total	490	100%

Ce tableau montre que la première cause des arrêts non planifiés observés sur une période de 10 ans est la régulation. Cette cause contient, par ordre d'importance décroissant, le :

- contrôle de la pression d'huile
- contrôle de température
- contrôle de la pression du gaz
- contrôle de débit
- contrôle d'incendie
- contrôle de vibration
- contrôle de la poussé axiale
- défaut de soupape de purge
- contrôle de vanne.

Bien que la régulation soit la première cause en termes de fréquence des arrêts non planifiés, elle n'est pas la première cause en termes de temps d'arrêts non planifiés. Cela est montré par le Tableau 6.17 qui donne la distribution des temps d'arrêt par année et par cause.

Tableau 6.17 – Distribution des temps d'arrêts par cause et par année

Unité	Conception	Mécanique	Régulation	Electrique	Autres	Total
2001	61 %	21 %	11 %	2 %	5 %	100 %
2002	36 %	20 %	4 %	2 %	38 %	100 %
2003	37 %	7 %	32 %	11 %	14 %	100 %
2004	46 %	28 %	16 %	6 %	5 %	100 %
2005	0 %	61 %	16 %	4 %	18 %	100 %
2006	41 %	30 %	17 %	0 %	12 %	100 %
Total	34 %	31 %	12 %	3 %	19 %	100 %

Le dernier Tableau confirme les résultats de l'ajustement par une loi de Weibull où nous avons obtenu des paramètres de forme inférieurs à un (01) pour toutes les stations de Compression, ce qui correspond à des périodes de vie à risque de défaillance décroissant, à cause des anomalies cachées. Si la politique de maintenance actuelle continue, les défauts de conception persisteront toujours dans ces équipements jusqu'à leur mise en rebut.

Dans ce cadre, nous recommandons de former le personnel de maintenance dans la rédaction des cahiers de charges, pour que le choix des équipements se fasse sur la base des coûts de cycle de vie et non pas sur le prix d'acquisition. A ce titre, il est conseillé d'exiger de tout fournisseur d'équipement de fournir une évaluation du CCV pour tout équipement proposé, y compris le coût global de maintenance tel que nous l'avons décomposé précédemment.

6.2.7. Régression de la quantité de gaz non injecté

Nous avons déjà signalé que l'injection du gaz est nécessaire afin de garder le niveau de production du pétrole. Pour chaque arrêt d'une station de Compression, les volumes de gaz non injectés sont estimés sur la base de la durée de l'arrêt. Nous pouvons voir sur les Figures 6.25 (de (a) à (d)) que, pour chaque station, le volume du gaz réellement injecté (représenté par Injection09, Injection10, Injection11 et Injection12, respectivement, pour les stations 09, 10, 11 et 12) est linéairement lié à la durée d'arrêt de la station de Compression HP (représentée par S09hp, S10hp, S11hp et S12hp, respectivement, pour les stations 09, 10, 11 et 12). Ces graphes montrent donc, que les quantités injectées (Injection09, Injection10, Injection11 et Injection12) peuvent être ajustées convenablement par des droites simples par rapport, respectivement, aux variables (S09hp, S10hp, S11hp et S12hp). Chaque droite est entourée par deux autres droites qui limitent l'intervalle de confiance de l'ajustement à 95%. Les points observés sont à l'intérieur de ces intervalles pour les relations (Injection09 , S09hp), (Injection10 , S10hp), (Injection11 , S11hp) et (Injection12 , S12hp).

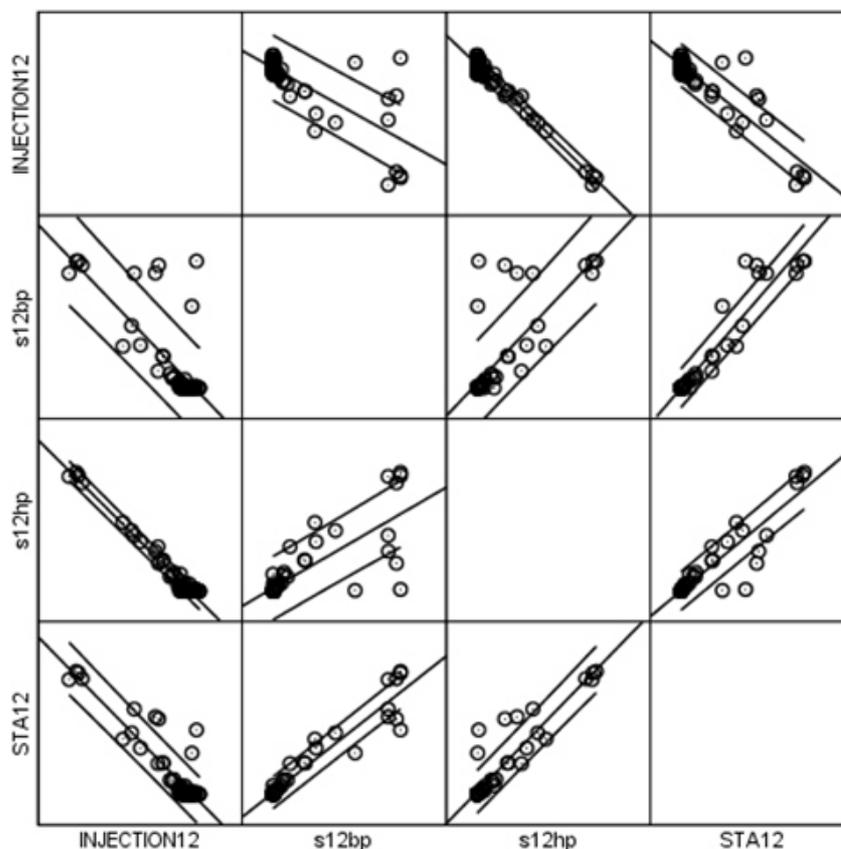


Figure 6.25 (a) – Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 9

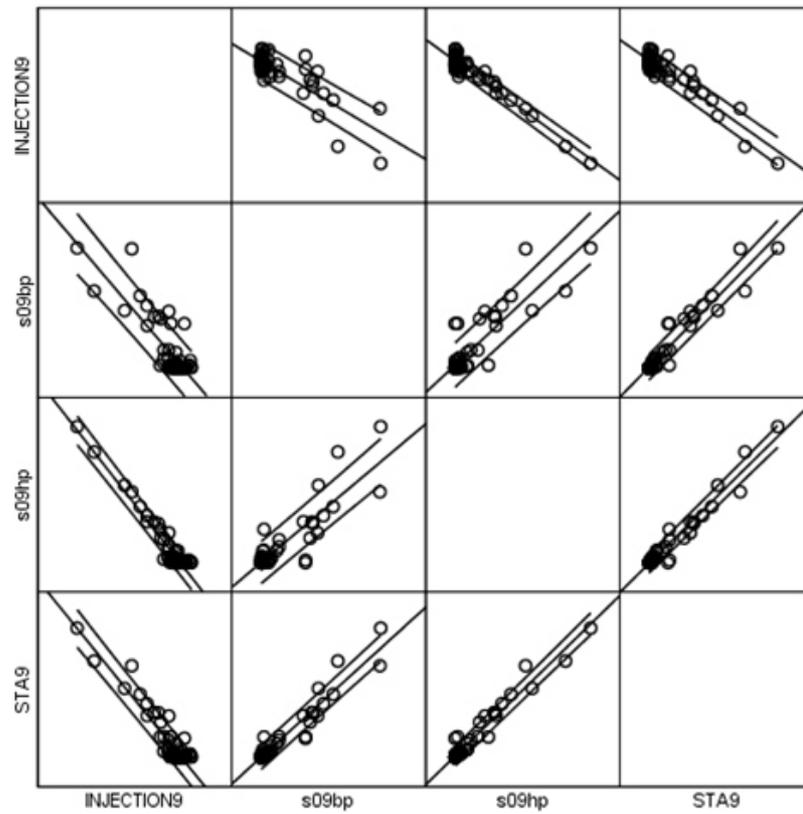


Figure 6.25 (b) – Quantité de gaz injectée en fonction du temps d’arrêt station 10

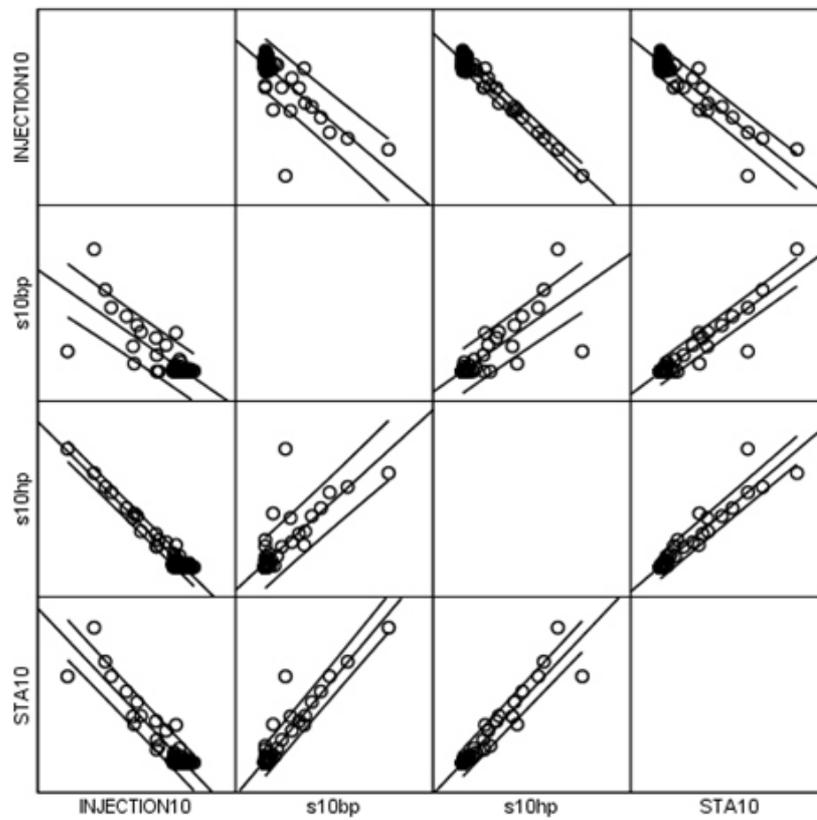


Figure 6.25 (c) – Quantité de gaz injectée en fonction du temps d’arrêt station 11

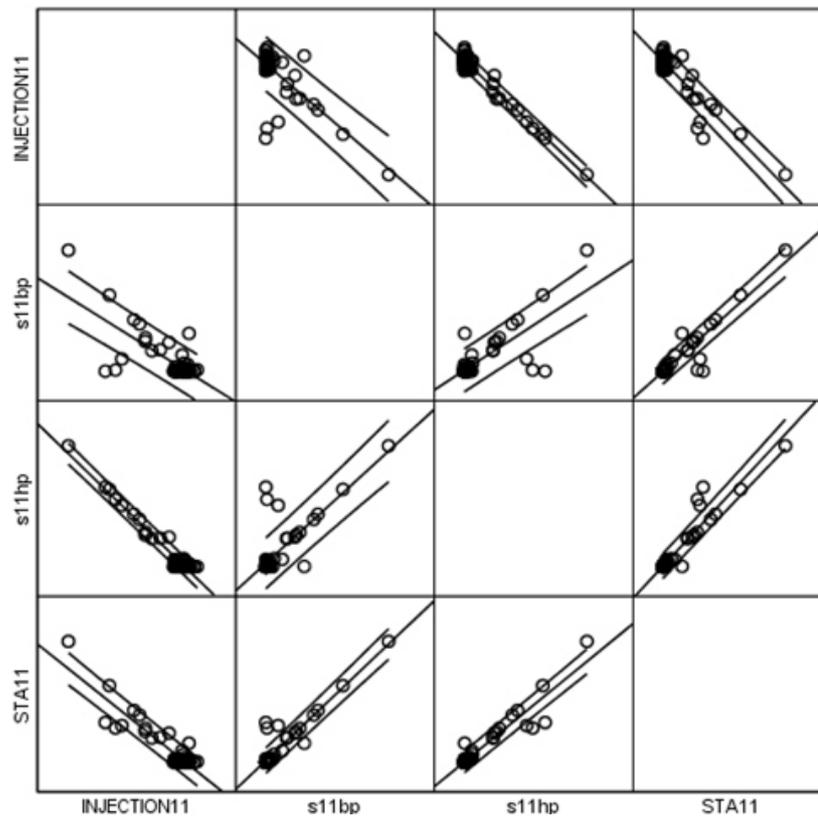


Figure 6.25 (d) – Quantité de gaz injectée en fonction du temps d'arrêt station 12

Nous avons fait une régression linéaire des variables Injection09, Injection10, Injection11 et Injection12 par rapport aux variables S09hp, S10hp, S11hp et S12hp, respectivement. Les résultats sont donnés par les modèles suivants (voir Tableau 6.18).

Tableau 6.18 – Résultat de la régression linéaire simple

		Coef.	Sig.	D.W.
Injection09 = f(Constant, s09hp)	(Constant)	248193,780	0,000	1,583
	s09hp	-324,956	0,000	
Injection10 = f(Constant, s10hp)	(Constant)	251562,291	0,000	1,625
	s10hp	-342,245	0,000	
Injection11 = f(Constant, s11hp)	(Constant)	252795,115	0,000	1,744
	s11hp	-346,726	0,000	
Injection12 = f(Constant, s12hp)	(Constant)	253502,629	0,000	1,701
	s12hp	-349,620	0,000	

Nous remarquons que dans chaque modèle la constante est significative. En effet lorsque la durée de l'arrêt est égale à zéro (0) nous obtenons la quantité maximale de gaz injectée, qui n'est rien d'autre que la constante du modèle de régression. Pour chaque modèle la signification est très élevée et la statistique de Durbin-Watson est proche de 2, ce qui indique qu'il n'existe pas d'autocorrélation des erreurs. Pour chaque modèle l'hypothèse de normalité des erreurs est vérifiée comme le montrent les Figure 6.26 (de (a) à (d)).

