

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -  
Université Abou bekr Belkaid Tlemcen  
Faculté de Technologie



### THESE

Présentée pour l'obtention du grade de **Docteur en Sciences**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Par : M. MAMI Elias Fouad**

### Sujet

## Détermination des critères d'optimisation de la maintenance industrielle par le management de la qualité

Soutenue publiquement le : / / 2019, devant le jury composé de :

M. GHERNAOUE M.E. Amine	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
M. IDRIS Amara	Professeur	Univ. Constantine	Examineur 1
M. LIAZID Abdelkrim	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 2
M. NOUREDDINE Rachid	Professeur	Univ. Oran2	Examineur 3

2018– 2019

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -  
Université Abou bekr Belkaid Tlemcen  
Faculté de Technologie



**THESE**

Présentée pour l'obtention du grade de **Docteur en Sciences**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Par : M. MAMI Elias Fouad**

**Sujet**

**Détermination des critères d'optimisation  
de la maintenance industrielle par le management de la qualité**

Soutenue publiquement le : / / 2019, devant le jury composé de :

M. GHERNAOUE M.E. Amine	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
M. IDRIS Amara	Professeur	Univ. Constantine	Examineur 1
M. LIAZID Abdelkrim	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 2
M. NOUREDDINE Rachid	Professeur	Univ. Oran2	Examineur 3

2018– 2019

## REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit d'une recherche au sein du Laboratoire de Conception de Produits et d'Innovation (LCPI) de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Paris. Ce travail est aussi le résultat d'une longue collaboration avec des personnes du secteur industriel.

Tout d'abord, mes remerciements les plus vifs sont adressés à Monsieur le Professeur CHEIKH Abdelmadjid, pour la direction de cette thèse et ses encouragements.

Je tiens à assurer de ma respectueuse gratitude Monsieur AOUSSAT Ameziane, Professeur des Universités qui a bien voulu m'accueillir au sein du laboratoire LCPI qu'il dirige. En aucun moment ses conseils, son attention au bon déroulement de mes travaux et son encouragement ne m'ont fait défaut. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie également Monsieur KADI Mohammed , Président Directeur Général de l'entreprise algérienne « Alzinc » pour l'aide et le soutien qu'il a su m'apporter pour l'achèvement de ce travail. Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de cette entreprise particulièrement aux responsables auprès de qui je n'ai rencontré que disponibilité et amitié.

Je voudrais remercier également Monsieur le Professeur GHERNAOUE M.E. Amine pour avoir accepté de présider le Jury de soutenance de cette thèse.

Mes plus vifs remerciements sont adressés également aux membres de ce Jury, Messieurs les professeurs IDRIS Amara, LIAZID Abdelkrim et NOUREDDINE Rachid, pour la lecture et l'examen de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé durant l'élaboration de mon projet.

## **DEDICACES**

A la mémoire de ma très chère mère,

à la mémoire de mon très cher père,

à ma femme et à mes enfants à l'égard desquels ma disponibilité aurait pu

être meilleure si j'avais adopté plus tôt la rédaction de cette thèse,

à mon gendre et à mon petit fils Anis.

et à tous ceux qui m'ont encouragé dans mon travail.

## CITATIONS

« Quand la maintenance tousse, c'est toute l'entreprise qui s'enrhume ».

Cuignet RENARD.

« Il ne faut pas se fier aux choses qui ne peuvent arriver, car c'est justement celles-là qui arrivent ».

Pierre DOC.

« Créer la qualité par la machine ».

Gérard NEYRET.

تعد هذه الأطروحة مساهمة جديدة في تحسين الصيانة الصناعية من أجل زيادة تحسين أداء هذه الأخيرة . تتمثل أصالة هذا العمل في دمج إدارة الجودة في هذه الوظيفة ، مع الأخذ بعين الاعتبار البعد الاجتماعي الثقافي لشركة الإنتاج الجزائرية التي أجرينا عليها دراستنا التجريبية.

و لتحقيق هذا الهدف، تم الشروع في اتباع نهج هيكلي وهيكل قائم على تكامل طريقتين معاصرتين ومبتكرتين، في هذه الحالة هما الصيانة القائمة على الموثوقية (MBF) والصيانة الشاملة للإنتاج (TPM) في سياق دراستنا، يستند النموذج المفاهيمي الذي تم تطويره إلى دمج MBF مع الركائز الأربعة الأولى لـ TPM، مع أخذ الأبعاد الثقافية في الاعتبار من أجل تحديد معايير التحسين.

لاختبار نموذجنا النظري، أجرينا دراسة تجريبية على 159 موظفا من الشركة Alzinc تم تحليل البيانات التي تم جمعها باستخدام طريقة المعادلات الهيكلية. أثبتت نتائج البحث صحة جميع الفرضيات الواردة في الدراسة وبالتالي تأكيد الدور المركزي لـ MBF و TPM والتأكيد على تأثير الوساطة للأبعاد الثقافية على التحسين الأمثل للصيانة.

النتائج المقدمة صالحة لمجالات الصيانة الأخرى ويمكن تعميمها على شركات أخرى مماثلة.

**كلمات مفتاحية :** صيانة ، تحسين ، جودة ، MBF ، TPM ، TRS ، بعد اجتماعي ثقافي.

## Résumé

Cette thèse est une nouvelle contribution à l'optimisation de la maintenance industrielle dans le but d'améliorer davantage les performances de cette dernière. L'originalité de ce travail a consisté à intégrer le management de la qualité dans cette fonction, tout en tenant compte de la dimension socioculturelle de l'entreprise algérienne de production, lieu de notre étude empirique. Pour atteindre cet objectif, une approche structurante et structurelle, s'appuyant sur la complémentarité de deux méthodes contemporaines et innovantes, en l'occurrence la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) et la Total Productive Maintenance (TPM), a été engagée. Dans notre contexte, le modèle conceptuel développé repose sur la combinaison de la MBF avec les quatre premiers piliers de la TPM, en prenant en considération les dimensions culturelles en vue de déterminer les critères d'optimisation.

Pour tester notre modèle, une étude empirique est conduite auprès de 159 employés de l'entreprise Alzinc. Les données collectées sont ensuite analysées par la méthode des équations structurelles. Les résultats de la recherche ont validé toutes les hypothèses énoncées dans la recherche. Ils confirment le rôle central de la MBF et de la TPM et soulignent l'effet de médiation des dimensions culturelles dans le processus d'optimisation de la maintenance. Les résultats présentés sont valables pour d'autres domaines de maintenance et peuvent être généralisés à d'autres entreprises similaires.

**Mots-clés :** Maintenance, Optimisation, Qualité, MBF, TPM, TRS, Dimensions Culturelles.

## **Abstract**

This thesis is a new contribution to the industrial maintenance optimization in order to improve the performance of this latter. The originality of this work is to integrate quality management in this function, taking into account the socio-cultural dimension of an Algerian production firm which is the site of our empirical study. To achieve this objective, both a structural and structuring approaches, based on the complementarity of two contemporary and innovative methods, namely Reliability Centered Maintenance (RCM) and Total Productive Maintenance (TPM), are engaged. In our context, the developed conceptual model is based on the combination of the RCM with the first four pillars of the TPM, taking into consideration the cultural dimensions in order to determine the optimization criteria.

To experiment our model, an empirical study is conducted with 159 employees of Alzinc company. The collected data are then analyzed through structural equations method. The results of the research confirmed all the hypotheses proposed in the research work. They confirm the central role of the RCM and the TPM and emphasize the mediation effect of cultural dimensions in the process of maintenance optimization. The results presented are valid for other areas of maintenance and can be generalized to other similar companies.

**Keywords:** Optimization, Maintenance, Quality, RCM, TPM, OEE, Cultural Dimensions.

## Sommaire

Remerciements .....	I
Dédicaces .....	II
Citations .....	III
ملخص .....	IV
Résumé .....	V
Abstract .....	VI
Sommaire .....	VII
Liste des Tableaux .....	VIII
Liste des figures .....	XIV
Liste des photos .....	XVI
Liste des équations .....	XVII
Liste des abréviations et indices .....	XVIII
<b>Introduction générale</b> .....	1
A. Choix et opportunité du sujet.....	2
B. Objectifs de la recherche .....	3
C. Position du problème et contexte général de la recherche .....	3
D. Champ de la problématique et hypothèses de la recherche .....	4
1. Problématique de la maintenance en Algérie .....	4
2. Formulation de la problématique de recherche .....	5
3. Hypothèses de travail .....	5
4. Démarche du projet .....	6
E. Organisation du document .....	6

### Première partie :

#### Management de la maintenance et culture qualité

<b>Chapitre 1 Stratégies et aspects méthodologiques de la maintenance industrielle</b> .....	9
Introduction .....	10
1-1 Généralités sur la maintenance.....	10
1.1.1 Définitions.....	10
1.1.2 Evolution et mutation de la maintenance .....	10
1.1.3 Importance et bonnes pratiques du management de la maintenance dans l'entreprise ..	13
1.1.4 Objectifs de la maintenance .....	16
1.1.5 Politique de la maintenance dans l'entreprise .....	18
1.1.6 Organisation de la maintenance .....	18
1.1.7 Niveaux de maintenance .....	19
1.1.8 Efficacité de la maintenance .....	19
1.2 Méthodes et techniques de maintenance .....	20

1.2.1 Maintenance corrective .....	21
1.2.2 Maintenance préventive .....	22
1.2.3 Travaux neufs.....	23
1.2.4 Maintenance sous traitée.....	24
1.2.5 Synthèse des principales formes de maintenance et leur impact économique .....	25
1.2.6 Opérations de maintenance .....	26
1.3 Méthodes stratégiques et contemporaines de la maintenance .....	27
1.3.1 Présentation de la MBF.....	27
1.3.2 Principes de la MBF .....	28
1.3.3 Outils de la MBF.....	29
1.3.4 Etapes de la MBF.....	29
1.3.5 Démarche TPM.....	30
<b>Chapitre 2 Qualité et maintenance au service de l'entreprise.....</b>	<b>42</b>
Introduction .....	43
2.1 Importance du management de la qualité.....	43
2.1.1 Exigence du système de management de la qualité .....	43
2.1.2 Concepts qualité.....	44
2.1.3. Management de la qualité .....	49
2.2 Maintenance et assurance qualité .....	51
2.2.1 Définition de l'assurance qualité .....	51
2.2.2 Référentiels et normes impliquant la maintenance dans l'assurance qualité .....	52
2.2.3 Organisation des processus maintenance selon l'ISO 9000.....	52
2.2.4 Démarche d'implication de la maintenance dans l'assurance qualité.....	53
2.2.5 Méthodes de sélection des équipements à incidence directe sur la qualité .....	54
2.2.6 Impact de l'assurance qualité sur la fonction maintenance.....	56
2.3 Mise en œuvre de l'automaintenance .....	57
2.4 Application du cycle PDCA à la maintenance .....	58
2.5 Environnement de travail .....	58
2.5.1 Qualité de travail.....	59
2.6 Vérification et étalonnage des appareils de mesure.....	59
2.7 Management de la maintenance à l'aide des 5 M.....	60
2.8 Audit de la fonction maintenance.....	61
2.8.1 Contrat interne de maintenance .....	62
2.9 Système de communication et d'information en maintenance.....	63
2.9.1 Communication au sein du service maintenance .....	63
2.9.2 Système documentaire de la maintenance.....	64
2.9.3 Gestion documentaire et assurance qualité .....	64

2.9.4 Gestion et modèle d'information .....	65
Conclusion.....	66
<b>Chapitre 3 Optimisation de la maintenance et modélisation.....</b>	<b>67</b>
Introduction .....	68
3.1 Etude bibliographique .....	68
3.1.1 Optimisation de la maintenance .....	68
3.1.2 Maintenance et qualité .....	69
3.1.3 Approche MBF.....	70
3.1.4 Méthode TPM .....	71
3.1.5 Combinaison MBF/TPM.....	71
3.2 Présentation des principales méthodes d'optimisation de la maintenance .....	72
3.2.1 Utilisation des réseaux de Pétri .....	72
3.2.2 Utilisation du modèle de Monte Carlo .....	72
3.2.3 Utilisation des réseaux de Bayes.....	72
3.2.4 Utilisation de l'approche Markovienne.....	73
3.2.5 Optimisation par l'utilisation de la loi de Weibull.....	73
3.2.6 Optimisation de la maintenance par l'AMDEC .....	73
3.2.7 Optimisation de la maintenance par la GMAO.....	74
3.2.8 Optimisation de la maintenance par une approche Lean.....	75
3.2.9 Optimisation de la maintenance par la MBF.....	75
3.2.10 Optimisation de la maintenance par la TPM.....	76
3.3 Avantages et inconvénients des principales méthodes de la maintenance .....	77
3.4 Critères à prendre en compte pour l'optimisation du plan de maintenance .....	79
3.5 Elaboration d'une maintenance appropriée .....	80
3.5.1 Méthodologie pour la définition d'une maintenance appropriée .....	80
3.5.2 Système documentaire pour la fonction maintenance.....	81
Conclusion.....	82
<b>Chapitre 4 Fiabilité des équipements .....</b>	<b>83</b>
Introduction .....	84
4.1 Défaillances et enjeux stratégiques .....	84
4.1.1 Terminologie de la défaillance.....	84
4.1.2 Types de défaillances .....	85
4.1.3 Causes de défaillances .....	85
4.1.4 Règle de l'efficacité .....	86
4.2 Mesure de la fiabilité.....	87
4.2.1 Différentes lois .....	87
4.3 Courbe en baignoire .....	90

Conclusion .....	91
<b>Deuxième partie :</b>	
<b>Conduite du changement par la synergie MBF/TPM et dimension socioculturelle</b>	
<b>Chapitre 5 Prise en compte de la dimension socioculturelle .....</b>	<b>93</b>
Introduction .....	94
5-1 Culture nationale et performance de l'entreprise .....	94
5.2 Culture d'entreprise et identité .....	94
5.3 TPM et culture d'entreprise.....	95
5.3.1 Définitions de la culture d'entreprise .....	95
5.3.2 Prise en compte de la culture d'entreprise .....	96
5.3.3 Projet TPM en entreprise .....	97
5.4 Adaptation de la synergie MBF/TPM à l'entreprise algérienne.....	97
5.5 Changement de culture .....	97
5.6 Facteurs de changement .....	98
5.6.1 Communication .....	98
5.6.2 Formation .....	98
5.6.3 Motivation.....	99
5.6.4 Amélioration de la communication, de la formation et de la motivation.....	99
5.7 Stratégie de conduite du changement .....	100
5.7.1 Moteurs du changement .....	101
5.8 Impératif du management participatif dans l'esprit maintenance.....	102
5.9 Dimensions culturelles et niveaux logiques .....	103
5.10 Principes de base de la culture algérienne .....	103
5.11 Leviers et résistances .....	104
Conclusion.....	109
<b>Chapitre 6 Présentation de l'entreprise Alzinc, champ d'expérimentation</b>	
<b>et méthodologie .....</b>	<b>110</b>
Introduction .....	111
6.1 Présentation, organisation et spécificités de l'entreprise.....	111
6.1.1 Processus de production .....	113
6.1.2 Organigramme de l'entreprise.....	115
6.1.3 Ateliers de l'entreprise .....	116
6.1.4 Gamme de produits .....	118
6.1.5 Politique qualité et environnementale de l'entreprise .....	118
6.1.6 Processus codifiés de l'entreprise .....	119
6.1.7 Présentation de la structure maintenance de l'entreprise .....	129
6.1.8 Choix et présentation de l'atelier pilote, lieu d'expérimentation .....	130

6.1.9 Principaux équipements et agrégats de l'atelier de grillage .....	130
6.2 Procédures et interventions de maintenance dans le cadre du système qualité de l'entreprise .....	131
6.2.1 Interventions de maintenance.....	132
6.2.2 Sélection, vérification et étalonnage des appareils de mesure de l'entreprise Alzinc.....	134
6.2.3 Maitrise de la qualité dans le processus grillage .....	135
6.3 Audit de la fonction maintenance de l'entreprise .....	138
6.4 Méthodologie.....	140
6.4.1 Identification des équipements critiques de l'atelier du grillage.....	140
6.4.2 Utilisation de la complémentarité MBF/TPM.....	141
6.4.3 Mise en œuvre de la méthode MBF .....	142
6.4.4 Démarche d'implantation de la TPM au sein de l'entreprise Alzinc .....	143
6.4.5 Engagement de l'entreprise Alzinc dans la formation .....	144
Conclusion.....	145
<b>Chapitre 7 Apports et impact de la complémentarité MBF/TPM sur le processus</b>	
<b>maintenance de l'entreprise.....</b>	<b>146</b>
Introduction .....	147
7.1 Amélioration des critères techniques et économiques.....	147
7.2 Critères de performance .....	150
7.2.1 Évaluation du Taux de Rendement Synthétique (TRS) .....	150
7.3 Evaluation des coûts de maintenance dans l'atelier du grillage.....	152
7.4 Sécurité, environnement et efficacité énergétique.....	152
7.4.1 Rejets et protection de l'environnement.....	153
7.4.2 Consommation énergétique.....	155
Conclusion.....	156
<b>Chapitre 8 Etude empirique , résultats et discussion générale.....</b>	<b>157</b>
Introduction .....	158
8.1 Intérêt de l'étude empirique et collecte des données .....	158
8.2 Structuration du questionnaire de l'étude empirique.....	158
8.2.1 Echelle de mesure .....	158
8.2.2 Corps du questionnaire.....	159
8.3 Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	159
8.3.1 Analyse Factorielle (AF).....	160
8.3.2 Analyse de la validité des facteurs et des variables du modèle.....	161
8.4 Test de Normalité .....	162
8.4.1 Coefficient de symétrie (Skewness).....	162
8.4.2 Coefficient d'aplatissement (Kurtosis).....	162
8.5 Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC) .....	163

8.6 Modélisation par les équations structurelles.....	163
8.6.1 Modèle des équations structurelles .....	163
8.6.2 Présentation du modèle conceptuel .....	164
8.6.3 Forme générale des équations structurelles.....	164
8.7 Résultats de l'étude empirique .....	166
8.7.1 Estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ et erreur de mesure E du modèle structurel .....	166
8.7.2 Indices de forme .....	169
8.7.3 Equations structurelles avec prise en compte des dimensions culturelles.....	170
8.7.4 Equations structurelles sans prise en compte des dimensions culturelles .....	172
8.8 Discussion générale des résultats .....	174
Conclusion.....	176
Conclusion générale .....	177
Références bibliographiques .....	181
Webographie .....	190
Annexes.....	191

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1. 1 .</b> Objectifs techniques de la maintenance. ....	17
<b>Tableau 1. 2 .</b> Avantages et inconvénients de la centralisation et la décentralisation de la maintenance .....	18
<b>Tableau 1. 3 .</b> Niveaux de maintenance dans une logique TPM .....	19
<b>Tableau 1. 4 .</b> Etapes d'un programme TPM au Japon .....	36
<b>Tableau 1. 5 .</b> Contenu des séminaires initiaux sur la TPM.....	37
<b>Tableau 1. 6 .</b> Planning de formation des chefs d'équipe et les opérateurs .....	38
<b>Tableau 2. 1 .</b> Quantification des coûts de non-qualité .....	45
<b>Tableau 2. 2 .</b> Domaines d'investissement pour la diminution des coûts de non-qualité .....	46
<b>Tableau 2. 3 .</b> Calcul de l'IDSQ.....	55
<b>Tableau 2. 4 .</b> Table d'évaluation de la criticité.....	56
<b>Tableau 2. 5 .</b> Démarche des mises en œuvre de l'automaintenance .....	57
<b>Tableau 2. 6 .</b> Application du cycle PDCA à la maintenance .....	58
<b>Tableau 3. 1 .</b> Tableau récapitulatif des avantages et des inconvénients des méthodes d'optimisation de la maintenance .....	79
<b>Tableau 5. 1 .</b> Relation des différentes dimensions culturelles avec les niveaux logiques .....	103
<b>Tableau 5. 2 .</b> Dimensions culturelles, caractéristiques et spécificités de la culture algérienne.....	105
<b>Tableau 5. 3 .</b> Leviers et résistances de la culture algérienne.....	107
<b>Tableau 5. 4 .</b> Proposition d'actions relatives au contexte socioculturel algérien .....	108
<b>Tableau 6. 1 .</b> Gamme de produits de l'entreprise.....	118
<b>Tableau 6. 2 .</b> Nature d'interrelation et graphisme utilisé dans les schémas de l'entreprise .....	120
<b>Tableau 6. 3 .</b> Fiche processus S2 : Ressources matérielles.....	121
<b>Tableau 6. 4 .</b> Processus de l'entreprise Alzinc selon les 5M .....	128
<b>Tableau 6. 5 .</b> Liste des équipements pour le processus du grillage.....	131
<b>Tableau 6. 6 .</b> Désignation des agrégats et équipements de l'atelier grillage.....	131
<b>Tableau 6. 7 .</b> Diagramme de circulation des documents.....	133
<b>Tableau 6. 8 .</b> Maitrise des paramètres de fabrication dans le processus de grillage .....	138
<b>Tableau 6. 9 .</b> Détermination du score total et pourcentage moyen pour la fonction maintenance de l'entreprise Alzinc .....	138
<b>Tableau 6. 10 .</b> Axes d'amélioration en maintenance pour Alzinc.....	139
<b>Tableau 6. 11 .</b> Table d'évaluation de la criticité. ....	141
<b>Tableau 6. 12 .</b> Equipements supercritiques de l'atelier du grillage. ....	141
<b>Tableau 6. 13 .</b> Axes d'efficacité maximale et conditions idéales du système de production .....	143
<b>Tableau 8. 1 .</b> Tableau Echelle de Likert .....	158
<b>Tableau 8. 2 .</b> Estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ erreur E du modèle structurel de la variable MBF .....	166
<b>Tableau 8. 3 .</b> l'estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ du modèle structurel de la variable TPM .....	166
<b>Tableau 8. 4 .</b> Estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ du modèle structurel de la variable DC.....	167
<b>Tableau 8. 5 .</b> Estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ du modèle structurel.....	168
<b>Tableau 8. 6 .</b> indice d'asymétrie (Skewness).....	169
<b>Tableau 8. 7 .</b> indice d'asymétrie (Skewness).....	170
<b>Tableau 8. 8 .</b> Coefficients de corrélations.....	170
<b>Tableau 8. 9 .</b> Erreurs de mesure.....	171
<b>Tableau 8. 10 .</b> Equations du modèle .....	171
<b>Tableau 8. 11 .</b> Coefficients de corrélation .....	172
<b>Tableau 8. 12 .</b> Erreurs de mesure.....	172
<b>Tableau 8. 13 .</b> Equations du modèle .....	172
<b>Tableau 8. 14 .</b> Tableau récapitulatif de l'Analyse en Composantes Principales.....	173