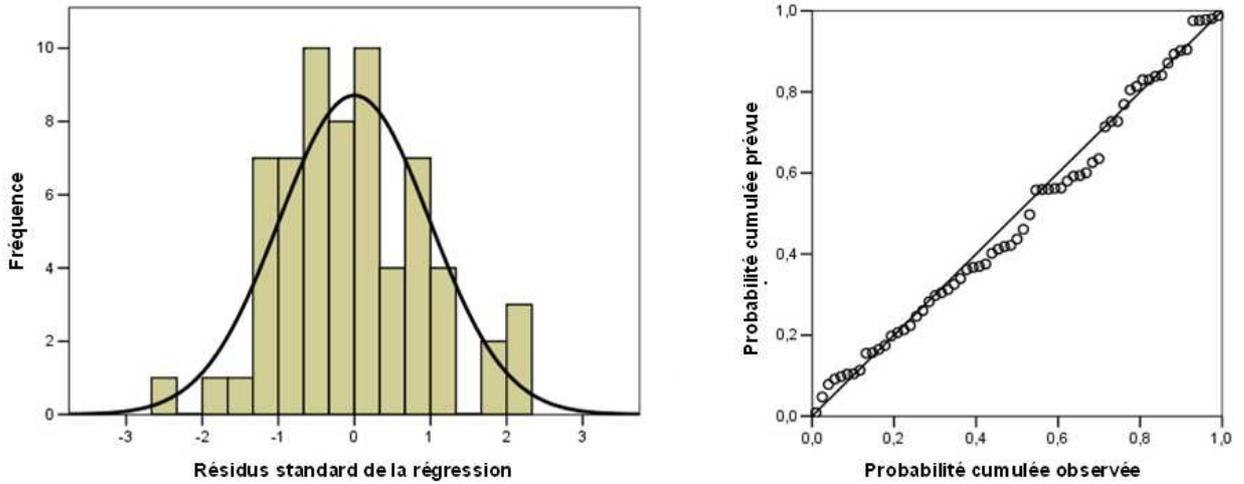


Figure 6.26 (a) – Test de normalité des erreurs de régression (Station 09)

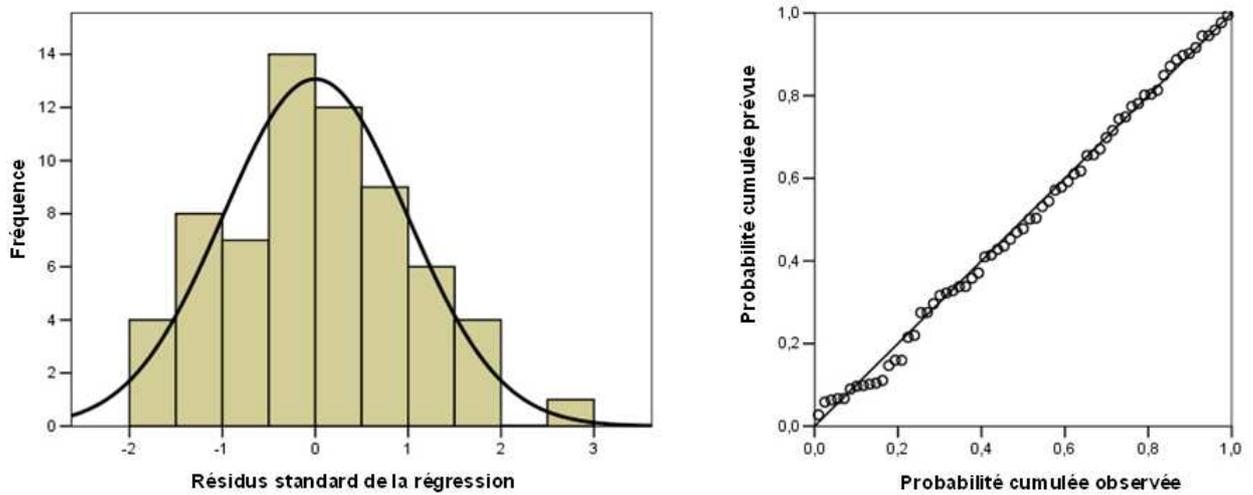


Figure 6.26 (b) – Test de normalité des erreurs de régression (Station 10)

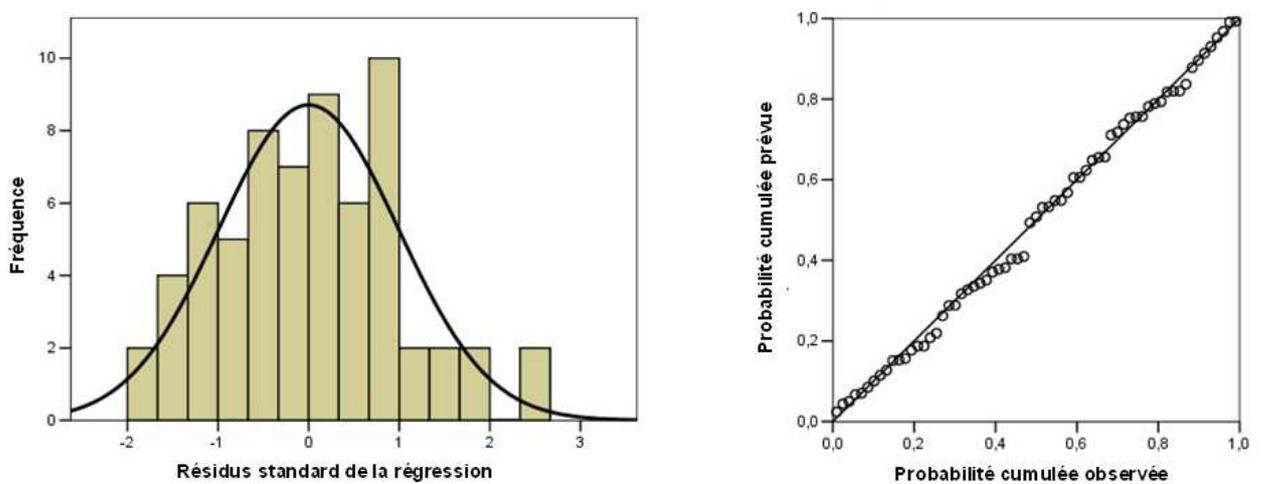


Figure 6.26 (c) – Test de normalité des erreurs de régression (Station 11)

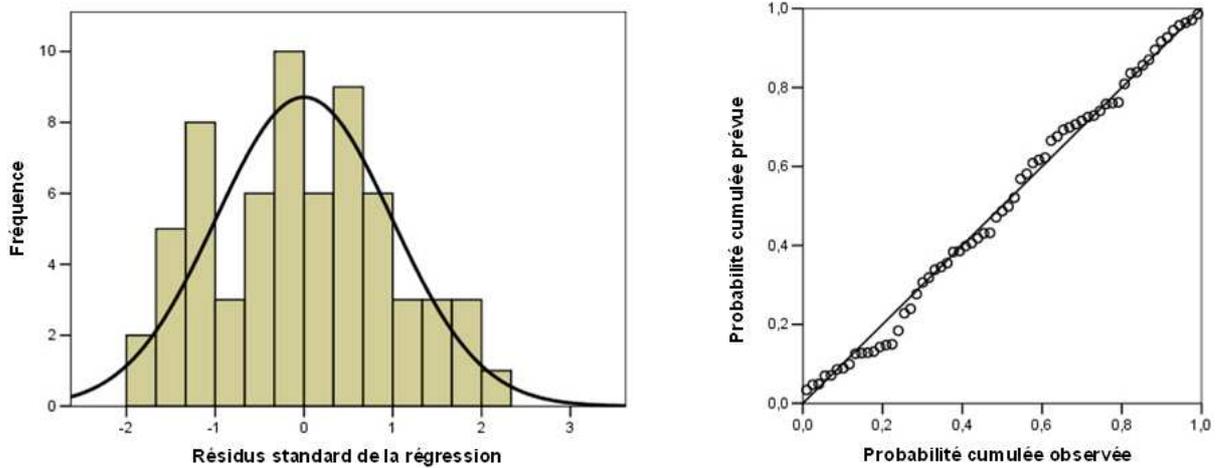


Figure 6.26 (d) – Test de normalité des erreurs de régression (Station 12)

Ainsi, l’amélioration de la maintenance au CIS doit cibler en premier lieu la minimisation des temps d’arrêts des stations de Compression étant donné que leurs impacts sur les quantités de gaz injectées sont considérables ce qui veut dire que leurs effets sur le CCV sont très importants.

6.2.8. Simulation du CCV de la Compression

L’utilisation de l’approche «dynamique des systèmes» comme outil de simulation a nécessité la modélisation du comportement dynamique du CCV des stations de Compression. Ce comportement est représenté par les Diagrammes des Figures 6.27, 6.28, 6.29 et 6.30.