## Liste des figures

<b>Figure 1. 1 .</b> Cercle vicieux de l'entretien .....	11
<b>Figure 1. 2 .</b> Représentation systématique du management de la maintenance .....	13
<b>Figure 1. 3 .</b> Cercle dynamique des 36 bonnes pratiques de la maintenance.....	13
<b>Figure 1. 4 .</b> Equilibre de l'activité maintenance .....	19
<b>Figure 1. 5 .</b> Schéma d'intervention de maintenance .....	20
<b>Figure 1. 6 .</b> Procédure en cas de dysfonctionnement .....	21
<b>Figure 1. 7 .</b> Méthodes de maintenance.....	23
<b>Figure 1. 8 .</b> Principales formes de maintenance et leur impact économique .....	25
<b>Figure 1. 9 .</b> Etapes principales de la méthode MBF .....	29
<b>Figure 1. 10 .</b> Acteurs de la démarche MBF .....	30
<b>Figure 1. 11 .</b> TPM et démarches de progrès.....	33
<b>Figure 1. 12 .</b> Composantes du TRS.....	39
<b>Figure 1. 13 .</b> Éléments clé du TRS .....	40
<b>Figure 2. 1 .</b> Cycle PDCA (Roue de Deming).....	43
<b>Figure 2. 2 .</b> Environnement qualité de l'entreprise .....	44
<b>Figure 2. 3 .</b> Origines de la non qualité .....	44
<b>Figure 2. 4 .</b> Composantes de la qualité .....	48
<b>Figure 2. 5 .</b> Modèle de Gigout. ....	48
<b>Figure 2. 6 .</b> Management de la qualité en boucle fermée.....	49
<b>Figure 2. 7 .</b> Management de la qualité complet .....	49
<b>Figure 2. 8 .</b> Outils stratégiques et d'accompagnement des management de la qualité.....	51
<b>Figure 2. 9 .</b> Synoptique des normes de base relatives à la qualité .....	52
<b>Figure 2. 10 .</b> Plan d'organisation du processus maintenance .....	53
<b>Figure 2. 11 .</b> Implication de la maintenance dans l'Assurance Qualité et traçabilité .....	53
<b>Figure 2. 12 :</b> Volets de la méthode STC .....	54
<b>Figure 2. 13 .</b> Campagne 5S .....	58
<b>Figure 2. 14 .</b> Vérification et étalonnage des appareils de mesure .....	60
<b>Figure 2. 15 .</b> Composantes du processus maintenance (Selon les 5M).....	60
<b>Figure 2. 16 .</b> Management de la maintenance à l'aide des 5 M .....	61
<b>Figure 2. 17 .</b> Fonction de communication en maintenance .....	63
<b>Figure 2. 18 .</b> Quelques flux de communication interne en maintenance.....	64
<b>Figure 2. 19 .</b> Modèle pour le management de la maintenance .....	66
<b>Figure 3. 1 .</b> Principales méthodes d'optimisation de la maintenance.....	76
<b>Figure 3. 2 .</b> Cadre méthodique d'élaboration d'une maintenance appropriée.....	80
<b>Figure 4. 1 .</b> Causes de défaillance.....	85
<b>Figure 4. 2 .</b> Arbre de décision pour la classification des défaillances .....	86
<b>Figure 4. 3 .</b> Rôles des services production et maintenance .....	87
<b>Figure 4. 4 .</b> Courbe en baignoire.....	90
<b>Figure 5. 1 .</b> Composantes de la culture entreprise .....	95
<b>Figure 5. 2 .</b> Ensemble de références de la culture d'entreprise .....	96
<b>Figure 5. 3 .</b> Conduite de changement par la synergie MBF/TPM intégrant la dimension socioculturelle ...	100
<b>Figure 5. 4 .</b> Evolution d'une organisation.....	101
<b>Figure 5. 5 .</b> Autocratie à la participation.....	102
<b>Figure 6. 1 .</b> Vue générale de l'entreprise « Alzinc » de Ghazaouet .....	112
<b>Figure 6. 2 .</b> Schéma de production du zinc .....	114
<b>Figure 6. 3 .</b> Organigramme de l'entreprise Alzinc .....	115
<b>Figure 6. 4 .</b> Cartographie des processus .....	119

<b>Figure 6. 5 .</b> Interaction entre le processus maintenance S2 et les autres processus de l'entreprise.....	122
<b>Figure 6. 6 .</b> Interaction du processus Commercial R1 avec le processus maintenance S2.....	123
<b>Figure 6. 7 .</b> Interaction du processus conception R2 avec le processus maintenance S2.....	124
<b>Figure 6. 8 .</b> Interaction du processus Achat/Approvisionnement R3 avec le processus maintenance S2 .....	125
<b>Figure 6. 9 .</b> Interaction du processus production R4 avec le processus maintenance S2.....	126
<b>Figure 6. 10 .</b> Interaction du processus Ressources Humaines S1 avec le processus maintenance S2.....	127
<b>Figure 6. 11 .</b> Organigramme du service maintenance .....	129
<b>Figure 6. 12 .</b> Schématisation des équipements pour le processus du grillage .....	130
<b>Figure 6. 13 .</b> Profil et moyenne du score du questionnaire de l'audit de maintenance de l'entreprise Alzinc .	139
<b>Figure 6. 14 .</b> Piliers de la TPM .....	144
<b>Figure 7. 1 .</b> Evolution des coûts de maintenance des équipements de l'atelier grillage.....	148
<b>Figure 7. 2 .</b> Évolution des interventions sur les équipements de l'atelier « Grillage » .....	149
<b>Figure 7. 3 .</b> Evolution du taux d'arrêt des équipements .....	149
<b>Figure 7. 4 .</b> Evolution des MTBF des équipements de l'atelier grillage .....	150
<b>Figure 7. 5 .</b> Evolution des MTTR des équipements de l'atelier grillage .....	150
<b>Figure 7. 6 .</b> Evolution des TRS .....	151
<b>Figure 7. 7 .</b> Coûts de maintenance par agrégats .....	152
<b>Figure 7. 8 .</b> Total des coûts de maintenance .....	152
<b>Figure 7. 9 .</b> Evolution du taux d'absentéisme de l'entreprise .....	154
<b>Figure 7. 10 .</b> Evolution du taux d'absentéisme de l'atelier du grillage .....	154
<b>Figure 7. 11 .</b> Evolution de la consommation d'énergie de l'entreprise. ....	155
<b>Figure 8. 1.</b> Modele de l'approche classique .....	164
<b>Figure 8.2.</b> Modèle conceptuel proposé	
<b>Figure 8. 3.</b> Équations structurelles de notre modèle conceptuel avec coefficients de corrélation et erreurs....	171
<b>Figure 8. 4.</b> Équation structurelle du modèle théorique avec coefficients de corrélation et erreurs .....	172
<b>Figure 8. 5.</b> Modèle global .....	174

## Liste des photos

<b>Photo 6. 1 .</b> Vue générale de l'entreprise « Alzinc » de Ghazaouet.....	112
<b>Photo 6. 2 .</b> Atelier de grillage.....	116
<b>Photo 6. 3 .</b> Atelier de lixiviation.....	116
<b>Photo 6. 4 .</b> Atelier de Purification .....	117
<b>Photo 6. 5 .</b> Atelier d'électrolyse .....	117
<b>Photo 6. 6 .</b> Atelier de refonte et alliages.....	118
<b>Photo 6.7.</b> Ventilateur central K102 .....	244
<b>Photo 6.8.</b> Roue du ventilateur K102.....	244

## Liste des équations

$TRS = \frac{D}{A} = \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C}$ .....	40
$IDSQ = IQ \times IM \times IS$ .....	57
$IDSQ = IQ + IM + IS$ .....	57
$CR = P \times I \times E \times U$ .....	58
$P(x = k) = C_n^k \times P^k \times (1 - P)^{(n-k)}$ avec $C_n^k = \frac{n!}{(n-k)! \times k!}$ .....	92
$P(x = k) = \frac{e^{-m} \times m^k}{k!}$ .....	93
$F(t) = 1 - R(t)$ .....	94
$f(t) = \lambda(t) \times R(t) = \lambda \times e^{-\lambda t}$ .....	94
$R(t) = e^{-\left(\frac{t-Y}{\eta}\right)^\beta}$ .....	94
$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF}$ .....	95
$TRS = TD \times TP \times TQ$ .....	154
$V_i = \lambda_i \times F_a + E_i$ .....	168
$F_a = \beta_{ab} \times F_b + \beta_{ac} \times F_c + \dots + \beta_{ap} \times F_p + D_a$ .....	168