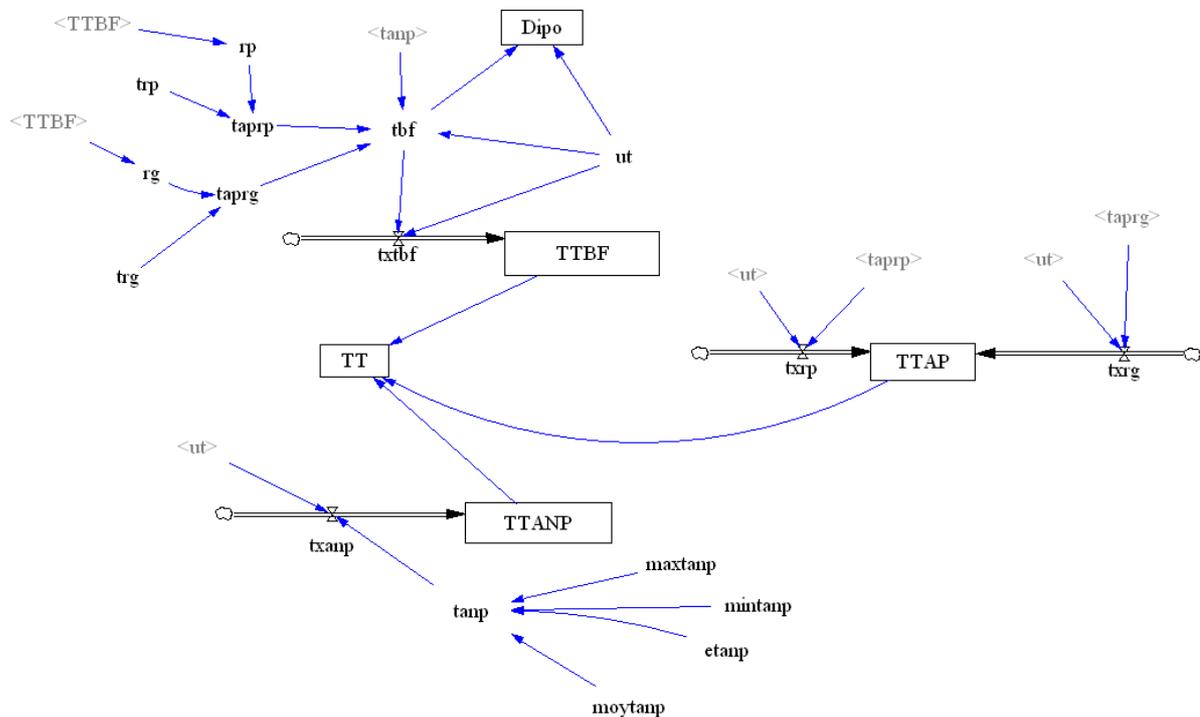


Figure 6.27 – Diagramme de vérification du temps total

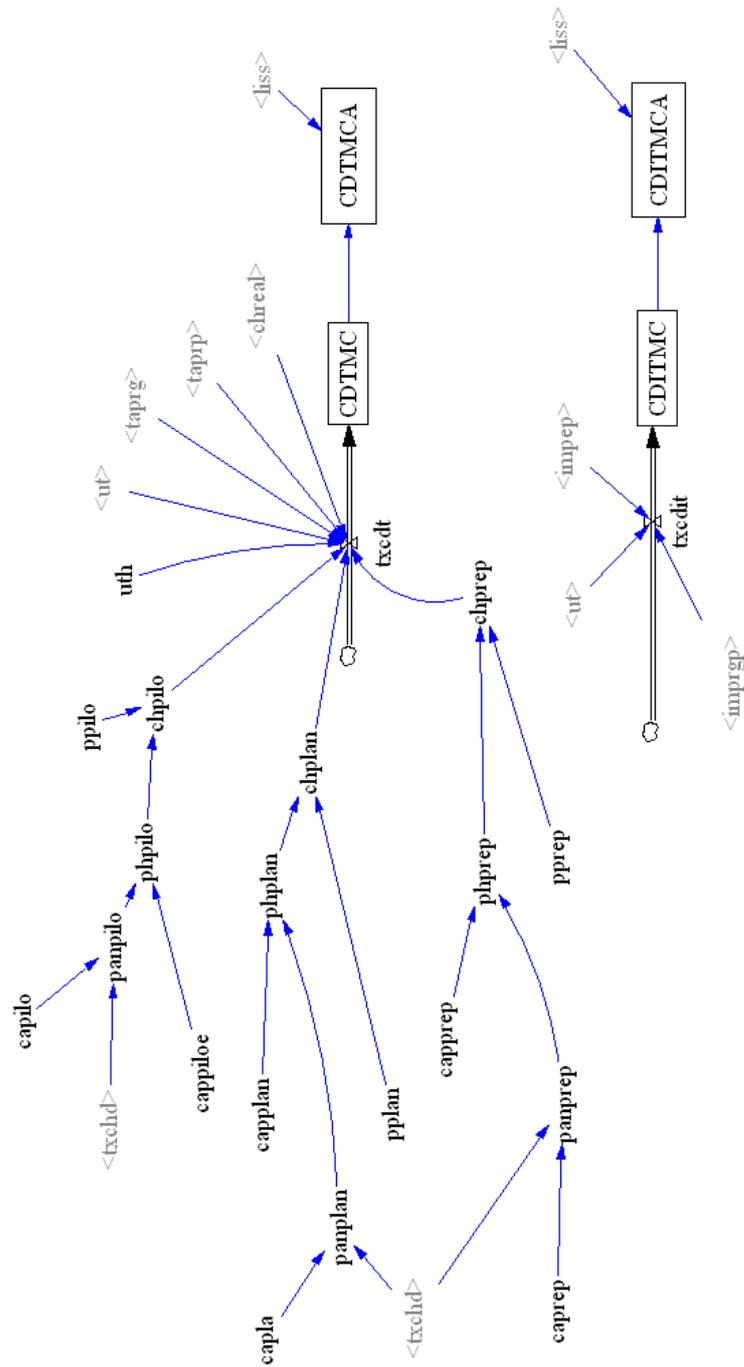


Figure 6.28 – Diagramme du Coût direct (tangible et intangible) actualisé

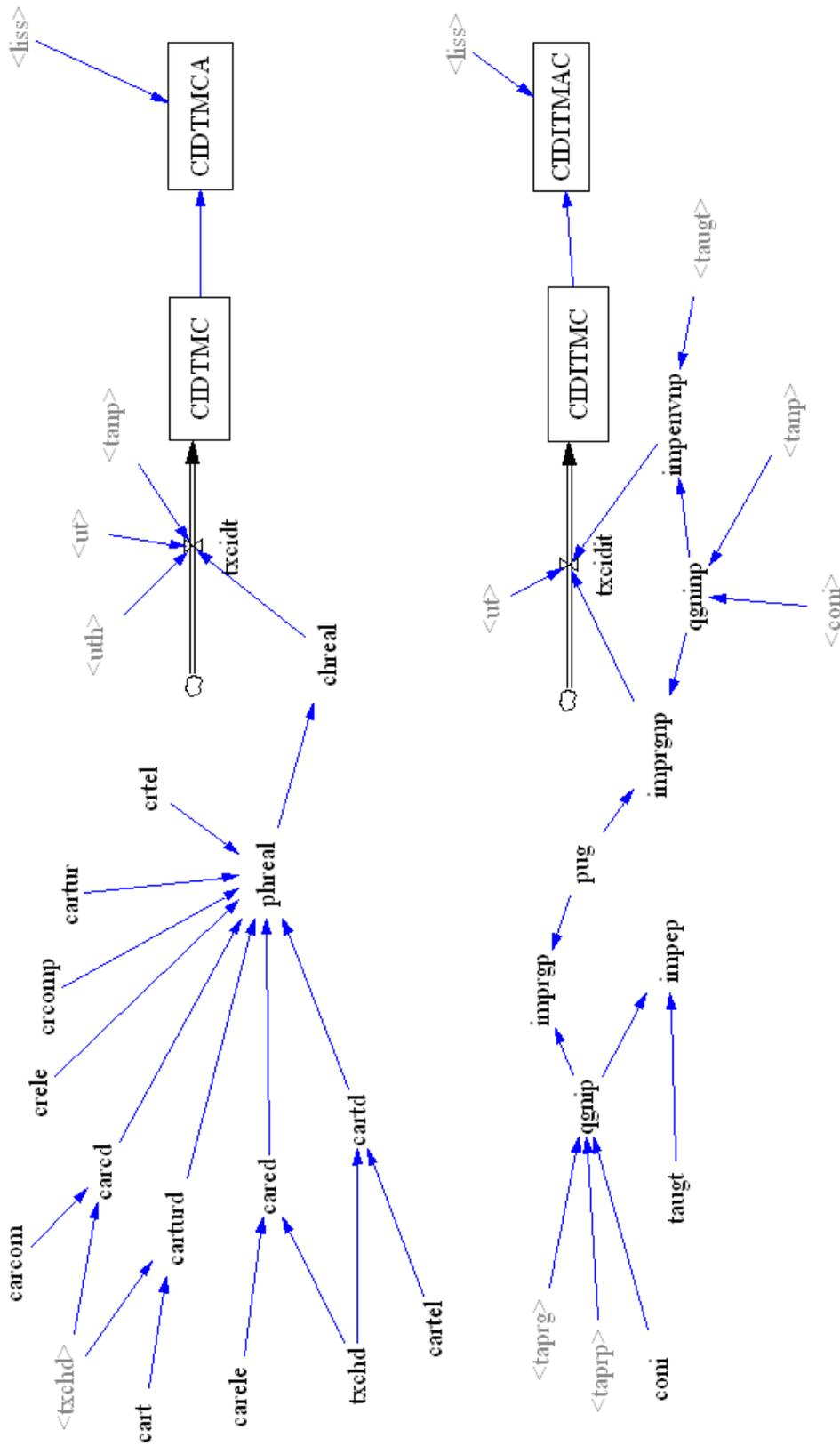


Figure 6.29 – Diagramme du Coût indirect (tangible et intangible) actualisé

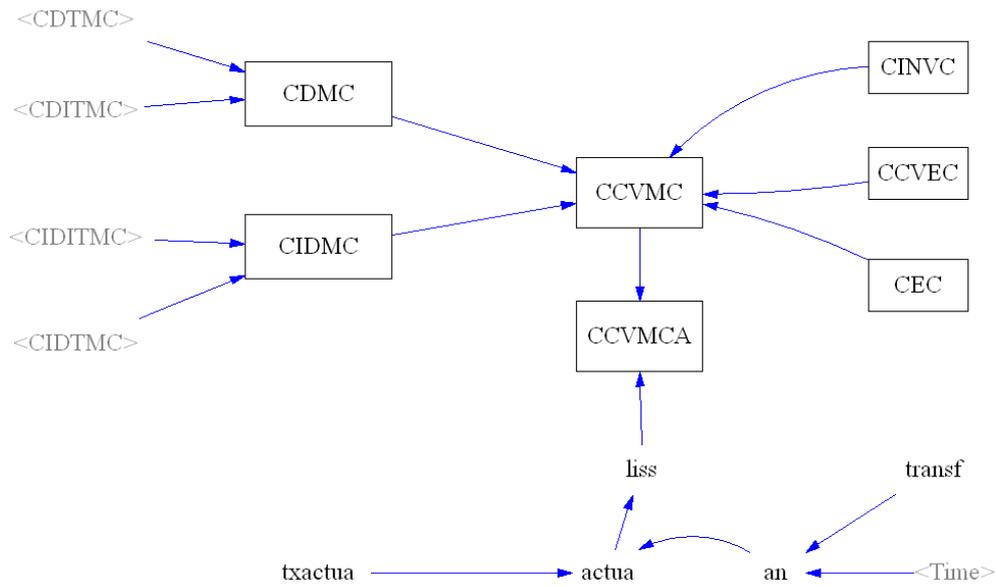


Figure 6.30 – Diagramme du CCV actualisé de Compression

Le but de l’approche que nous avons proposée est d’aider le manager à identifier les actions d’améliorations les plus efficaces en termes de diminution du CCV de la Compression. L’outil que nous avons construit, fournit une évaluation de l’état actuel de la maintenance (voir Figures 6.31, 6.32 et 6.33) et traduit aussi l’impact des propositions d’amélioration de la maintenance sous forme d’une diminution du CCV, comme le montrent, par exemple, les Figures 6.34 et 6.35.

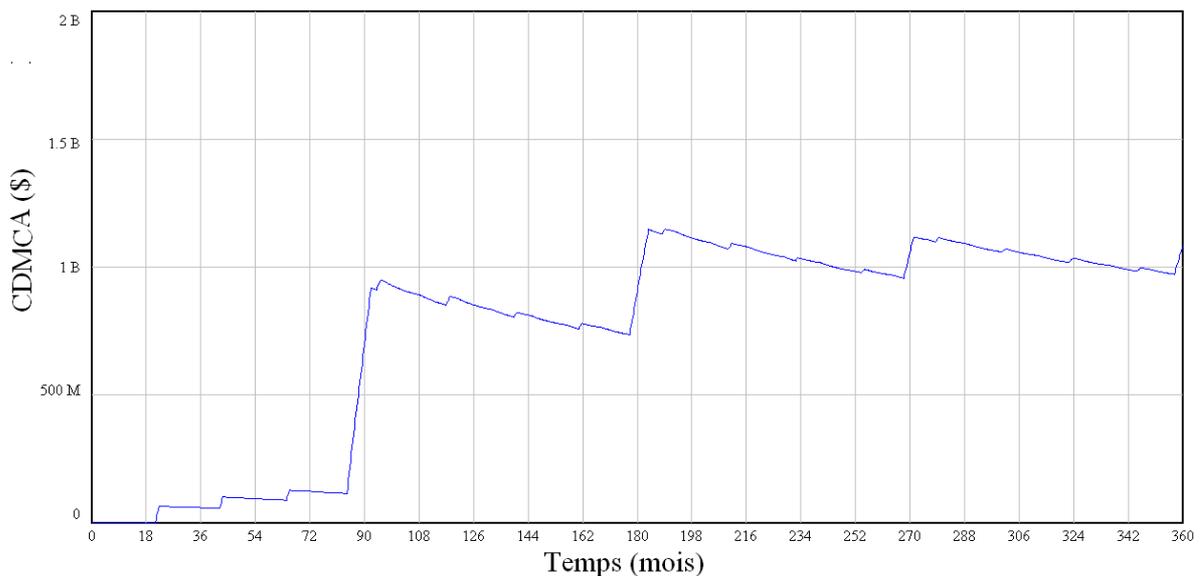


Figure 6.31 – Coût direct de maintenance de Compression

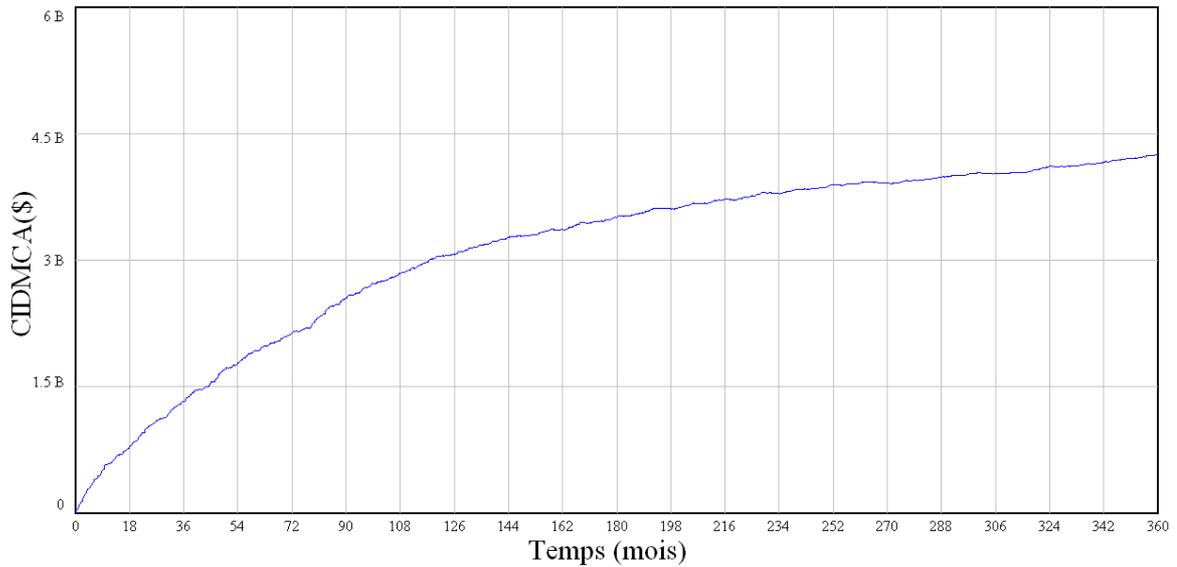


Figure 6.32 – Coût indirect de maintenance de Compression

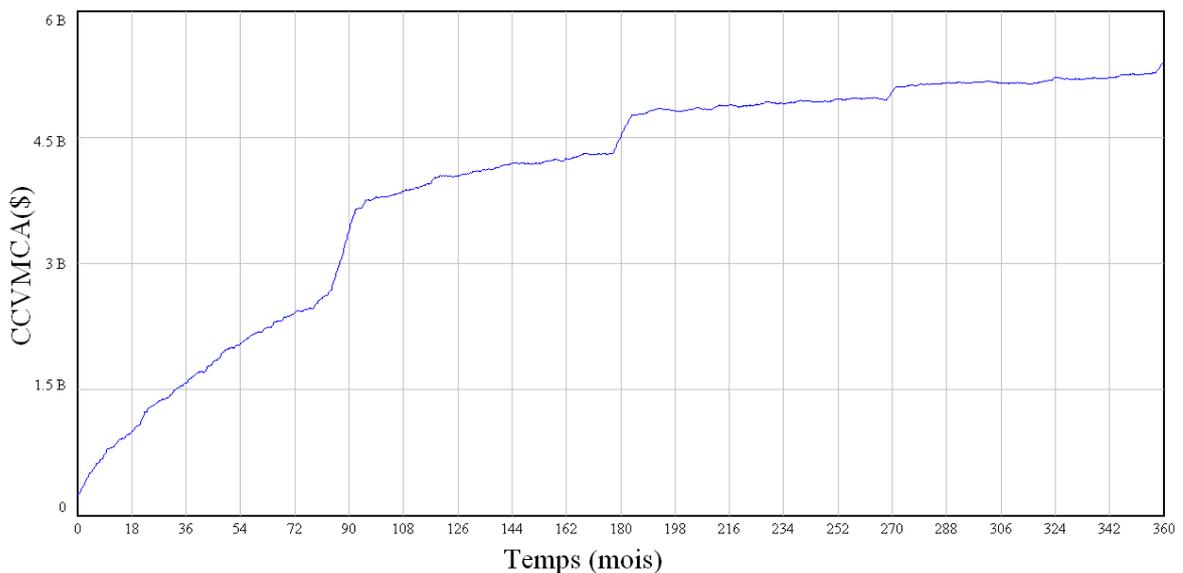


Figure 6.33 – CCV de maintenance de Compression

La Figure 6.35 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 2.755 M\$ au lieu de 5.340 M\$. Cet exemple montre que le management de maintenance apportera un gain énorme à l'entreprise (2.585 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.