## Liste des abréviations et indices

A :	Temps requis
AFNOR:	Association Française de Normalisation
AMDEC :	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité.
ANOVA :	Analyse de la variance
ACP :	Analyse en Composantes Principales.
AQ :	Assurance Qualité.
B :	Temps brute de fonctionnement.
$\beta_{ab}$ :	Coefficient de régression à estimer indiquant la force de l'influence de la variable latente .
$\beta_i$ :	Paramètre d'estimation
BSM :	Bon de Sortie Magasin
BT :	Bon de Travail.
C :	Temps net de fonctionnement
Cr :	Chrome.
CR :	Criticité.
DA :	Demande d'Achat
$D_a$ :	Perturbation de A. (Erreur de mesure de la variable latente)
DC :	Dimension culturel.
ddl :	Degré de liberté.
DT :	Demande de Travail.
DI :	Demande d'Intervention
DSM :	Documents de Système de Management
EAQF :	Evaluation d'Aptitude Qualité d'un Fournisseur.
$E_i$ :	Erreur de mesure de i.
E(t) :	Espérance mathématique
F :	Test de Fisher.
$F_a$ :	Variable latente A.
F(t) :	Distribution de défaillance
f(t) :	Densité de probabilité
FMDS :	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité.
GMAO :	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	Acide sulfurique

HA :	Heures de l'Amélioratif
HC :	Heures du Curatif.
HP :	Heures du Préventif.
IDSQ :	Indice Directe Sur la Qualité
IM :	Indice de Maintenance.
IQ :	Indice de Qualité.
IS :	Indice de sécurité.
ISO :	Système International de Standardisation
JAT :	Juste A Temps .
JIPM:	Japan Institute of Plant Maintenance.
k:	Nombre de défaillances (de pannes).
KDA :	Kilo Dinars Algériens.
KMO:	Kaizer – Meyer – Olkin
KPI:	Key Performance Indicators
$\lambda_i$ :	Contribution factorielle à estimer de i sur la variable latente A.
$\lambda(t)$ :	Taux de défaillance
LCC :	Life Cost Cycle
LME:	London Metal Exchange.
MBF :	Maintenance Basée sur la Fiabilité.
MTBF :	Moyenne de Temps de Bon Fonctionnement.
MSP :	Maitrise Statistique des Procédés.
MTTR :	Moyenne des Temps de Réparation.
N :	Population de départ
n :	Echantillon
NC :	Non conformité.
$N_i$ :	Nickel
NQM :	Non Qualité en Maintenance.
ODM :	Ordre De Maintenance
OM :	Optimisation de la maintenance.
OT :	Ordre de Travail.
P :	Probabilité de défaillance .
p :	Probabilité d'erreur.
Pb :	Plomb.
PDCA :	Plan Do Check Act

PdR :	Pièces de Rechange.
PGM :	Procédure Générale de Maintenance
PIEU :	Pannes, Importance, Etat, Utilisation
PM :	Productive Maintenance.
PMT :	Programme de Maintenance Technique (Planning des Tâches de Maintenance)
PQE :	Plan Qualité de l'Équipement
QOOQCP :	Qui, Quoi, Où, Comment, Pourquoi.
R(t) :	Fiabilité.
REX :	Retour d'Expérience.
SAV :	Service Après Vente.
SD :	Service Demandeur
SC :	Structure Concernée
SE :	Structure Exécutante
SHG :	Special High Grade
Sig :	Significatif
SM :	Structure Méthodes.
SMED :	Single Minute Exchange Die.
SMQ :	Système de Management de la Qualité.
SO <sub>2</sub> :	Dioxyde de soufre.
STC :	Sélectionner, Trier, Choisir.
T:	Test de Student
TBF :	Temps de Bon Fonctionnement.
TD :	Taux de Disponibilité.
TP :	Taux de Performance.
TPM :	Total Productive Maintenance.
TQ :	Taux de Qualité.
TQM :	Total Quality Management.
TRS :	Taux de Rendement Synthétique .
V <sub>i</sub> :	Variable observée i.
ZnS :	Blende.
ZnO :	Calcine.

# **Introduction générale**

Les réformes économiques, qui avaient pour but de mettre en place une économie de marché en Algérie, se sont succédées à un rythme rapide au cours de ces dernières années et ont permis une évolution vers des structures et des mécanismes moins centralisés et moins rigides que ceux mis en place au lendemain de l'indépendance. Aussi, la libéralisation de l'économie exige-t-elle, pour un rythme soutenu et efficace, la mise en œuvre d'un programme de mise à niveau de l'industrie permettant un ajustement effectif de l'entreprise et de son environnement. Le passage d'une situation de protection à cette libéralisation ne peut se faire sans actions de soutien à l'entreprise et à ses fonctions.

L'accord de partenariat entre l'Algérie et l'Union Européenne, mis en vigueur depuis le premier septembre 2005, a nécessité des réformes économiques traduites en premier lieu par la mise à niveau des systèmes institutionnels et économiques aux nouvelles exigences de l'économie mondiale. Ainsi, le programme « MEDA » d'appui aux entreprises, financé par la commission européenne, visait à renforcer les capacités managériales et à améliorer les performances et la compétitivité de ces dernières dans plusieurs domaines. Beaucoup d'efforts ont été consentis dans la réorganisation de l'entreprise et notamment dans le domaine de la maintenance. En effet, pendant de nombreuses années, la maintenance industrielle était considérée comme un inconvénient incontournable qu'il fallait subir et ne faisait l'effet d'aucune attention particulière. Avec l'ouverture des marchés, où le management de la qualité est devenu un acte de gestion vital et déterminant, la finalité de la fonction maintenance prend alors une toute autre dimension.

Aujourd'hui, les profondes mutations technologiques conduisent à intégrer la maintenance dès la conception des produits, afin d'améliorer leur qualité globale et de rendre les opérations de mise à niveau plus faciles. Aussi, l'absence d'une relation organisée du couple production-maintenance dans l'entreprise, génère des coûts de non-qualité importants que l'on peut réduire rapidement et considérablement pour peu que l'on accepte de réorganiser, rajeunir et requalifier l'encadrement de l'activité maintenance. Une politique simple de maintenance ne peut éliminer toutes les défaillances et la maintenance préventive à elle seule ne peut suffire. Ainsi, l'optimisation de la maintenance par le management de la qualité semble être une nouvelle voie qui pourrait apporter des éléments nécessaires afin d'anticiper ces défaillances pour tous autres dysfonctionnements qui peuvent altérer les produits fabriqués ou le processus industriel. La qualité et la maintenance sont devenus des rouages essentiels au bon fonctionnement de l'industrie et des services tant au niveau de la productivité de l'entreprise que pour la compétitivité. La qualité, motrice de cette compétitivité, touche chaque strate organisationnelle de l'entreprise, notamment la fonction maintenance. On trouve également,

dans tous les domaines de processus continus, une liaison directe à un moment ou à un autre, entre l'action de la maintenance et la qualité du produit .De ce fait, l'optimisation de la fonction maintenance et sa nécessaire mise à niveau, passent obligatoirement par une approche managériale qui nécessite la réhabilitation de cette fonction, génératrice de qualité, et ce, grâce à l'application de méthodes contemporaines et complémentaires telles que la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) et la Total Productive Maintenance (TPM).Ainsi, l'introduction de ces deux méthodes constituent une réelle opportunité de progrès pour l'entreprise algérienne de production .Elles visent le même objectif, celui d'améliorer la performance du système de production en tirant le meilleur profit des ressources existantes. Cependant, les conditions de succès techniques et économiques de l'implémentation de ces méthodes reposent sur la mutation la plus difficile à accomplir au sein de l'entreprise ,à savoir le changement de culture. Pour réussir la conduite de ce changement, l'implication du personnel à tous les niveaux de l'organisation et la prise en compte de la dimension socioculturelle sont primordiales .

#### **A. Choix et opportunité du sujet**

Après notre passage dans l'industrie et plusieurs années d'exercice (1982-1992) au sein du département maintenance de l'Entreprise Nationale de Télécommunications (ENTC) à Tlemcen et ayant travaillé longtemps sur les concepts et stratégies liés à la maintenance et à la qualité, nous avons été convaincus par la nécessité d'explorer les voies d'implication du management de la qualité dans l'optimisation de cette fonction. L'inexistence d'études et d'expérimentation dans le domaine d'optimisation de la maintenance par le management de la qualité , en particulier dans les pays en voie de développement, justifie le choix de notre sujet. Pour une étude plus complète, nous nous sommes vite rendu compte que pour une application dans une entreprise algérienne de production, nous ne pouvons traiter ce sujet sans tenir compte du contexte socioculturel et les spécificités locales. Cette remarque nous permet d'insister sur l'importance de la prise en compte des dimensions culturelles avec les caractéristiques et les spécificités de la culture algérienne. Dans le traitement de notre sujet, la conduite du changement par le management de la qualité peut être menée d'une part, grâce à une stratégie de maintenance appropriée et d'autre part, grâce à l'adaptation des méthodes contemporaines et à la motivation des compétences, en s'appuyant sur la culture qualité déjà existante de l'entreprise choisie et la maîtrise des processus de la technologie importée.

## **B. Objectifs de la recherche**

Les développements conceptuels et méthodologiques de l'originalité de cette thèse ont pour but de définir et d'élaborer une démarche d'optimisation de la maintenance industrielle par le management de la qualité au sein d'un atelier pilote d'une entreprise algérienne de production. La démarche est basée sur la complémentarité de la Maintenance basée sur la Fiabilité (MBF) et la Total Productive Maintenance (TPM), en tenant compte de la dimension socioculturelle. Le choix de ces méthodes est justifié également par la nécessité d'intégrer les concepts de fiabilité et de qualité dans le but d'augmenter la disponibilité des équipements, de maintenir les coûts d'exploitation au plus bas niveau et d'assurer un retour d'expérience exploitable. Ces méthodes s'adaptent très rapidement à l'évolution des besoins des marchés, des comportements sociologiques et permettent également de former les opérateurs pour mieux connaître les équipements et améliorer la sécurité dans le travail, tout en préservant l'environnement. Outre la réduction de la fréquence des pannes, l'augmentation de la productivité et de la qualité des prestations, l'objectif à court terme prévoit l'application et la validation de cette méthode au sein de l'entreprise algérienne. L'objectif à moyen terme consiste à mettre cette démarche à la disposition de toute l'entreprise et par la suite de reproduire la démarche à d'autres entreprises similaires à long terme.

## **C. Position du problème et contexte général de la recherche**

Plusieurs constats nous ont montré que la tendance des entreprises algériennes consistent à privilégier la production au détriment des équipements et de leur maintenance, alors que cette dernière est une source de profit et de productivité.