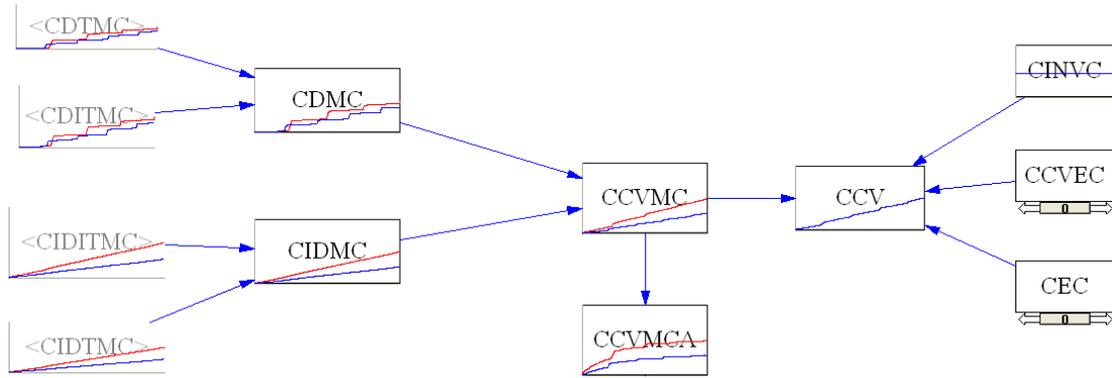


Figure 6.34 – Impact de l’amélioration sur le CCV de maintenance de Compression

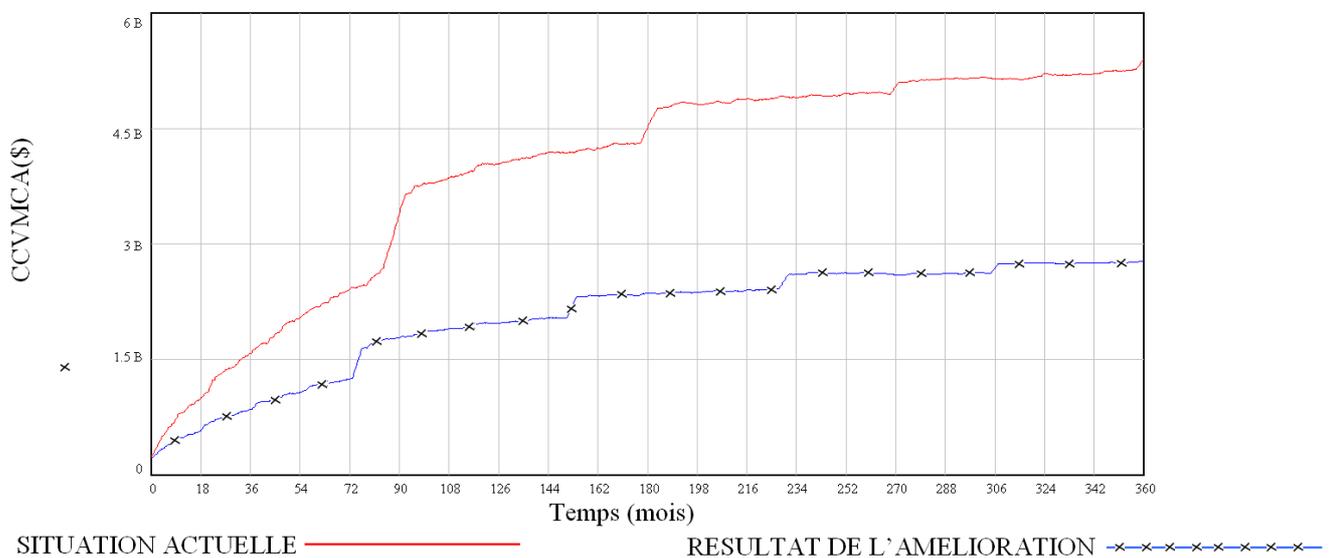


Figure 6.35 – Exemple de l’impact d’un scénario d’amélioration

Ainsi, l’outil que nous avons construit, permet de mesurer la sensibilité du coût global de maintenance par rapport aux différentes variables de contrôle, ce qui permettra de proposer des scénarios d’amélioration où chaque scénario est muni de l’évaluation de son impact sur le coût global de maintenance.

6.3. Conclusion

Dans le but de proposer un plan d’amélioration de la maintenance, nous avons entamé, dans ce chapitre, la troisième étape de l’application. Cette étape nous a permis d’identifier l’unité de Compression comme étant l’inducteur de CCV le plus important du CIS. Pour cette raison nous avons exploité plusieurs sources de données pour modéliser les fonctions de fiabilité et de taux de défaillance des stations de Compression. Nous avons remarqué que le taux de défaillance était décroissant. Ce qui nous a laissé supposer que les équipements étudiés comportaient des défauts de conception. Afin de tester cette hypothèse nous avons étudié les causes des arrêts non planifiés des stations entre 2001 et 2006, nous avons constaté que les

problèmes liés à la phase de conception des équipements ont engendré 34% des temps d'arrêts non planifiés des stations de Compression.

Certes, le potentiel d'amélioration de la maintenance au niveau de l'unité de Compression, est réduit significativement avec les problèmes de conception des stations, mais il reste un gisement d'optimisation très important qui est le temps d'arrêt non planifié lié aux causes d'arrêt mécaniques, de régulation et électriques, qu'il faudra minimiser. Cela dépend du niveau d'efficacité de la maintenance.

Le management de maintenance apportera un gain énorme à l'entreprise si la maintenabilité 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. Il est aussi important de former le personnel de maintenance dans la rédaction des cahiers des charges pour que le choix dans l'acquisition des nouveaux équipements se fasse sur la base des CCV et non pas sur le prix d'acquisition. A ce titre, il est conseillé d'exiger de tout fournisseur d'équipement de fournir une évaluation du CCV pour tout équipement proposé.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux effectués dans cette thèse s'inscrivent 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. Plus précisément, la démarche proposée fournit au manager un outil efficace, pour choisir les actions d'amélioration de la maintenance les plus significatives en termes de diminution du CCV. En extension, cette approche peut même constituer un outil efficace pour élaborer les budgets d'une manière plus rationnelle comparativement à l'approche classique.

Dans un premier temps, nous avons passé en revue les dimensions stratégiques de la maintenance ainsi que les approches proposées en littérature pour mesurer la performance en général et la performance de la fonction maintenance en particulier. Nous avons souligné la nécessité de construire une nouvelle approche qui prend en considération la dimension économique, stratégique et systématique pour l'amélioration de la maintenance. Dans notre présentation de l'analyse du CCV, nous avons évoqué notamment l'importance de la phase de conception des systèmes dans l'amélioration future de leurs maintenances.

Cette thèse a permis de proposer une approche nouvelle qui peut être utilisée par le top management dès la phase de conception du système, mais aussi au moment de son exploitation. Comparativement aux autres approches proposées en littérature, notre approche apporte une nouvelle contribution aux travaux d'amélioration de la maintenance. En premier lieu, notre approche suppose que la performance de la fonction maintenance doit être améliorée 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 stratégiques de l'entreprise. En second lieu, 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 économique (valeur).

Dans la phase de modélisation, nous avons décomposé le coût global de la maintenance en coût direct et coût indirect. Le coût direct se rapporte aux actions de maintenance préventive ou corrective déterminées dans les plans tracés pour maintenir le système durant tout son cycle de vie. Le coût indirect est lié aux actions correctives réalisées suite à des défaillances non prises en compte par les plans de maintenance. Dans chaque type de coût, nous avons identifié un coût tangible et un coût intangible. Pour l'estimation du coût direct de la maintenance nous avons eu recours à un certain nombre d'outils. L'utilisation de la décomposition fonctionnelle du processus de maintenance en sous processus et de la méthode *time-driven ABC* ont permis d'identifier les variables qui déterminent le coût tangible. Le coût intangible qui se traduit par son impact sur la production, la qualité et l'environnement a été exprimé en fonction de certaines variables déterminantes.

Étant donné que les actions de maintenance ne sont pas connues au préalable lors de l'estimation du coût indirect de la maintenance, nous avons proposé un outil pour identifier d'abord les actions correctives et ensuite pour estimer leurs coûts indirects. L'estimation des parties tangible et intangible du coût indirect doit être conduite de la même manière que celle du coût direct de la maintenance.

Un processus de 5 étapes, basé sur le calcul du CCV pour améliorer la performance d'un système et dont la fonction maintenance fait partie, a été aussi proposé. Nous avons préconisé l'utilisation de la formulation proposée pour l'estimation du coût global de la maintenance, dans le but de mettre en évidence les éléments à améliorer en priorité et aussi pour aider à tracer un plan d'action dans le cadre d'une amélioration continue de la performance globale.

Dans la phase d'application, nous avons choisi le CIS (région HMD, Sonatrach) pour tester notre approche. Le point de départ de notre analyse était l'écart entre le programme de maintenance tel qu'il a été tracé au départ et celui qui a été réellement réalisé. Cet écart est important et a engendré des arrêts non planifiés des équipements et machines stratégiques au niveau des différentes unités de production du CIS. Ces arrêts non planifiés représentent en moyenne 66% du temps improductif du complexe, alors que les arrêts planifiés ne représentent que 2%. D'autres indicateurs ont été aussi mesurés pour évaluer le degré d'inefficacité qui caractérise la maintenance au sein du CIS.

Pour déterminer les causes responsables des dysfonctionnements de la fonction maintenance, observés dans la première étape de l'application, nous avons réalisé un audit de cette fonction au niveau des cinq unités qui composent le CIS. Dans ce cadre, nous avons conçu un questionnaire composé de 303 questions divisées sur 12 axes liés au management de maintenance. Ce questionnaire nous a permis de réunir plusieurs éléments de réponse qui ne se trouvent pas dans les documents officiels. Nous avons constaté que le niveau de productivité de maintenance est proche d'une unité à une autre et nous avons ainsi dressé la liste des non-conformités communes entre les différentes unités. Cet audit nous a renseigné que le système de "maintenance costing" est celui qui demande le plus d'attention de la part du top management, c'est justement dans cette direction que s'intègre notre contribution. À la fin de cette première étape nous avons proposé un ensemble de recommandations pour améliorer l'efficacité du système de maintenance au sein du CIS.

Dans la deuxième étape de l'application, nous avons estimé le coût tangible de maintenance au niveau du CIS et nous avons distingué entre le coût tangible qui provient du coût direct et celui qui provient du coût indirect. La même démarche a été adoptée lors de l'estimation du coût intangible de maintenance lié au CIS. De cette manière, le coût global de maintenance, pour seulement la première année du cycle de vie, a été évalué à 1210 M\$, ce qui représente approximativement 28% du chiffre d'affaires annuel du CIS. Le coût de l'inefficacité de maintenance est plus important que cela, étant donné qu'il reste encore un autre coût qui est difficile à estimer, il s'agit de l'impact sur la sécurité, la santé et l'environnement. En effet, la maintenance reste le métier qui a le plus de risque d'accident du travail au sein du CIS. Une partie de ces accidents est causée par la mauvaise préparation des travaux de maintenance. Il s'ajoute à cela l'impact des gaz torchés, causés par les arrêts imprévus, sur la santé et l'environnement.

La troisième étape de l'application nous a permis d'identifier les stations de Compression comme étant l'inducteur de CCV le plus important du CIS. Nous avons exploité plusieurs sources de données pour modéliser la fonction de fiabilité et le taux de défaillance des stations de Compression. Nous avons remarqué que le taux de défaillance était décroissant. Ce qui nous a laissé supposer que les équipements étudiés comportaient des défauts de conception. Afin de tester cette hypothèse, nous avons étudié les causes des arrêts non planifiés des stations entre 2001 et 2006, nous avons constaté que les problèmes liés à la phase de conception des équipements ont engendré 34% des temps d'arrêts non planifiés des stations de Compression.

Certes le potentiel d'amélioration est réduit significativement avec les problèmes de conception des stations de compression, mais il reste un gisement d'optimisation très important qui est le temps d'arrêt non planifié qu'il faut minimiser, cela dépend du niveau d'efficacité de la maintenance.

Le management de maintenance apportera un gain énorme à l'entreprise si la maintenabilité 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 des moyens matériels. Une meilleure préparation du lancement des travaux est également nécessaire.