Le fonctionnement des équipements ne suit pas un cycle normal et la durée de vie en est réduite, quant aux effectifs de maintenance, la tendance est à la baisse à cause des départs à la retraite non remplacés. La comptabilité analytique est souvent négligée et les budgets de maintenance ne sont pas maîtrisés. L'analyse des coûts et des défaillances est quasi inexistante. Aussi, l'optimisation de la fonction maintenance apparaît le plus souvent comme très secondaire alors que les carences de la maintenance coûtent cher à l'entreprise. La maintenance s'inscrit également parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Souvent, on se retrouve dans un système où il y a toujours une situation d'attente et de perte de temps : « ou bien, c'est l'agent de maintenance qui attend le problème, ou bien, c'est l'équipement en panne qui attend le réparateur ». Les installations et les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples telles que l'usure, la déformation ou l'action d'agents corrosifs. Ces détériorations influent sur la qualité

des produits et peuvent provoquer des défaillances et rebus. De plus, une maintenance mal adaptée et inappropriée, peut également conduire à une situation critique dangereuse aussi bien pour les personnes que pour le matériel ou l'environnement et créer par la même occasion, la non qualité. Avec la rigueur économique imposée par l'optimisation et l'exploitation de la maintenance, et avec l'évolution très rapide des méthodes et outils, les industriels s'engagent dans la course vers le « zéro panne » et le « zéro défaut ». Aujourd'hui, la maîtrise de la disponibilité des équipements permet à l'entreprise d'agir sur la régularité et la qualité de sa production, sur ses coûts de fabrication, sur sa compétitivité et sur son succès commercial.

## **D. Champ de la problématique et hypothèses de la recherche**

### **1. Problématique de la maintenance en Algérie**

En Algérie, l'idée de tout faire par soi-même pour éviter la dépendance a abouti à l'implantation de complexes industriels à intégration maximale. De véritables mastodontes où des unités de même production cohabitaient dans un même espace. A la mise en service de la plupart des unités de production (période 1970 - 1985), la fonction maintenance méconnue et sans grande expérience, a dû faire face à d'innombrables problèmes. Manque de savoir-faire, inexpérience, mentalité inadaptée, manque de pièces de rechange et souvent l'absence de main-d'œuvre spécialisée, constituaient le lot de préoccupations quotidiennes des responsables. Dans la majorité des cas, le personnel de maintenance a été promu sans formation technique et le travail était appris sur le tas. Les services de maintenance qui ont été mis en place par le maître d'œuvre dans le cadre des contrats, « produit en main » ou « clé en main », étaient généralement capables d'assurer seulement les opérations d'entretien les plus courantes, le graissage notamment, mais avaient la difficulté d'assurer une maintenance de qualité. Les arrêts de production dus aux problèmes de maintenance ont montré que ces unités de production étaient très vulnérables quant au bon fonctionnement de certains équipements qui, par leur arrêt, pouvaient paralyser toute une unité de production. Les difficultés rencontrées par les services de maintenance avaient deux origines principales : une formation insuffisante du personnel, quand elle existait, et souvent une non-disponibilité des pièces de rechange. Les formations n'ont duré que quelques mois dans les meilleurs des cas pour un personnel qui n'avait au départ pratiquement aucune formation technique. Cet aspect était aggravé par de nombreux départs de personnels qualifiés ou par leur affectation à des postes de gestion. D'autre part, l'approvisionnement en pièces de rechange était souvent problématique. Leur coût était de plus en plus élevé et le délai d'importation très long, ceci quand le constructeur n'en abandonnait pas la fabrication. Aussi, les entreprises algériennes, en situation de monopole, n'ont pas eu à se

soucier de la rentabilité économique et de l'efficacité des facteurs de production. Cette mentalité du secteur économique dans sa globalité, a glissé jusqu'au niveau des fonctions de l'entreprise. Elle a provoqué l'îlotage des fonctions et, avec le temps, un cloisonnement étanche de chacune d'elles. Il en sera de même pour la fonction maintenance qui a dû subir plusieurs contraintes. Il est rapporté qu'en raison de la vétusté et de la maintenance des équipements, près de 59% du potentiel de production des entreprises sondées ont connus des pannes, engendrant des arrêts de travail allant de 13 à 30 jours pour près de 85% du secteur publique et supérieurs à 30 jours pour plus de 38% des gestionnaires d'entreprises publiques et plus de 72% du privé, ont renouvelé leurs équipements [150].

## **2. Formulation de la problématique de recherche**

Notre problématique est de nature technique, économique et socioculturelle . Nous pouvons l'énoncer de la manière suivante :

« Comment peut-on optimiser la maintenance dans le contexte industriel algérien actuel ? » Aujourd'hui, des difficultés majeures de communication persistent encore entre les services de production et de maintenance, du fait que les acteurs de ces structures ont des arguments et des visions différentes dans l'exercice de leur fonction. Cet antagonisme peut avoir des conséquences graves sur les coûts et la productivité. L'intégration des nouvelles méthodes d'optimisation de maintenance au sein de l'entreprise algérienne, est une démarche perçue très souvent par les responsables, comme une nouvelle contrainte à gérer, qui vient perturber les modes d'organisation du travail déjà mis en œuvre. Les conditions de succès technique et économique, de l'implantation de ces méthodes, reposent sur la mutation la plus difficile à accomplir au sein de l'entreprise : le changement de culture et de mentalité. La problématique nous amène à se demander : quelle démarche et quelle stratégie adopter pour garantir le succès d'un tel projet ? Comment mettre en œuvre les méthodes préconisées ? Quelles sont les priorités et par quelles étapes doit-on débiter ? Comment motiver les travailleurs et gagner leur confiance ? Quelle est la réceptivité et la disposition d'esprit du personnel à ces changements ?

## **3. Hypothèses de travail**

Notre problématique nous conduit à formuler les hypothèses suivantes :

- Hypothèse principale

La complémentarité MBF/ TPM permet d'optimiser la maintenance en tenant compte de la dimension socioculturelle.

- Hypothèse secondaire (H1)

La MBF comme méthode structurale et premier pas vers la TPM, permet d'optimiser la maintenance en tenant compte de la dimension socioculturelle.

- Hypothèse secondaire (H2)

La TPM comme méthode structurante et support organisationnel, permet également d'optimiser la maintenance en tenant compte de la dimension socioculturelle.

- Hypothèse secondaire (H3)

La prise en compte de la dimension socioculturelle (dimensions culturelles) influe sur l'optimisation de la maintenance

#### **4. Démarche du projet**

Le projet doit être structuré judicieusement afin d'aboutir au mieux et dans les plus brefs délais aux résultats escomptés. En effet, le gain de temps est une priorité et c'est l'organisation méthodologique qui le permettra. La structuration de l'organisation de travail en maintenance possède l'avantage principale de la rapidité de la mise en place de la démarche choisie. Notre démarche consistera à optimiser la maintenance par le management de la qualité. Pour cela, nous adopterons la méthode MBF comme un outil privilégié sur lequel les quatre premiers piliers de la TPM viennent s'appuyer, en tenant compte naturellement du contexte socioculturel spécifique à l'Algérie.

#### **E. Organisation du document**

Les grands axes de cette thèse peuvent être résumés dans les points suivants :

- Recherche bibliographique et état de l'art
- Application des méthodes contemporaines d'optimisation de la maintenance intégrant la complémentarité MBF/TPM.
- Proposition d'un modèle conceptuel d'optimisation basé sur cette complémentarité et prise en compte de la dimension socioculturelle (dimensions culturelles).
- Etude empirique et expérimentation dans une entreprise locale.
- Détermination des critères d'optimisation.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en deux grandes parties :

La première partie, composée de quatre chapitres, est réservée au management de la maintenance industrielle et la culture qualité.

Dans le premier chapitre de cette partie, nous présentons les stratégies et méthodologies de la maintenance industrielle.

Dans le deuxième chapitre, nous traitons la synergie « maintenance/qualité » au service de l'entreprise.

Le troisième chapitre est consacré aux principales méthodes d'optimisation de la maintenance et à la modélisation.

Dans le quatrième chapitre, nous rappelons les notions de fiabilité des équipements

La deuxième partie est composée également de quatre chapitres. Elle est consacrée à la conduite du changement par le management de la qualité en maintenance et la dimension socioculturelle. Une expérimentation au sein d'un atelier pilote d'une entreprise locale de production est présentée.

Dans le cinquième chapitre, la dimension socioculturelle est prise en compte, avec les spécificités locales.

Le sixième chapitre est réservé à la présentation de l'entreprise et de l'atelier pilote (grillage), champs d'investigation et d'expérimentation.

Le septième chapitre traite les apports et l'impact du management de la qualité sur le processus maintenance de l'entreprise.

Dans le huitième chapitre, nous menons une étude empirique, en affichant les résultats, suivie d'une discussion générale.

Enfin, dans la conclusion générale, des recommandations et des perspectives futures sont formulées.

# **PREMIERE PARTIE**

## **Management de la maintenance et culture qualité**

# **Chapitre 1**

## **Stratégies et aspects méthodologiques de la maintenance industrielle.**

## **Introduction**

La maintenance est passée progressivement de l'état de service improductif au statut de fonction stratégique du système productif. Elle est devenue désormais une fonction primordiale productive et rentable, en s'imposant maintenant comme un véritable outil de compétitivité, d'amélioration de la qualité des produits et de réduction des coûts. La maintenance est aussi au cœur d'une politique de la qualité industrielle et s'appuie dès lors sur deux grands types de préoccupations : savoir investir et savoir exploiter.

Avec l'ouverture des marchés où la maîtrise des coûts est un acte de gestion vital et déterminant, la finalité de la fonction maintenance prend toute une autre dimension. Par ailleurs, l'absence de relation organisée du couple production – maintenance génère des coûts de non-qualité importants qu'on pourrait réduire rapidement et dans des proportions considérables pour peu que l'on accepte de réorganiser et requalifier l'encadrement de l'activité maintenance.

La nécessaire mise à niveau de la fonction maintenance passe donc par une approche managériale qui nécessite la requalification et la réhabilitation de cette fonction, génératrice de qualité, et ce grâce à l'intégration des approches contemporaines telles que la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) et la Total Maintenance Productive (TPM) dont les avantages résident dans la forte implication des opérateurs.

### **1-1 Généralités sur la maintenance**

#### **1.1.1 Définitions**

D'après le dictionnaire Larousse, la maintenance peut être définie comme étant un « ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement ». De son côté, l'AFNOR (NF X 60-010) l'a défini comme un « ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé »

La norme NF EN 13306 (juin 2001) quant à elle, la définit comme suit :

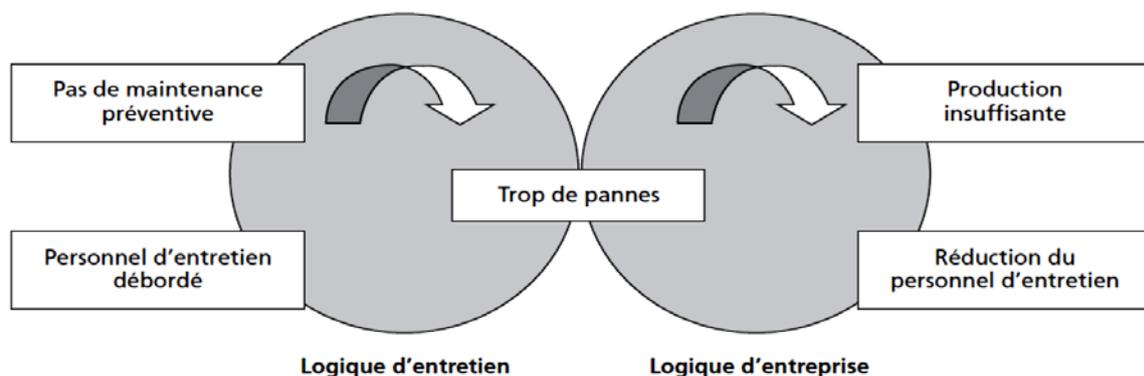
« ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »

#### **1.1.2 Evolution et mutation de la maintenance**

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines manus et tenere, est apparu dans la langue française au XII<sup>ème</sup> siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme mainteneor (celui qui soutient), utilisée en 1169 : qui est une forme archaïque de « mainteneur ».

Les utilisations anglo-saxonnes du terme « maintenance » sont donc postérieures. A l'époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : « maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant ». L'industrie l'a reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » [105].

Le service maintenance est l'aboutissement d'une évolution opérée à partir de l'existant : les services entretien traditionnels. Présents dans l'industrie à partir du début de l'ère industrielle, les services entretien sont alors une sous-fonction de la production. Souvent excentrés dans l'entreprise, ils reposent sur des métiers : dépanneurs mécaniciens, dépanneurs électriciens, graisseurs et réglers travaillent séparément et sont souvent en conflit avec le service production. L'entretien consistait majoritairement à dépanner et à réparer après défaillance, avec le souci d'un redémarrage rapide, en n'ayant comme objectif préventif que le minimum vital : lubrification et rondes de surveillance.



**Figure 1. 1 . Cercle vicieux de l'entretien [105]**

Il faut remarquer qu'avant 1980, ces expériences de structuration de la maintenance se faisaient dans une logique sectorielle, le cloisonnement entre entreprises étant fort.

Les années 1980 virent les entreprises obligées de s'adapter à des marchés plus fluctuants et élargis, voire mondialisés. La réactivité aux marchés devint prépondérante, entraînant la mise en œuvre de concepts nouveaux concernant l'organisation de la production aussi bien que l'organisation de la maintenance. C'est en particulier le cas de la « maintenance productive », importée du Japon à la même époque vint la recherche de la qualité : compétitivité par le meilleur ratio qualité/prix possible et la mise en place de l'assurance qualité. C'est à partir de 1987 que les premières entreprises furent certifiées ISO 9000. Cette assurance de la qualité concerne les services « maintenance » dans la structuration de leurs méthodes et procédures. Les normes ISO 14000 représentent depuis 1996 un nouveau défi, mettant la maintenance de l'outil industriel au service de la productivité dans le respect de l'environnement.

A partir de 1980 se mit également en place la production «juste à temps» associée à la recherche du zéro défaut et du zéro panne, notamment en maintenance.

L'année 1990, voit l'ouverture des activités tertiaires. Les méthodes de la maintenance industrielle sont alors transférées vers les groupes d'assurance, les groupes commerciaux et les hôpitaux. Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de la maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises par une évolution de mentalités. Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un « état d'esprit maintenance ». Par la suite, la structuration des services «maintenance» s'est fondée sur des concepts et des méthodes radicalement en rupture avec les usages de l'entretien. Le besoin émergent qu'il était impératif de satisfaire était la sécurité des exploitants, mais aussi des usagers et des utilisateurs. Pour les responsables de ces domaines, entretenir le matériel en subissant son comportement devenait inadapté face aux risques encourus : il leur fallait apprendre à maîtriser ces systèmes automatisés, leurs rejets et à prévenir les incidents pour éviter les accidents et diminuer par conséquent l'absentéisme, tout en évitant des surcoûts prohibitifs. Aujourd'hui, la performance industrielle passe par une convergence d'objectif entre la production et la maintenance.

### 1.1.3 Importance et bonnes pratiques du management de la maintenance dans l'entreprise

#### 1.1.3.1 Importance du management de la maintenance dans l'entreprise

La maintenance est devenue une fonction importante et stratégique dans le management de l'entreprise.

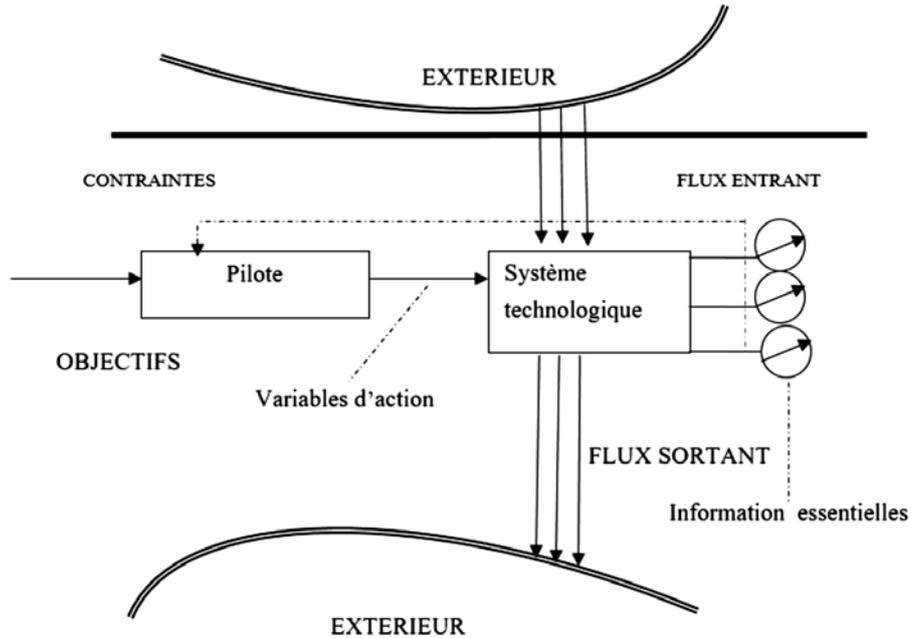


Figure 1. 2 . Représentation systématique du management de la maintenance [25]

#### 1.1.3.2 Cercle dynamique de bonnes pratiques en maintenance

Le management de la maintenance s'articule autour d'un cercle dynamique de bonnes pratiques.



Figure 1. 3 . Cercle dynamique des 36 bonnes pratiques de la maintenance [87]

La méthode présentée s'articule autour d'un cercle dynamique des bonnes pratiques de management de la maintenance. Ce cercle dynamique comprend 36 bonnes pratiques et 440 critères d'évaluation qui peuvent être classés en 3 catégories suivantes :

**- bonnes pratiques techniques**

Généralement, ce sont celles qui sont mieux développées. La maintenance est avant tout une affaire de techniciens. On retrouve ainsi dans le cercle dynamique des pratiques techniques telles que les «modes opératoires», «l'information technique» ou les « données historiques».

**- bonnes pratiques de management**

Ces bonnes pratiques constituent le plus souvent les principaux axes de progrès. Les meilleurs techniciens, qui ont pris au fil des années plus de responsabilités, n'ont pas toujours su intégrer complètement la dimension de management demandée par l'entreprise et ces bonnes pratiques peuvent constituer un excellent levier de progrès. Il s'agit de pratiques telles que le «planning quotidien », le « suivi à intervalles courts» ou la « déclinaison des objectifs».

**- bonnes pratiques humaines**

Avec l'évolution de la « fonction » maintenance dans l'entreprise, de moins en moins centralisée et de plus en plus centrée sur les « métiers cœurs », la dimension humaine de la maintenance a pris plus d'importance. Ces bonnes pratiques traitent de la nécessaire évolution des compétences et des états d'esprit à l'intérieur de la fonction maintenance mais aussi dans les autres fonctions de l'entreprise. Les modes de fonctionnement que le cercle dynamique peut nous permettre de mettre en place sont souvent qualifiés de «classe mondiale» ou «d'excellence». Cette cible ultime se trouve au centre du cercle. Pour y arriver, il convient de développer de façon séquentielle les différentes bonnes pratiques.

La séquence de développement est représentée par les 3 cercles successifs qui composent le cercle dynamique.

**- Cercle extérieur**

Il reprend les bonnes pratiques «fondamentales». .

Ce sont celles qu'il convient de développer ou de consolider en premier lieu. Elles sont essentielles au développement solide et durable des bonnes pratiques des deux autres cercles.

**- Cercle central**

Ce sont les bonnes pratiques «consolidées», indispensables au bon développement des bonnes pratiques du cercle intérieur.

**- Cercle intérieur**

Ce sont les bonnes pratiques « avancées » qui permettent d'obtenir des performances de maintenance de « classe mondiale ». Ces bonnes pratiques ne peuvent être développées

durablement et efficacement que si l'ensemble des bonnes pratiques des cercles extérieurs est correctement développé. Les bonnes pratiques de management de la maintenance doivent être dynamiques et ne jamais être figées. Elles doivent s'adapter en permanence aux objectifs stratégiques de l'entreprise. Ces bonnes pratiques doivent être utilisées de façon dynamique par tous les acteurs de l'entreprise qui interviennent de près ou de loin dans l'amélioration permanente des performances de la maintenance. Bien entendu, cela suppose parfois des remises en cause profondes des modes de fonctionnement existants. Le cercle dynamique permet de suivre l'évolution des bonnes pratiques de façon participative. Enfin, il structure les actions en indiquant clairement quelles actions prendre et dans quel ordre de priorité. C'est la raison pour laquelle cette méthode s'adresse aux entreprises convaincues qu'atteindre l'excellence dans les bonnes pratiques de management est un véritable combat, qu'il faut mener tous les jours.

### **1.1.3.3 Axes fondamentaux du progrès en maintenance**

L'essor de la maintenance repose essentiellement sur 14 domaines d'ajustement et de développement continus, autrement dit 14 bonnes pratiques que nous considérons comme des axes fondamentaux du progrès en maintenance.

Une maintenance idéale est une maintenance qui :

- s'implique «à fond» dans l'amélioration du rendement de l'entreprise,
- connaît sa performance et la rapproche des objectifs,
- s'organise dans une logique de maintenance partagée avec une grande cohésion globale de l'usine,
- s'appuie sur un dosage préventif, curatif et amélioratif optimisé,
- considère toute panne comme une chance à exploiter,
- formalise sa pratique avec rigueur et sans excès,
- évolue dans un contexte matériel approprié,
- s'appuie sur des équipes compétentes et motivées,
- soigne le dialogue avec ses clients,
- développe l'aptitude technique des opérateurs à maîtriser la continuité de production,
- s'appuie à propos sur des entreprises extérieures dûment choisies,
- connaît parfaitement les coûts résultant de son action et les optimise,
- maîtrise son stock de pièces détachées,
- consacre le temps suffisant à l'amélioration de sa pratique.