Il est aussi important de former le personnel de maintenance dans la rédaction des cahiers de charges pour que le choix dans l'acquisition des nouveaux équipements se fasse sur la base des coûts de cycle de vie et non pas seulement sur le prix d'acquisition. A ce titre, il est conseillé d'exiger de tout fournisseur d'équipement de fournir une évaluation du CCV pour tout équipement proposé.

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".

Nous recommandons de réaliser d'autres diagnostics dans différents sites industriels qui appartiennent au groupe pétrolier SH et de mesurer l'impact de la maintenance sur le goodwill, la sécurité, la santé et l'environnement. Cela est de nature à enrichir davantage la connaissance de l'état réel du système de maintenance pour lui apporter les actions d'améliorations les plus efficaces.

Bibliographie

Bibliographie de la thèse

1. AFNOR (2001), *Norme européenne NF EN 13306 : Terminologie de la maintenance*, Association Française de Normalisation, Paris.
2. AFNOR (2002), *Maintenance industrielle, Fonction maintenance, FD X 60-000*, Association Française de Normalisation, Paris
3. Ahlmann, H.R (2002), "From traditional practice to the new understanding: the significance of life cycle profit concept in the management of industrial enterprises", IFRIMmm Conference, Växjö Sweden, 6-7 May 2002, disponible à: <http://www.ie.lth.se/Staff/Hans/AhlmannIFRIMmm1.doc> (consulté le 28 Janvier 2006).
4. Al-Muhaisen, M. and Santarisi, N. (2002), "Auditing of the maintenance system of Fuhais plant/Jordan Cement Factories Co", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 8, Number 1, pp. 62-76.
5. **Aoudia, M., (2005)**, "Les cadres de conception des systèmes de mesure de performance", Séminaire international sur l'excellence en performance des gouvernements et des organisations, 8 et 9 Mars, Faculté de droits et sciences économiques, Université de Ouargla.
6. **Aoudia, M., (2008)**, "L'amélioration de la maintenance par le coût du cycle de vie", Deuxième édition du Symposium International sur La Maintenance & la Maîtrise des Risques, 6 et 7 Mai, université d'Oran.
7. **Aoudia, M., Belmokhtar, O., and Zwingelstein, G. (2008)**, "Economic impact of maintenance management ineffectiveness of an oil and gas company", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2008, Volume 14, Number 3, pp. 237 – 261.
8. **Aoudia, M., (2009)** "Life Cycle Based Framework Conception for Costing and Improving Maintenance" 4 th World Congress on Engineering Asset Management, Greece, 28-30 September.
9. Arts, R.H.P.M., Knapp, G.M. and Mann L.J. (1998), "Some aspects of measuring maintenance performance in the process industry", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 4, Number 1, pp. 6-11.
10. **Belmokhtar O., Ouabdeslem A., and Aoudia M., (2004)** "Conception of an information system for the maintenance management" in *Proceedings of the 5th International Conference on Quality, Reliability, and Maintenance, QRM 2004*, edited by McNulty, G.J., Professional Engineering Publishing Limited, Bury St Edmund, London, UK, pp. 141-144.
11. Ben-Daya, M. and Duffuaa, S.O. (1995), "Maintenance and quality: the missing link", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 1, Number 1, pp. 20-26.
12. Blanchard, B. S. (1997), "An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 3, Number 2, pp. 69-80.
13. Blanchard, B. S. and Fabrycky, W.J. (1998), *Systems Engineering and Analysis*, 3 rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA
14. Blanchard, B.S. (2004), *Logistics Engineering and Management*, Prentice hall, 2004, 6 th edition.
15. Blanchard, B.S. (1999), *Cost management*, in Andrew P. Sage and William B. Rouse (1999), *Handbook of systems engineering and management*, John Wiley & Sons, Inc, p.p. 235-268.
16. Blanchard, B.S. and Fabrycky, W.J. (1990), *Systems engineering and analysis*, Prentice hall, 1990, 2nd edition.

17. Blischke, W.R. and Murthy, D.N.P. (2003), *Case studies en Reliability and maintenance*, Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons.
18. Bruggeman W., Everaert P., Anderson S.R. and Levant Y. (2005) "Modeling Logistics Costs using Time-Driven ABC: A Case in a Distribution Company" September, 2005/332, Faculty of Economics and Business Administration, Ghent University.
19. Campbell, J.D. (1995), *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*, Productivity Press, Portland, OR.
20. Campbell, J.D. and Jardine, A.K.S. (2001), *Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life Cycle Decisions*, Mercer Dekker, New York
21. CEI (2004) Norme internationale, CEI Standard 60300-3-3 : Gestion de la sûreté de fonctionnement", Commission Electrotechnique Internationale, Deuxième édition, disponible à : http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60300-3-3%7Bed2.0%7Db.pdf (consulté le 01 Juin 2006).
22. CEN (2007), *European standard EN 15341 : Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators*, Comité Européen de Normalisation, Brussels.
23. Chatzkel J., A (2002), "Conversation with Göran Roos", *Journal of Intellectual Capital*, Volume 3, Number 2, pp. 97-113.
24. Cholasuke, C. Bhardwa, R. and Antony, J. (2004), "The status of maintenance management in UK manufacturing organisations: results from a pilot survey" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 10, Number 1, pp. 5-15.
25. Coetzee, J.L., (1998), *Maintenance*, Maintenance Publishers, Republic of South Africa.
26. Coetzee, J.L., (1999), "A holistic approach to the maintenance problem", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 5, Number 3, pp. 276-280.
27. Cox, T. (1989), "Towards the measurement of manufacturing flexibility", *Productivity and Inventory Management*, Volume 30, Number 1, pp. 68-72.
28. De Groote, P. (1995), "Maintenance performance analysis : a practical approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 1, Number 2, pp. 4-24.
29. Dhillon, B.S. (2002), *Engineering Maintenance: A Modern Approach*, CRC Press, Boca Raton, FL.
30. Dhillon, B.S. and Liu, Y. (2006), "Human error in maintenance: a review", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 12, Number 1, pp. 21-36
31. Duffuaa, S.O. and Ben-Daya, M. (1995), "Improving maintenance quality using SPC tools", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 1, Number 2, pp. 25-33.
32. Duffuaa, S.O., Raouf, A. and Campbell, J.D. (1999), *Planning and Control of Maintenance Systems : Modelling and Analysis*, John Wiley, New York, NY.
33. Dwight, R. (1999), "Searching for real maintenance performance measures", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 5, Number 3, pp. 258-275.
34. El Aoufir H., Bouami D., Mouzdahir H. (2004), "Sur l'application de la méthode ABC/ABM au calcul des coûts et au pilotage de la maintenance", *Revue Française de Gestion*, n° 152, septembre/octobre.
35. El Aoufir, H. and Bouami, D. (2005), "Les coûts directs de la maintenance : De la comptabilité analytique vers la gestion par les activités", CPI'2005, Casablanca, Morocco.
36. Ellingsen, H.P., Liyanage, J.P., Kumar, U., Hamre, R., Drangeid, S.O., Fuglseth, H., Honerud, B.M., Waldeland, R., Viland, R., Folstad, R., Bringedal, N., Aasland, A.T., Nedrebø, R. (1999), "The maintenance management process (Task 4)", Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T4/REV1

37. Ellingsen, H.P., Liyanage, J.P., Tønnesen, N., Hamre, R., Nilsen, N.M., Waldeland, R., Nerhus, O., Kumar, U., Espeland, Ø. (2001a), "Development of a performance framework (task 6-b)", Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T6/REV0.
38. Ellingsen H.P., Liyanage, J.P., Kumar, U., Tønnesen, N., Hamre, R., Nilsen, N.M., Waldeland, R., Nerhus, O., Espeland, Ø. (2001b), "Development of a methodology for the usage and implementation of operation & maintenance performance indicators (task 7-d)", Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T7&9/REV0.
39. Gautreau, A. and Kleiner, B.H. (2001), "Recent trends in performance measurement systems - the balanced scorecard approach", Management Research News, Volume 24, Number 3/4, pp. 153-156.
40. Gits, C.W. (1994), "Structuring Maintenance Control Systems", International Journal of Operations & Production Management, Volume 14, Number 7, pp. 5-17.
41. Glade, M. (2005), Modélisation des coûts de cycle de vie : prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité application à l'aéronautique, thèse de doctorat, école centrale de Lyon, Soutenue le 21.01.2005, disponible à : <http://bibli.ec-lyon.fr/exl-doc/mglade.pdf> (consulté le 22 Mai 2006).
42. Globerson, S. (1985), "Issues in developing a performance criteria system for an organization", International Journal of Production Research, Volume 23, Number 4, pp. 639-46.
43. HajShirmohammadi, A. and Wedley, W.C. (2004), "Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 10, Number 1, pp. 16-25
44. Halog, A. (2002), Selection of sustainable product improvement alternatives, Thèse de doctorat soutenue le 13.02.2002. à la faculté des sciences économiques de l'université de Karlsruhe, disponible à <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/2002/wiwi/1/1.pd> (consulté le 01 Juin 2005).
45. Ingalls, P. (2000), "World class maintenance, Total Productive Maintenance", Disponible à : www.tpmonline.com/articles_on_tatal_productive_maintenance/tpm/newpractices.htm (consulté le 30 Avril 2004).
46. Jardine, A.K.S., Banjevic, D. and Makis, V. (1997), "Optimal replacement policy and the structure of software for condition-based maintenance", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 3, Number 2, pp. 109-119.
47. Jardine, A.K.S., Makis, V., Banjevic, D., Braticevic, D. and Ennis, M. (1998), "A decision optimization model for condition-based maintenance", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Volume 4, Number 2, pp. 115-121.
48. Kaffel, H. (2001), La maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en œuvre, Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, disponible à : <http://www.theses.ulaval.ca/2001/19524/19524.html> (consulté le 17 Septembre 2003).
49. Kaplan, R.S. and Anderson S.R. (2004), "Time-Driven Activity-Based Costing", Harvard Business Review, November.
50. Kaplan, R.S. and Norton, D.P. (1992), "The Balanced Scorecard-Measures that Drive Performance", Harvard Business Review, January-February.
51. Kaplan, R.S. and Norton, D.P. (2001), *The Strategy Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies thrive in the New Business Environment*, Harvard Business School Press, Boston, MA.

52. Kawauchi, Y. and Rausand, M. (1999), "Life Cycle Cost (LCC) analysis in oil and chemical process industries", disponible à : <http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf> (Consulté le 01 Octobre 2003).
53. Kelly, A. (1997), *Maintenance Organization and Systems*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
54. Kennerley, M. and Neely, A. (2003), "Measuring performance in a changing business environment", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 23, Number 2, pp. 213-229.
55. Kutucuoglu, K.Y., Hamali, J., Irani, Z. and Sharp, J.M. (2001), "A framework for managing maintenance using performance measurement systems", *International Journal of operations & production management*, Volume 21, Number 1/2, pp. 173-194.
56. Liyanage, J.P. (1999). "The process of maintenance performance management (Task 4 supplementary report)", *Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators*, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T4/REV2-SUPP
57. Liyanage, J.P. and Kumar, U. (2003), "Towards a value-based view on operations and maintenance performance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 9, Number 4, pp. 333-350.
58. Liyanage, J.P., Ellingsen, H.P., Kumar, U., Hamre, R., Fyglseth, H., Waldeland, R., Nerhus, O., Midtun, E., Skajaa, T., Nilsen, N.M., Espeland, Ø., Brandt, H. (2000), "Development of indicators (Task 5)", *Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators*, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T5/REV0.
59. Liyanage, J.P., Selmer, CV. (1999), "Establishment of an engineering methodology and a structure for a measurement system within the operations and maintenance process (Task 2 & 3)", *Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators*, Centre for Asset and Maintenance Management, Stavanger University College, PI-TEC-T2&3/REV0
60. Lorino, P. (1997), *Méthodes et pratiques de la performance, le guide de pilotage*, les éditions d'organisation, Paris.
61. Madu, C.N. (2000), "Competing through maintenance strategies", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Volume 17, Number 9, pp. 937-948.
62. Markeset, T. and Kumar, U. (2003), "Design and Development of product support and maintenance concepts for industrial systems", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 9, Number 4, pp. 376-392
63. Marquez, A.C. and Gupta, J.N.D. (2006), "Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars", *The international journal of management science (Omega)* 34, pp. 313 – 326
64. Martin, H.H. (1997), "Contracting out maintenance and a plan for future research", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 3, Number 2, pp. 81-90.
65. Maskell, B. (1989), "Performance measures for world class manufacturing", *Management Accounting*, May, pp. 32-3.
66. Mirghani, M.A. (2001), "A framework for costing planned maintenance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 7, Number 3, pp. 170-182.
67. Mirghani, M.A. (2003), "Application and implementation issues of a framework for costing planned maintenance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 9, Number 4, pp. 436-449
68. Monchy, F. (2003), *Maintenance : Méthodes et organisations*, édition Dunod, Paris.