### **1.1.4 Objectifs de la maintenance**

#### **1.1.4.1 Objectifs fondamentaux de la maintenance**

Nous pouvons identifier deux objectifs majeurs de maintien d'un site de production:

- l'un est à dominante économique : il consiste à réduire les dépenses et à travers elles, le budget du service.

- l'autre est à dominante opérationnelle: il consiste à améliorer la disponibilité du système productif et à travers elle, la productivité.

Autre aspect: ces deux objectifs peuvent se succéder ou peuvent coexister sur des équipements d'environnements économiques différents. Les deux objectifs supposent en commun la maîtrise technique de l'outil de travail, ainsi que la définition d'indicateurs et de critères qui permettent de mesurer objectivement les progrès obtenus. Si la maintenance est impliquée dans le processus de gestion de l'appareil de production pour assurer la continuité et la qualité de la production avec un coût minimum, dans ce cas, il s'agit alors d'améliorer à la fois la fiabilité des équipements et de réduire les temps de réparations. Le critère dominant devient alors la minimisation non plus du coût de défaillance qui est constitué par le coût de maintenance occasionnée par une panne, mais le coût de cette panne en termes d'arrêt de production (manque à gagner). Le but principal de la maintenance est donc de conserver les équipements, installations ou autres éléments de l'actif dans des conditions qui facilitent l'atteinte des objectifs que s'est fixée l'entreprise.

#### **1.1.4.2 Objectifs généraux**

Les objectifs poursuivis par la fonction maintenance résultent des objectifs généraux qui, dans le cas d'une entreprise portent essentiellement sur la rentabilité, la croissance, la sécurité, ainsi que sur des objectifs sociaux. La rentabilité apparaît toutefois comme prioritaire. En effet, c'est la condition impérative permettant, à long terme, d'atteindre les autres objectifs, en l'absence d'aide extérieure. La fonction maintenance doit donc, comme les autres fonctions, contribuer à la réalisation de cet objectif essentiel, à savoir la rentabilité et la compétitivité des entreprises et l'efficacité des administrations et services publics. De même, la sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance. La législation a édicté un certain nombre de réglementations. Toutefois, en raison de la croissance du progrès technologique, des équipements de type nouveau peuvent se trouver momentanément en avance sur la réglementation ; il incombera à la fonction maintenance, en liaison avec les responsables de la sécurité, d'établir les consignes internes.

### 1.1.4.3 Objectifs techniques de la maintenance

Ces objectifs dépendent essentiellement de la nature des entreprises considérées et de leurs impératifs d'exploitation. Ces impératifs sont donnés sur le tableau 1.1.

	Production par processus	Production/montage en série	Production par unités	Service de transport	Exploitation de services
Type d'équipement	Spécialisé haute technologie	Machines-outils courantes	Équipement spécialisé, spécifique à chaque étape de lancement des travaux	Parc relativement uniforme de technologie courante	Peu d'équipements propres mais des services auxiliaires
Impératif d'exploitation	Ne pas interrompre le flux, cela coûte cher	Maintenir chaque poste de travail à sa capacité maximale	A chaque nouvelle étape de la fabrication, l'appareillage nécessaire doit être disponible	Le nombre d'unités en révision doit être aussi faible que possible	A aucun moment les services ne doivent être arrêtés
Capacités particulières	Connaissance approfondie du processus spécialisé	Connaissance des principaux types de machines-outils	Assurer la disponibilité du matériel spécialisé pour chaque étape	Prévoir une rotation rationnelle qui permet l'entretien systématique	Assurer sans interruption la fourniture des services auxiliaires

**Tableau 1. 1 . Objectifs techniques de la maintenance. [25]**

### 1.1.4.4 Autres objectifs

Suivant leur nature, ces objectifs peuvent faire l'objet de projets à moyen ou long terme.

Exemples:

- objectif initial : sortir du cercle vicieux de l'entretien
- objectif réglementaire : se mettre en conformité avec des aspects réglementaires liés au secteur d'activité ;
- objectif sécuritaire : assurer la sécurité des biens, des hommes de maintenance, des utilisateurs ou des usagers;
- objectif qualité : rechercher une certification ISO 9000 ;

- objectif environnement : tout mettre en œuvre pour respecter l'environnement et/ou recherche de la certification ISO 14000;

- objectif patrimonial : conserver le système productif en état de durabilité exceptionnelle;

- objectif commercial : avoir des installations d'une propreté irréprochable à des fins commerciales ;

- objectif qualité totale : apporter la contribution de la maintenance à un projet «qualité totale» d'entreprise, en général par la mise en œuvre d'un projet TPM. [25]

### 1.1.5 Politique de maintenance dans l'entreprise

La politique est l'art de gouverner. La politique de maintenance consiste à définir les objectifs technico-économiques relatifs à la prise en charge du matériel d'une entreprise par le service maintenance. Il appartient au service maintenance d'adopter les bonnes pratiques de management et de mettre en œuvre les moyens adaptés à ces objectifs.

### 1.1.6 Organisation de la maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise : il s'agit de la centralisation et la décentralisation de la maintenance.

Les avantages et les inconvénients de chaque type d'organisation sont résumés dans le tableau 1.2.

	Avantages	Inconvénients
Centralisée	-Facilité de planning. -Facilité de surveillance. -Magasins bien équipés. -Contrôle effectif de la main-d'œuvre.	-Plus longue de déplacement. -Pas de spécialisation possible.
Décentralisée	-Service rapide. -Connaissance spécialisées. -Attention constante portée à l'installation. -Moins de paperasserie.	-Duplication des outils. -Double autorité. -Comptes rendus médiocres. -Mauvaise utilisation des compétences.

**Tableau 1.2 .** Avantages et inconvénients de la centralisation et la décentralisation de la maintenance

### 1.1.7 Niveaux de maintenance

Les cinq niveaux de maintenance définis par l'Afnor peuvent être réduits au nombre de trois, dans le cadre de la logique TPM :

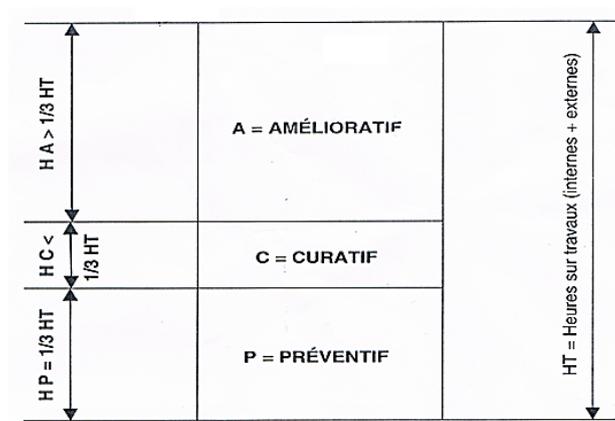
Niveau (TPM)	Niveau (AFNOR)	Types de travaux	Personnel concerné	Moyens
Niveau 1	1	Réglage simple d'équipements accessibles sans démontage. Echange d'éléments.	Opérateur système sur place.	Outillage léger défini dans la notice d'utilisation.
	2	Réparation ou dépannage par échange standard. Opérations simples de prévention.	Technicien habilité sur place.	Outillage standard et pièces de rechange situées à proximité.
Niveau 2	3	Identification des origines de pannes. Echange de composants fonctionnels.	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance.	Outillage et appareils de mesure.
	4	Travaux importants de maintenance préventive et corrective. Révision.	Equipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central.	Outillage général, spécial.
Niveau 3	5	Travaux de rénovation, de reconstruction et de réparations importantes, confiés aux sous-traitants.	Equipe polyvalente complète, en atelier central.	Moyens importants proches de ceux du constructeur.

**Tableau 1. 3 .** Niveaux de maintenance dans une logique TPM [23]

**1.1.8 Efficacité de la maintenance**

Une bonne efficacité de la maintenance est obtenue par une équipe opérationnelle qui consacre :

- 1/3 de son temps à effectuer du préventif programmé ;
- Moins du 1/3 du temps à effectuer du curatif ;
- Plus du 1/3 du temps à l'amélioratif programmé.