69. Murthy, D.N.P., Atrons, A. and Eccleston, J.A. (2002), "Strategic maintenance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 8, Number 4, pp. 287-305.
70. Neely, A. (1999), "The performance measurement revolution: why now and what next?", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 19, Number 2, pp. 205-228.
71. Neely, A. and Adams, C. (2001), "Perspectives on performance: the performance prism", *Focus Magazine*, available at: www.focusmag.com, consulté le 01 Février 2004.
72. Neely, A., Gregory, M. and Platts, K. (1995), "Performance measurement system design- A literature review and research agenda", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 15, Number 4, pp. 80-116.
73. Neely, A., Marr, B., Roos, G., Pike, S. and Gupta, O. (2003), "Towards the third generation of performance measurement", *Controlling*, Heft 3/4.
74. Neely, A., Mills, J., Platts, K., Richards, H., Gregory, M., Bourne, M. and Kennerley, M. (2000), "Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 20, Number 10, pp. 1119-1145.
75. Neely, A., Adams, C. and Kennerley, M. (2002), *The Performance Prism – The Scorecard for Measuring and Managing Business Success*, Prentice-Hall, London.
76. Parida, A. (2006), "Development of a multi-criteria Hierarchical Framework for Maintenance Performance Measurement: Concepts, Issues and Challenges", Doctoral thesis, Division of operations and maintenance engineering, Lulea University of Technology, Octobre.
77. Parida, A. and Chattopadhyay, G. (2007), "Development of a Multi-criteria Hierarchical Framework for Maintenance Performance Measurement (MPM)" *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Volume 13, Number 4.
78. Parida, A. and Kumar, U. (2006), "Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges" *Journal of quality in maintenance Engineering*, Volume 12, Number 3, PP.239-251
79. Pintelon, L. and Puyvelde, F.V. (1997), "Maintenance performance reporting systems: some experiences", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 3, Number 1, pp. 4-15.
80. Raouf A. and Ben-Daya, M. (1995), "Total maintenance management: a systematic approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 1, Number 1, pp. 6-14.
81. Raouf, A., (1994), "Improving capital productivity through maintenance", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 14, Number 7, pp. 44-52.
82. Riis, J.O., Luxhj, J.T. and Thorsteinsson, U. (1997), "A situational maintenance model", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Volume 14, Number 4, pp. 349-366.
83. Rink, D.R. and Swan, J. E. (1979), "Product life cycle research: a literature review", *Journal of Business Research*, Volume 7, Number 3, pp. 219-242.
84. Saranga, H. (2002), "Relevant condition-parameter strategy for an effective condition-based maintenance" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 8, Number 1, pp. 92-105.
85. Sherwin, D. (2000), "A review of overall models for maintenance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 6, Number 3, pp. 138-164.
86. Slack, N., (1983), "Flexibility as a manufacturing objective", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 3, Number 3, pp. 4-13

87. Tsang, A.H.C. (2002), "Strategic dimensions of maintenance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 8, Number 1, pp. 7-39.
88. Tsang, A.H.C. (1998), "A strategic approach to managing maintenance performance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 4, Number 2, pp. 87-94.
89. Tsang, A.H.C. (1995), "Condition-based maintenance: tools and decision making", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 1, Number 3, pp. 3-17.
90. Tsang, A.H.C., Jardine, A.K.S. and Kolodny, H. (1999), "Measuring maintenance performance: a holistic approach", *International Journal of operations & production management*, Volume 19, Number 7, pp. 691-715.
91. Vatland, H.A., Ellingsen, H.P., Liyanage, J.P., Viland, L. (1999), "Summary report on study and analysis of the existing performance indicators (Task1)", Joint Industry Project on the Development and Implementation of Operations & Maintenance (O&M) Performance Indicators, PI-TEC-T1/REV0
92. Wireman T. (1998), *Developing performance indicators for managing maintenance*, New York, Industrial Press.
93. Zhu, G., Gelders, L. and Pintelon, L. (2002), "Object/objective-oriented maintenance management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 8, Number 4, pp. 306-318.
94. Zwingelstein, G. (1996), *La maintenance basée sur la fiabilité: guide pratique d'application de la RCM*, édition HERMES, Paris.
95. Zwingelstein, G. (2006), *Techniques d'analyse de la valeur: théorie et pratique, Recueil de Cours*, Cyber Université Henri Poincaré, Nancy 1, disponible à: <http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/MAIN-017/2lanalysed/2-1-1defin.html> (consulté le 01 Juin 2006).

Annexes

Annexe A

Questionnaire

Questionnaire utilisé pour déterminer les causes de l'inefficacité de la maintenance au sein du CIS

Questions	Réponse		
	1	2	3
Axe 1 : Relation de la maintenance avec l'exploitation			
1(a) Communication et relations			
01) Y a-t-il une ligne de communication entre la maintenance et le personnel d'exploitation ?			
02) La communication est-elle facile entre la maintenance et l'exploitation ?			
03) Les demandes d'intervention viennent-elles de la production ?			
04) Est-ce que la maintenance intervient sans consultation de la production ?			
05) Ces interventions sont-elles faites sous forme de maintenance préventive ?			
06) Est ce que les temps perdus entre les demandes et les interventions sont importants ?			
1(b) Méthode d'intervention			
07) Les opérateurs de production jouent-ils un rôle dans la maintenance ?			
08) Les opérateurs sont-ils souvent obligés d'intervenir au lieu de la maintenance ?			
09) Les opérateurs enregistrent-ils les détails de leurs interventions ?			
10) La maintenance enregistre-t-elle le contenu de l'intervention par les opérateurs ?			
11) Y a-t-il une intervention par la maintenance sans qu'un formulaire ne soit rempli ?			
12) Les demandes d'intervention sont-elles enregistrées ?			
13) Exécutez-vous un contrôle de qualité après chaque intervention ?			
14) Y a-t-il un contrôle formel de l'information obtenue à partir du rapport de chaque intervention ?			
15) L'équipement à maintenir est-il techniquement connu par la maintenance ?			
1(c) Perception de la maintenance préventive (niveau de maintenance)			
16) Êtes-vous directement responsable du fonctionnement correct des machines ou équipements ?			
17) Existe-t-il un programme de maintenance préventive ?			
18) L'introduction de la maintenance préventive pose-t-elle des problèmes ?			
19) Est-ce que vous faites un ajustement (électrotechnique) ou un serrage des écrous (mécanique), des pipes, des montages, des raccords, etc. ?			
20) Est-ce que vous faites régulièrement la lubrification et l'ajustement de vos machines ?			
21) Connaissez-vous les types de lubrifiants ou les types d'ajustement nécessaires pour chacune de vos machines ?			
22) Visitez-vous systématiquement vos machines ou équipements ?			
23) Contrôlez-vous l'état de vos machines ou équipements ?			
24) Intervenez-vous selon un programme régulier ?			
25) Le programme a-t-il été élaboré avec l'aide des personnes de production ?			
26) Y a-t-il une planification de l'ensemble ou une partie des opérations, des visites et des contrôles ?			
1(d) Perception de la fonction maintenance par la production			
27) La maintenance est appelée toujours par des procédures bien définies ?			
28) Respectez-vous ces procédures même en cas de panne ou dans des circonstances imprévues ?			
29) La maintenance est responsable du nettoyage des machines ?			
30) La maintenance est responsable du contrôle simple des niveaux ?			
31) La maintenance est responsable du changement de fusibles ?			
32) La maintenance est responsable des ajustements élémentaires ?			
33) Les détails d'intervention par la production sont-ils rapportés à la maintenance ?			
34) Le Département de maintenance est-il considéré aussi important que la production ?			

Axe 2 : Déploiement de la politique			
2(a) Position de la structure maintenance dans la compagnie			
01) Existe-t-il un organigramme pour votre compagnie ?			
02) Existe-t-il un organigramme spécifique pour la maintenance ?			
03) La main d'oeuvre correspond-elle à l'organigramme ?			
04) Chaque position de hiérarchie correspond-elle au travail réel ?			
05) La maintenance peut-elle décider du moment de révision des machines stratégiques ?			
06) La maintenance participe-t-il à acheter le nouvel équipement ?			
2(b) Position de la Maintenance dans la Compagnie			
07) Les mêmes critères de promotion sont appliqués pour le personnel de production et de maintenance dans leurs carrières professionnelles ?			
08) Les possibilités de promotion sont-elles les mêmes pour le personnel de production et de la maintenance ?			
09) La structure de salaire appliquée pour le personnel de production est la même que celle de la maintenance ?			
10) Les mêmes avantages sont donnés pour le personnel de production et celui de la maintenance ?			
11) La gestion de cette compagnie vient-elle de la maintenance ou de la production ?			
2(c) Opinion sur la maintenance			
12) Pensez-vous que le niveau technique des interventions exécutées par la maintenance, est profitable à la compagnie ?			
13) Pensez-vous que la maintenance pourra vous aider à atteindre les objectifs de performance de l'entreprise ?			
14) Dans cette vision, pensez-vous que les coûts de maintenance sont justifiés ?			
15) Pensez-vous que la maintenance pourra vous aider à maintenir une disponibilité élevée de votre équipement ?			
16) Pensez-vous que la maintenance pourra vous aider à améliorer la sécurité et l'environnement de travail ?			
17) Tenant compte de vos réponses, dans quelle catégorie vous placez la maintenance ?			

Axe 3 : Amélioration continue			
3(a) Importance donnée à l'organisation			
01) En cas de défaillance ou de panne, qui est informé par la Production ?			
02) Y a-t-il un échange systématique des détails des interventions entre la production et la maintenance ?			
03) Dans la pratique, l'organisation permet-elle ces échanges ?			
04) Où classez-vous les formulaires sur lesquels vous notez les détails de votre travail ?			
05) Y a-t-il une préparation des interventions courantes (de routine) ?			
06) Y a-t-il une préparation des interventions qui influent sur la production ?			
07) Avez-vous un bureau technique qui fait partie de la maintenance ?			
3(b) Importance donnée à la l'entrée et l'analyse des données			
08) Est-ce qu'un rapport de réalisation est écrit pour des opérations de maintenance ?			
09) Les heures travaillées réelles sont-elles vérifiées ?			
10) Les pièces de rechange et les articles utilisés sont-ils enregistrés ?			
11) Recevez-vous des détails au Département de maintenance en cas d'intervention par la Production ?			
12) Que faites-vous avec le rapport de l'exécution ?			
13) Que faites-vous avec les feuilles de présence ?			
14) Que est-ce que vous faites avec les feuilles de contrôle des pièces de rechange et des articles ?			
15) Y a-t-il un traitement technique des documents concernant la demande de travail, les feuilles de présence et le rapport ?			

16) Y a-t-il un feedback systématique d'information après le traitement ?			
17) Après traitement, pensez-vous que la quantité du feedback est suffisante ?			
3(c) Maintenance Préventive			
18) Vérifiez-vous systématiquement les machines et les équipements ?			
19) Les consignes d'utilisation existent-elles pour des contrôles systématiques ?			
20) Quel est le nombre de machines contrôlées systématiquement ?			
21) Percevez-vous des résultats positifs au sujet des machines qui sont contrôlées systématiquement ?			
22) Comment mesurez-vous cette amélioration ?			
23) Est-ce que un rapport d'intervention préventive existe ?			

Axe 4 : Système d'information et GMAO			
4(a) Enregistrement de l'Historique			
01) Connaissez-vous les machines qui sont stratégiques pour la production ?			
02) Savez-vous pourquoi sont elles considérés stratégiques ?			
03) Mettez-vous à jour l'enregistrement historique à jour de ces machines ?			
04) Est-ce que la disponibilité fait partie de l'enregistrement historique ?			
05) Dans votre secteur, connaissez-vous quelles sont les machines problématiques ?			
06) Avez-vous un système de gestion pour l'arrêt saisonnier ?			
07) Dans la maintenance préventive, sans compter l'arrêt saisonnier de l'unité, avez-vous une planification pour l'arrêt régulier ?			
08) Y a-t-il une préparation détaillée des interventions pendant ces arrêts prévus ?			
09) Est-ce qu'un enregistrement historique existe pour toutes les interventions prévues ?			
10) Est-ce que un enregistrement historique d'intervention corrective existe ?			
11) Avez-vous un enregistrement historique de toutes les pertes de disponibilité (externe ou interne) de vos machines et équipements ?			
4(b) Analyse des données et des informations			
12) Suivez-vous le temps de panne pour toutes les machines ?			
13) Enregistrez-vous les causes de l'arrêt de machine ?			
14) Suivez-vous le taux de disponibilité des machines distinguant entre la panne, la maintenance préventive, lubrification, etc. ?			
15) Est-ce que vous enregistrez la proportion entre la maintenance préventive et corrective en termes d'heures d'exécution ?			
16) Ce rapport est-il globalement connu ?			
17) Ce rapport est-il connu pour toutes les machines stratégiques ?			
18) Avez-vous des limites qui sont acceptables ou inacceptable pour la maintenance préventive de Maintenance/Corrective ?			
19) Employez-vous ce ratio pour améliorer le programme préventif ?			
20) Mesurez-vous le taux de satisfaction après des tâches d'amélioration ?			

Axe 5 : Aspect financier			
5(a) Données historiques concernant les coûts de maintenance			
01) Connaissez-vous les coûts de maintenance en détail ?			
02) Faites-vous l'acquisition de données des coûts de maintenance ?			
03) Avez-vous des registres d'acquisition de données au sujet des coûts de maintenance ?			
04) Employez-vous un document spécial pour exiger une intervention ?			
05) Y a-t-il un rapport d'exécution pour les interventions de maintenance ?			
06) Est-ce qu'il existe un programme pour les différentes tâches ?			
07) Enregistrez-vous la consommation de pièces de rechange ?			
08) Y a-t-il un traitement technique des documents concernant la demande de travail, les feuilles de présence et les rapports d'intervention ?			

09) Accentuez-vous sur les coûts d'exécution de la maintenance préventive ?			
10) Accentuez-vous sur les coûts d'exécution de la maintenance corrective ?			
11) Le rapport de coût de la Maintenance Préventive / Corrective est-il suivi ?			
12) Le rapport de coût de la Maintenance Préventive / Corrective est-il connu pour chaque machine ?			
13) Employez-vous le dernier rapport pour faire évaluer le programme préventif ?			
5(b) Analyse du système actuel			
14) Employez-vous toujours des ratios de coûts ?			
15) Y a-t-il toujours un traitement technique pour les coûts ?			
16) Avez-vous un traitement spécifique pour les coûts préventifs ?			
17) Avez-vous une structure pour la comptabilité analytique ?			
18) Si vous acquérez des données concernant les coûts, est-il pour une analyse de comptabilité analytique ?			
19) Employez-vous la comptabilité analytique pour gérer les services de maintenance ?			
20) Est-ce que le rapport des coûts de maintenance Préventive/Corrective est toujours connu et suivi ?			

Axe 6 : Approche de maintenance			
6(a) Préparation du travail			
01) Pour les interventions planifiées, préparez-vous les ressources humaines nécessaires ?			
02) Pour les interventions planifiées, préparez-vous l'équipement ?			
03) Pour les interventions planifiées, préparez-vous les outils nécessaires, principalement les outils spécifiques ?			
04) Pour les interventions planifiées, préparez-vous la documentation nécessaire ?			
05) Pour les interventions planifiées, préparez-vous l'équipement de mesure nécessaire ?			
06) En général, faites-vous une évaluation du temps nécessaire pour les interventions planifiées ?			
07) Le calendrier des interventions est-il respecté ?			
08) Avant de préparer les interventions, effectuez-vous une inspection préliminaire ?			
09) Pour quels types d'intervention effectuez-vous ces inspections ?			
10) Pour quels types d'intervention vous vous référez à la documentation technique ?			
11) Essayez-vous de synchroniser les interventions de diverses spécialités ?			
12) Quand une intervention est projetée, à quel moment le besoin de pièces apparaît ?			
6(b) Historique chronologique des interventions			
13) L'exécution de travail pour la maintenance préventive, est elle basée sur des procédures standards écrites d'opération ?			
14) Avec l'aide de qui ces procédures ou formes ont été élaborées ?			
15) Comparez-vous les vraies quantités d'heures travaillées et de pièces utilisées avec vos documents de préparation de travail ?			
6(c) Analyse du système actuel			
16) Acquérez-vous régulièrement des statistiques sur la nature des interventions exigées ?			
17) Faites vous d'une manière régulière un traitement technique des éléments écrits sur les demandes d'intervention ?			
18) Calculez-vous le temps d'exécution pour la maintenance préventive ?			
19) Calculez-vous les temps d'exécution pour la maintenance corrective ?			
20) Employez-vous des ratios pour comparer les temps d'exécution de la maintenance Préventive/Corrective ?			
21) Employez-vous ces ratios pour améliorer le programme de la maintenance préventive ?			
22) Comment les données et les ratios sont-ils suivis ?			
6(d) travaux d'amélioration			
23) Avez-vous déjà apporté une amélioration à vos équipements ou machines ?			
24) Avez-vous déjà participé aux groupes de travail pour l'analyse des améliorations			

suggérées à vos équipements ou machines ?			
25) Effectuez-vous des études de rentabilité avant de commencer l'exécution des améliorations sur les équipements ou les machines ?			
26) Avez-vous un Département qui prend soin des études d'améliorations ?			
27) Qui peut lancer ces études d'amélioration concernant les machines de production ?			
28) Qui peut lancer les études d'amélioration concernant l'infrastructure ?			
6(e) Maintenance préventive			
29) Qui établit la planification pour la lubrification et les inspections ?			
30) Qui définit les procédures opératoires pour la lubrification et les ajustements ?			
31) Employez-vous des fiches préétablies pour toutes les visites systématiques ?			
32) Avec qui avez-vous établi ces fiches pour des visites ?			
6(f) Pièces détachées			
33) Définissez-vous les pièces de rechange nécessaires pour chaque intervention prévue ?			
34) Quelle est le service ou la personne qui définit ces besoins ?			
35) Analysez-vous l'information sur les pièces de rechange obtenues à partir des rapports d'intervention ?			
36) Vérifiez-vous la conformité et les références des pièces de rechange reçues ?			
37) Êtes-vous responsable de mettre à jour régulièrement le catalogue des pièces de rechange disponibles ?			
38) Assignez-vous les coûts de pièces de rechange ?			
39) Employez-vous des ratios pour suivre les coûts de pièces de rechange ?			
40) Participez-vous à l'élaboration des critères de gestion des pièces de rechange ?			
41) Participez-vous aux décisions au sujet de la sous-traitance de certaines tâches de maintenance ?			
6(g) Documentation technique			
42) Employez-vous la documentation technique pendant la préparation des interventions de maintenance ?			
43) L'accès à la documentation technique est-il facile ?			
44) Si vous avez besoin de documentation, où pourriez-vous la trouver ?			
45) Quand vous consultez un document, êtes-vous sûr de sa fiabilité ?			
46) Trouvez-vous facilement les sujets concernant votre travail ?			
47) Êtes-vous satisfaits du système de codage de la documentation technique ?			
48) Le système vous permet-il de trouver l'information efficacement ?			
49) Est-ce qu'il existe un système pour les dossiers de machine, des dossiers de normes et d'autres dossiers techniques ?			
50) Ces documents sont-ils consultés fréquemment ?			
51) Les dossiers sont-ils mis à jour régulièrement ?			
52) Les modifications sur l'équipement sont-elles toujours basées sur la documentation technique ?			

Axe 7 : Planification et Ordonnancement des tâches			
7(a) Programmation du travail			
01) Employez-vous une forme spécifique pour exiger une intervention à un autre service ?			
02) Employez-vous une forme semblable pour des interventions non programmées (réparations) ?			
03) Est-ce qu'un circuit administratif bien défini existe pour ces formes ?			
04) Ces formulaires sont-ils enregistrés à chaque étape du circuit ?			
05) Y a-t-il un rapport d'exécution sur le même document ?			
06) En cas d'intervention planifiée, qui prend soin de la préparation de travail ?			
07) En cas d'arrêt nécessaire des machines stratégiques, les obtenez-vous facilement de la production ?			
08) Faites-vous généralement une évaluation du temps nécessaire pour des interventions			

planifiées ?			
09) Les temps programmés sont-ils respectés ?			
10) Savez-vous la proportion des interventions non planifiées par rapport aux interventions planifiées ?			
11) Pour quel équipement prenez-vous des manuels de réparation de maintenance ?			
12) Y a-t-il une classification centrale pour tous les manuels ?			
13) Ces manuels sont-ils traduits en français ou en anglais pour vos techniciens ?			
7(b) Ordonnancement et réalisation des travaux			
14) Avez-vous un système pour définir des priorités des interventions prévues ?			
15) Sinon, comment décidez-vous des priorités des interventions prévues ?			
16) Sur quelle base acceptez-vous le travail supplémentaire ?			
17) Calculez-vous régulièrement votre charge de travail ?			
18) Comment calculez-vous votre charge de travail ?			
19) Mettez-vous à jour ce calcul régulièrement ?			
20) Comment assignez-vous la période et le nombre de personnel exigé ?			
21) Comment définissez-vous l'outillage nécessaire ?			
22) Comment définissez-vous les outils de manutention ?			
23) Comment décidez-vous de remplacer des pièces ?			

Axe 8 : Management des stocks			
8(a) Catalogue des pièces de rechange			
01) Pour combien de machines avez-vous un catalogue des pièces de rechange ?			
02) Avez-vous beaucoup de copies de chaque catalogue ?			
03) Quelle est la raison du manque de catalogues ?			
04) Avez-vous un classement centralisé pour ces catalogues ?			
05) Pour certains articles généraux employez-vous seulement la référence de fournisseur ?			
06) Les catalogues des pièces de rechange disponibles sont-ils mis à jour régulièrement ?			
07) Est-ce que la plupart de vos catalogues sont en votre propre langue ?			
8(b) Registration of removal and destination of the spare parts			
08) Chaque pièce de rechange sortante est-elle enregistrée ?			
09) Sur quel formulaire recevez-vous des demandes d'une pièce de rechange ?			
10) Contrôlez-vous la conformité et les références des pièces de rechange reçues ?			
11) Y a-t-il un contrôle de la destination finale des pièces de rechange très demandées ?			
12) Si vous notez une anomalie (non conformité, mauvaise référence, adresse inconnue), que faites-vous ?			
13) Avez-vous un système pour affecter les pièces aux ordres de travail concernés ?			
14) Ce système d'affectation est-il bien suivi ?			
15) Y a-t-il un contrôle final concernant les étapes procédurales de l'utilisation des pièces de rechange ?			
8(e) Achat et approvisionnement de pièces			
16) Notez-vous un important retard dans l'approvisionnement en certaines pièces ?			
17) Analysez-vous les causes de ces retards ?			

Axe 9 : Organisation			
9(a) Maintenance			
01) Qui prend soin de la préparation des interventions planifiées ?			
02) Qui prend soin de la planification des tâches de maintenance ?			
03) Qui définit les pièces de rechange nécessaires pour les interventions prévues ?			
04) Qui est responsable de la documentation technique ?			
05) Qui est responsable de la structure et de la codification de la documentation technique ?			

06) Qui est responsable de la mise à jour de la documentation technique ?			
07) Qui contrôle l'équipement de mesure ?			
08) Qui prend soin des inspections de l'équipement avant les interventions prévues ?			
09) Qui décide de la durée des interventions prévues ?			
10) Qui définit des priorités pour des interventions prévues ?			
11) Qui traite les données sur les formes d'intervention ?			
12) Qui reçoit les résultats de l'informatique ?			
13) Qui prend soin des statistiques sur les heures travaillées dans le Département de maintenance ?			
14) Qui calcule la charge de travail dans la maintenance ?			
15) Qui fait une analyse globale des coûts de maintenance ?			
16) Qui fait une analyse des coûts de maintenance préventive ?			
17) Qui établit les besoins de pièces de rechange pour la maintenance ?			
18) Qui lance de nouveaux ordres des pièces de rechange pour la maintenance ?			
19) Qui contrôle la conformité et la référence des nouvelles pièces de rechange ?			
20) Qui vérifie l'inventaire des pièces de rechange ?			
21) Qui définit les critères de gestion des pièces de rechange pour la maintenance ?			
9(b) Sécurité			
22) Qui est responsable de l'amélioration du travail et de l'engineering ?			
23) Qui est responsable de la sécurité ?			
24) Qui est responsable du Département de sécurité ?			
25) Qui prend soin des statistiques concernant les accidents ?			
26) Qui prend soin de l'analyse des accidents et des rapports d'intervention ?			
27) Qui prend soin du système de protection contre les incendies ?			
28) Qui prend soin de l'équipement de sécurité ?			
29) Qui prend soin de la formation au sujet de la sécurité ?			

Axe 10 : Ressources humaines			
10(b) Force de travail de la Maintenance			
01) Connaissez-vous la main d'oeuvre dans la maintenance ?			
02) Connaissez-vous le nombre de personnel en management de maintenance ?			
03) Y a-t-il une différence entre le vrai personnel et le personnel mentionnés sur l'organigramme en ce qui concerne la maintenance ?			
04) Connaissez-vous le nombre de personnes d'exécution dans la maintenance ?			
05) Y a-t-il un écart entre le nombre réel des personnes d'exécution et le nombre mentionné sur l'organigramme ?			
06) Avez-vous la possibilité d'augmenter ou de diminuer votre personnel ?			
07) Y a-t-il un manque de travail qualifié dans la maintenance ?			
08) Vous plaignez-vous au sujet des procédures administratives lentes dans le recrutement du nouveau personnel ?			
09) La main d'oeuvre physique dans la maintenance vous permet-elle d'absorber entièrement la charge de travail et dans le calendrier programmé ?			
10(c) Proportion de force de travail programmée/force de travail de maintenance			
10) Planifiez-vous les interventions préventives ?			
11) Avez-vous un programme au sujet de la charge de travail du personnel d'exécution ?			
12) L'équipe préventive est-elle permanente ?			
13) À quel moment l'attribution de ressources humaines est-elle préparée en cas de tâche de maintenance ?			
10(d) Motivation et productivité du personnel			
14) Estimez-vous le temps nécessaire pour une intervention planifiée ?			
15) Le temps d'intervention est-il respecté ?			
16) Contrôlez-vous le ratio d'absentéisme du personnel de maintenance ?			

17) Que pensez-vous du rapport d'absentéisme ?			
18) Quand vous analysez les causes du manque de motivation, concluez-vous que cela est dû à la formation insatisfaisante ?			
19) Quand vous analysez-vous les causes du manque de motivation, concluez-vous que cela est dû au manque d'outillage adéquat ?			
20) Quand vous analysez-vous les causes du manque de motivation, concluez-vous que cela est dû à la documentation technique insatisfaisante ?			
21) Quand vous analysez-vous les causes du manque de motivation, concluez-vous que cela est dû à un manque de schémas ?			
22) Quand vous analysez-vous les causes du manque de motivation, concluez-vous que cela est dû aux problèmes créés par le manque de la préparation du travail ?			
23) La personne responsable de la préparation a-t-elle l'information nécessaire pour faire un bon travail ?			
24) Y a-t-il un problème de synchronisation entre les personnes intervenantes pour les interventions de maintenance ?			

Axe 11 : Moyens matériels			
11(a) Documentation technique			
01) Avez-vous un inventaire détaillé et mis à jour de votre équipement ?			
02) Avez-vous des plans et des schémas pour votre équipement ?			
03) Pour combien d'équipement avez-vous des manuels de maintenance et de réparation ?			
04) Pour quelles interventions employez-vous la documentation technique ?			
05) Où consultez-vous des schémas, des diagrammes et des manuels ?			
06) Est-ce qu'un système de documentation pour des dossiers de machine, des dossiers standard et d'autres dossiers techniques existe ?			
07) Possédez-vous plusieurs copies identiques de la documentation ?			
08) Les manuels sont-ils traduits en votre langue maternelle par vos techniciens ?			
09) Qui peut demander le renouvellement de la documentation technique ?			
10) Qui peut demander la nouvelle documentation technique ?			
11(b) Outils et équipements			
11) Chaque ouvrier a-t-il ses propres outils ?			
12) Les outils généraux existent-ils pour l'usage commun ?			
13) Ces outils généraux sont-ils suffisants pour vos interventions ?			
14) Ces outils généraux sont-ils stockés dans un endroit spécifique ?			
15) Avez-vous des outils spéciaux indiqués par les fabricants des équipements ?			
16) Les outils spéciaux sont-ils suffisants pour toutes vos interventions ?			
17) Les outils spéciaux sont-ils remplacés régulièrement ?			
18) Faites-vous régulièrement un inventaire des outils généraux et spéciaux ?			
19) Sous-traitez-vous en raison d'un manque de ressources humaines ou d'outils ?			
20) Qui peut demander d'acheter les outils afin de remplacer les outils existants ?			
21) Qui peut demander l'achat de nouveaux outils spéciaux ?			
11(c) Infrastructure			
22) Y a-t-il les endroits indiqués pour faire vos réparations ?			
23) Ces endroits sont-ils commodes pour vous ?			
24) Avez-vous un endroit pour la production des pièces destinées aux réparations de secours ?			
25) Avez-vous un endroit indiqué pour stocker vos outils ?			
26) Avez-vous un endroit indiqué pour le bureau technique ?			
27) Avez-vous un endroit pour stocker vos sous-ensembles ?			
Axe 12 : Formation			
12(a) Importance de la formation			
01) Avez-vous un budget spécifique pour la formation du personnel de maintenance ?			

02) Estimez-vous que votre budget couvre vos besoins de formation ?			
03) Le personnel nouvellement employé reçoit-il une formation de base de votre compagnie ?			
04) Plus tard suivent-ils la formation additionnelle pour l'amélioration ?			
05) Combien de fois le personnel est-il envoyé à la formation ?			
06) Si vous avez été sur la formation, correspond-elle à votre travail ?			
07) Si votre personnel a été formé, correspond-elle au métier du travail ?			
08) Pouvez-vous employer la connaissance acquise pour améliorer votre performance ?			
09) En tant que personne responsable, participez-vous régulièrement aux cours de formation vous-même ?			
10) Qui décide du personnel qui doit être envoyé en formation ?			
11) Avant d'être envoyé en formation, y a-t-il une discussion antérieure au sujet des besoins de votre Département ?			
12) Faites-vous une présentation de la connaissance nouvellement acquise ?			
13) Y a-t-il des cours de formation sur place organisé par la compagnie ?			
14) Y a-t-il des cours de formation spécifiques organisés à la compagnie ou ailleurs ?			
15) Combien de semaines de formation avez-vous reçu pendant les douze derniers mois ?			
16) Vos idées et vos observations ont-elles été prises en considération pendant cette formation ?			
17) Avez-vous une méthode pour mesurer l'efficacité de formation ?			

Annexe B

Modèle de simulation

Modèle de simulation de CCV

```

CDTMA= CDTM*liss
CIDTMA=CIDTM*liss
CDITMA=CDITM*liss
CIDITMA=CIDITM*liss
actua= IF THEN ELSE(an>0, 1/(1+txactua*an) , 1 )
an=transf(Time)
CDMAct=CDM*liss
CCVAct=CCV*liss
CIDMAAct=CIDM*liss
CDITMAAct=CDITM*liss
CITMAAct=CITM*liss
CDTMAAct=CDTM*liss
CTMAAct=CTM*liss
liss=SMOOTH(actua, 12 )
CIDITMAAct=CIDITM*liss
CIDTMAAct=CIDTM*liss
txactua=0.1
transf( [(0,0)-(360,200)],
(1,0),(12,0),(13,1),(24,1),(25,2),(36,2),(37,3),(48,3),(49,4),(60,4),(61,5),(72,5),(73,6),(84,6),(
85,7),(96,7),(97,8),(108,8),(109,9),(120,9),(121,10),(132,10),(133,11),(144,11),(145,12),(156,
12),(157,13),(168,13),(169,14),(180,14),(181,15),(192,15),(193,16),(204,16),(205,17),(216,17
),(217,18),(228,18),(229,19),(240,19),(241,20),(252,20),(253,21),(264,21),(265,22),(276,22),(
277,23),(288,23),(289,24),(300,24),(301,25),(312,25),(313,26),(324,26),(325,27),(336,27),(33
7,28),(348,28),(349,29),(360,29))
txcdint= (impep+impprg+imppp+imprevp)/tm
CCV= CDM+CIDM
coefp= 15
coefnp= 3
CDITM= INTEG (txcdint,0)
CDTM= INTEG (txcdt,0)
CDM= CDITM+CDTM
CIDM=CIDITM+CIDTM
CITM=CDITM+CIDITM
CTM= CDTM+CIDTM
cohcomp=cohicomp+cohscomp
cohgpl1=cohigpl1+cohsgpl1
cohgpl2=cohigpl2+cohsgpl2
cohigpl1=coigpl1/nbh
cohicomp=coicomp/nbh
cohigpl2=coigpl2/nbh
cohisat=coisat/nbh
cohitrai=coitrai/nbh
cohsat=cohisat+cohssat
cohsgpl1=cohstru*phgpl1
cohstrai=cohstru*phtrai
cohscomp=cohstru*phcomp
cohsgpl2=cohstru*phgpl2
cohssat=cohstru*phsat

```

cohtraï=cohitraï+cohstraï
 cohstru=costru/nbh
 CIDITM= INTEG (txcindint,0)
 CIDTM= INTEG (txcindt,0)
 coïcomp=4.543e+006
 coïgpl1=451000
 coïgpl2=405000
 coïsat=630000
 coïtraï=1.096e+006
 cmotdan=(ctdcomp+ctdgpl1+ctdgpl2+ctdsat+ctdtraï)
 cmotina=ctidcomp+ctidgpl1+ctidgpl2+ctidsat+ctidtraï
 coutep=12.25
 costru=3.6728e+007
 ctdcomp=(ctidcomp*tapcomp)/tanpcomp
 ctdgpl1=(ctidgpl1*tagpl1)/tanpgpl1
 ctdgpl2=(ctidgpl2*tagpl2)/tanpgpl2
 ctdmen=(coefp*(cmotdan+pred))/tm
 ctdsat=(ctidsat*tapsat)/tanpsat
 ctdtraï=(ctidtraï*taptraï)/tanptraï
 ctidcomp=cohcomp*tanpcomp
 ctidgpl1=cohgpl1*tanpgpl1
 ctidgpl2=cohgpl2*tanpgpl2
 ctindmens=coefnp*(cmotina+preind)/tm
 ctidsat=cohsat*tanpsat
 ctidtraï=cohtraï*tanptraï
 gazt=1.5e+008
 impcp=imppnpgpl1+imppnptrai+imppnpgpl2
 impenp=gazt*(pung+taxgt)
 impep=(impenp*tapcomp)/tanpcomp
 impnprg=pung*injhor*tanpcomp
 impprg=(impnprg*tapcomp)/tanpcomp
 imppnpgpl1=coutep*phor*prodgpl1*tanpgpl1
 imppnptrai=coutep*phor*prodtraï*tanptraï
 imppp=impppgpl1+impppgpl2+imppptrai
 impppgpl1=(imppnpgpl1*tagpl1)/tanpgpl1
 impppgpl2=(imppnpgpl2*tagpl2)/tanpgpl2
 imppptrai=(imppnptrai*taptraï)/tanptraï
 imppnpgpl2=coutep*phor*prodgpl2*tanpgpl2
 imprev=imprnpgpl1+imprnpgpl2+imprnptrai
 imprnpgpl1=prtep*phor*prodgpl1*tanpgpl1
 imprnpgpl2=prtep*phor*prodgpl2*tanpgpl2
 imprnptrai=prtep*phor*prodtraï*tanptraï
 imprpgpl1=(imprnpgpl1*tagpl1)/tanpgpl1
 imprevp=imprpgpl1+imprpgpl2+imprptrai
 imprpgpl2=(imprnpgpl2*tagpl2)/tanpgpl2
 imprptrai=(imprnptrai*taptraï)/tanptraï
 injhor=2e+006
 nbh=8766
 pred=0.6*cmotdan
 preind=0.2*cmotina

```

phcomp=0.44
phgpl2=0.14
phgpl1=0.12
phsat= 0.16
phtraï=0.14
prodgpl1=0.1
prodgpl2=0.04
prodtraï=0.86
prtep=200
pung= 0.1
prodan=2e+007
phor= prodan/nbh
txcdt= ctdmen
txcindint=(impcp+impenp+impnprg+imprev)/tm
txcindt=ctindmens
taxgt= 0.1
tanpcomp=2536
tanpgpl1=1498
tanpgpl2=1124
tanpsat=497
tanptraï=1000
tapsat=(2978/8)/3
tapcomp=(9317/22)/3
tapgpl1=(5155/6)/3
tapgpl2=(7329/7)/3
taptraï=(2963/7)/3
tm=12

```

Modèle de simulation de CCVMC

```

CIDMCA=CIDMC*liss
CDMCA=CDMC*liss
CCVC=CCVEC+CCVMC+CEC+CINVC
CCVMC=CDMC+CIDMC
CDITMCA=CDITMC*liss
CIDTMCA=CIDTMC*liss
CDTMCA=CDTMC*liss
CIDITMAC=CIDITMC*liss
CINVC=56.3*1e+006*4
crcomp=71842
CEC= 0
CCVEC=0
actua= IF THEN ELSE(an>0, 1/(1+txactua*an) , 1 )
an=transf(Time)
txactua=0.1
liss=SMOOTH(actua, 12 )
CCVMCA=CCVMC*liss
transf([(0,0)-(360,200)],
(1,0),(12,0),(13,1),(24,1),(25,2),(36,2),(37,3),(48,3),(49,4),(60,4),(61,5),(72,5),(73,6),(84,6),(8

```

5,7),(96,7),(97,8),(108,8),(109,9),(120,9),(121,10),(132,10),(133,11),(144,11),(145,12),(156,12),
 (157,13),(168,13),(169,14),(180,14),(181,15),(192,15),(193,16),(204,16),(205,17),(216,17),
 (217,18),(228,18),(229,19),(240,19),(241,20),(252,20),(253,21),(264,21),(265,22),(276,22),(277,23),
 (288,23),(289,24),(300,24),(301,25),(312,25),(313,26),(324,26),(325,27),(336,27),(337,28),
 (348,28),(349,29),(360,29))
 cared=carele/txchd
 cartd=cartel/txchd
 carturd=cart/txchd
 txcdit=(impep+imprgp)/ut
 crele=34527
 crtcl=17656
 cartur=51523
 carele=1.12158e+008
 CIDMC=CIDITMC+CIDTMC
 CITMC=CDITMC+CIDITMC
 CTMC=CDTMC+CIDTMC
 txcidit=(impenvnp+imprgnp)/ut
 phreal=(carcd/crcomp)+(cared/crele)+(cartd/crtcl)+(carturd/cartur)
 cart=5.23431e+007
 cartel= 1.42793e+007
 uth=730
 capla= 2.59744e+008
 caprep=3.29975e+007
 carcom=1.25238e+008
 txcidt=(chpilo+chplan+chprep+chreal)*(taprp+taprg)*uth/ut
 panprep=caprep/txchd
 txcidt=(chreal*tanp)*uth/ut
 panpilo=capilo/txchd
 panplan=capla/txchd
 qgninp=coni*tanp
 carcd=carcom/txchd
 capilo=2.68376e+008
 qgnip=coni*(taprg+taprp)
 cappiloe=191059
 capplan=91041
 capprep=9643
 coni=1000*60*5.8*730
 CDITMC= INTEG (4*txcdit,0)
 CDTMC= INTEG (90*txcdt,0)
 CDMC=CDITMC+CDTMC
 chpilo=ppilo*phpilo
 chplan=pplan*phplan
 chprep=pprep*phprep
 chreal=phreal
 CIDITMC= INTEG (4*txcidit,0)
 CIDTMC= INTEG (72*txcidt,0)
 phplan=panplan/capplan
 impenvnp=taugt*qgninp
 impep=taugt*qgnip
 imprgnp=pug*qgninp

```
imprgp=pug*qgnip
pprep= 1
ppilo= 1
pplan= 1
phprep=panprep/capprep
txchd= 70
phpilo=panpilo/cappiloe
pug=0.1
taugt=0.1
tbf=IF THEN ELSE(((ut-tanp)-(taprg))-(taprp)<0, 0 , ((ut-tanp)-(taprg))-(taprp) )
maxtanp=1
TTAP= INTEG (txrp+txrg,0)
moytanp=0.105
Dipo=tbf/ut
etanp= 0.215
tanp=RANDOM NORMAL(mintanp, maxtanp, moytanp, etanp, 0)
mintanp=0
txrg=taprg/ut
TT=TTANP+TTAP+TTBF
taprg=IF THEN ELSE(rg>65.4, trg , 0)
TTANP= INTEG (txanp,0)
txrp=taprp/ut
rg=MODULO(TTBF, 66 )
txanp= tanp/ut
trg=0.75
taprp=IF THEN ELSE(rp>16.42, trp , 0)
trp=0.25
txtbf=(tbf)/ut
TTBF= INTEG (txtbf,0)
rp=MODULO(TTBF, 17)
ut=1
```