**Figure 1. 4.** Equilibre de l'activité maintenance [59]

1.2 Méthodes et techniques de maintenance

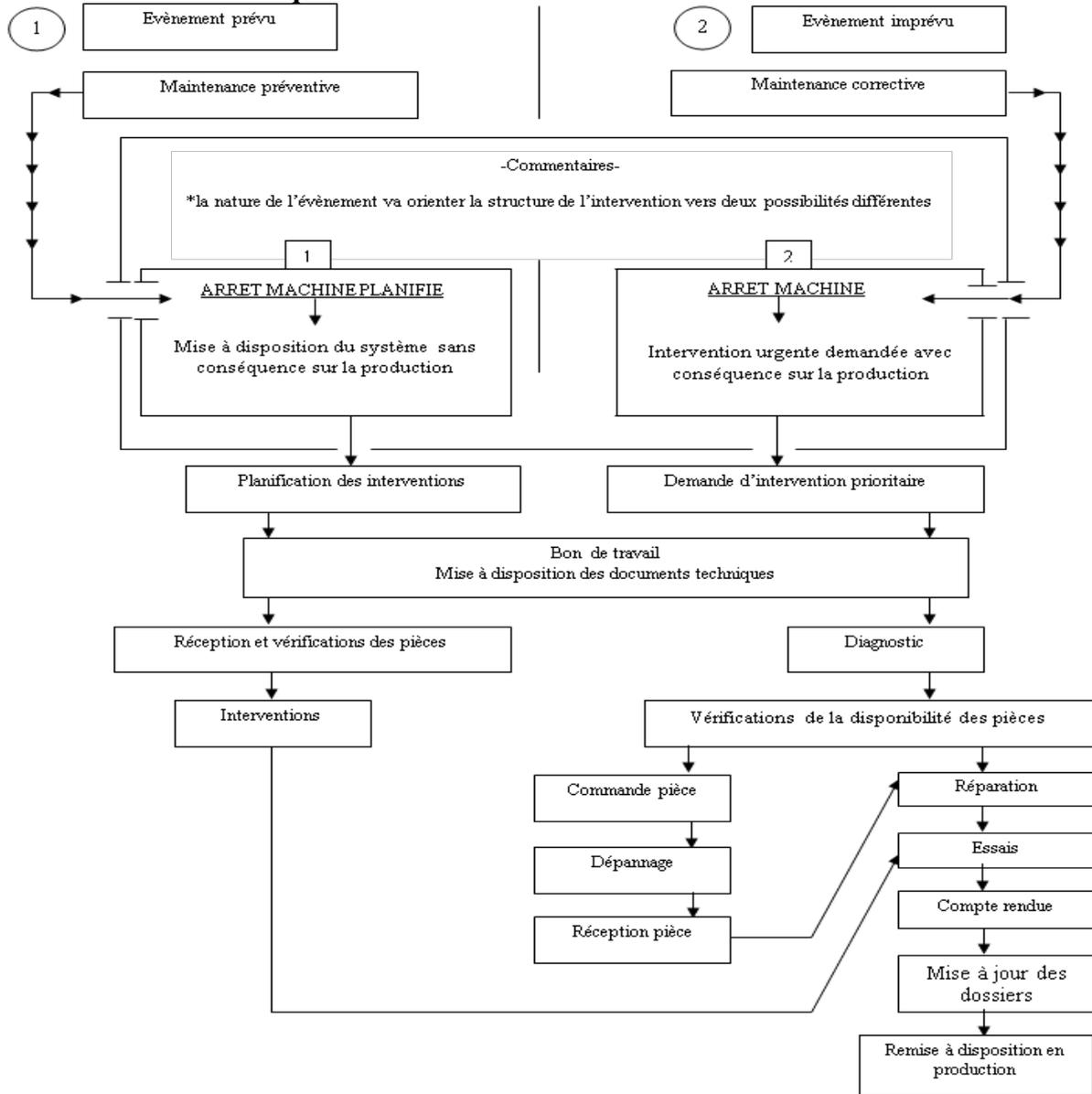


Figure 1. 5 . Schéma d'intervention de maintenance[18]

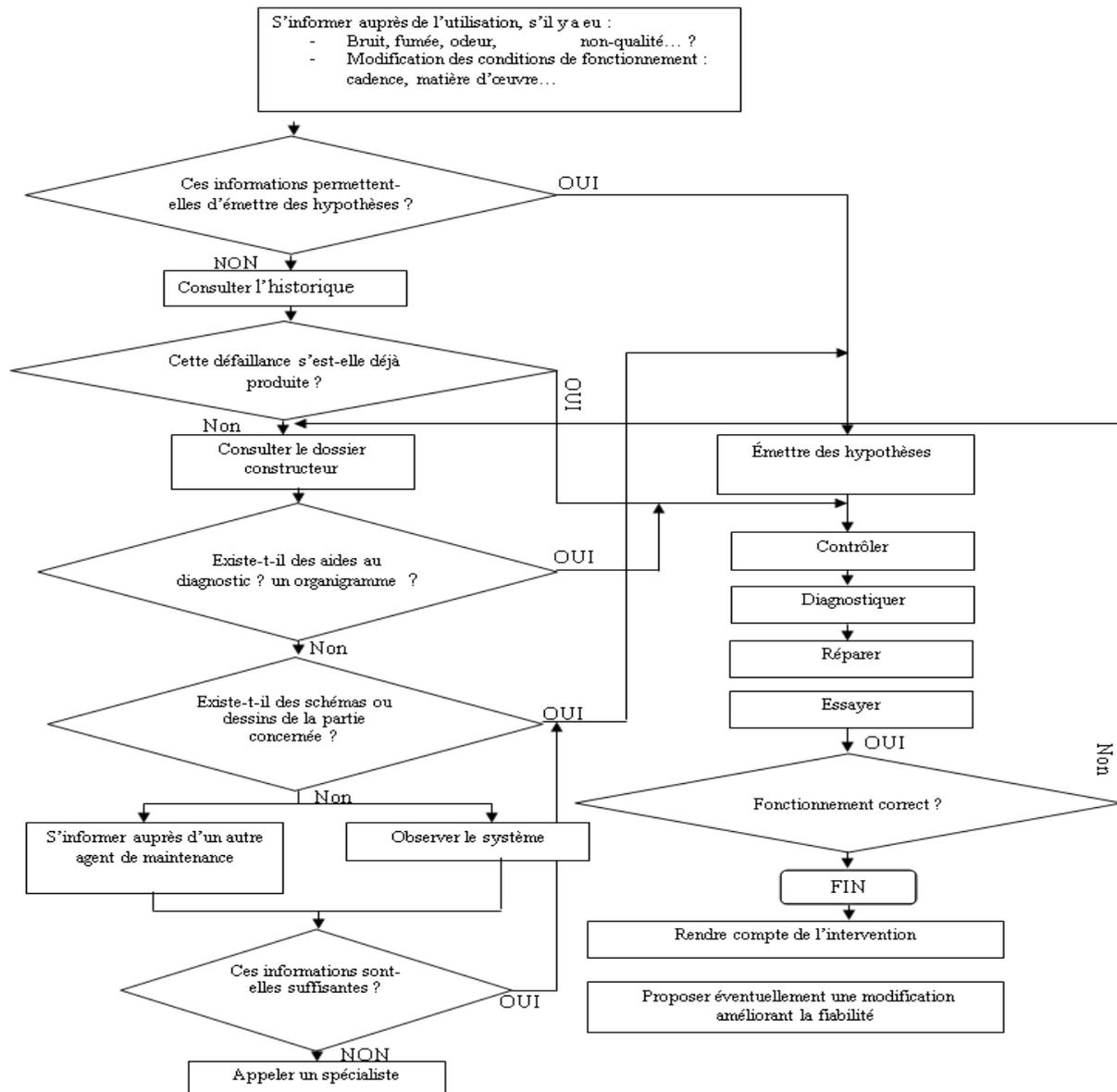


Figure 1. 6 . Procédure en cas de dysfonctionnement [18]

### 1.2.1 Maintenance corrective

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

La maintenance corrective comprend en particulier :

- la localisation de la défaillance et son diagnostic ;
- la remise en état avec ou sans modification ;
- le contrôle du bon fonctionnement.

#### 1.2.1.1 Maintenance palliative

Ensemble des activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise.

Appelée couramment «dépannage», la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

#### **1.2.1.2 Maintenance curative**

Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent.

Ces activités peuvent être :

- des réparations ;
- des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer les défaillances.

#### **1.2.2 Maintenance préventive**

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage ; et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service.

##### **1.2.2.1 Maintenance préventive systématique**

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

##### **1.2.2.2 Maintenance préventive conditionnelle**

Maintenance préventive subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien. Le franchissement du seuil peut être mis en évidence par l'information donnée par un capteur ou par tout autre moyen.

##### **1.2.2.3 Maintenance de ronde**

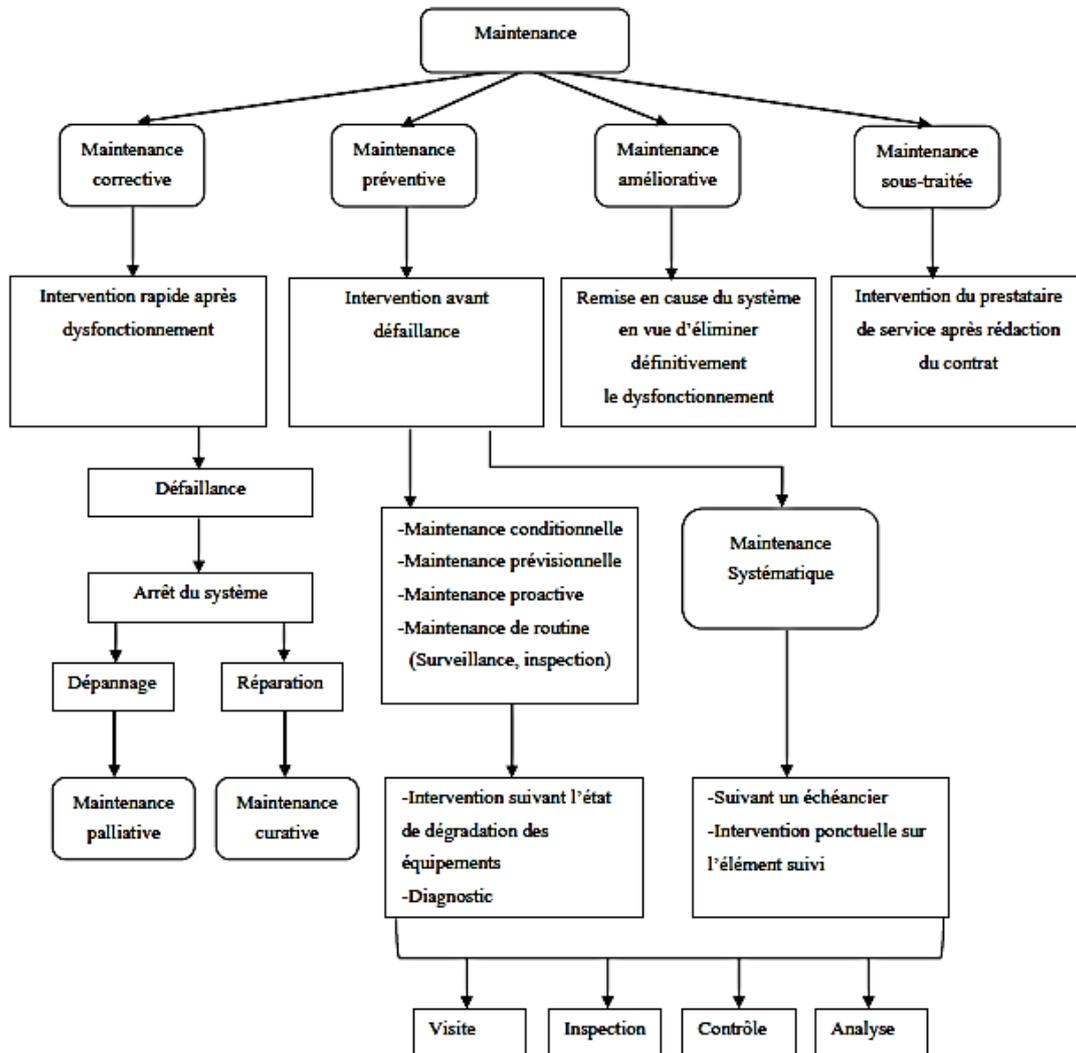
La maintenance de ronde consiste en des vérifications précises, visuelles ou instrumentées tels que les graissages périodiques, la maintenance de premier et de deuxième niveau, de plus en plus intégrée dans les tâches des opérateurs, les visites périodiques des machines importantes, le remplacement périodique des pièces d'usure.

##### **1.2.2.4 Maintenance prévisionnelle**

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

**1.2.2.5 Maintenance proactive**

La maintenance proactive est un terme pour désigner le renforcement des maintenances préventive et prévisionnelle. Ainsi, dans cette forme de maintenance, la maintenance prévisionnelle est utilisée pour repérer les causes des problèmes survenant sur les machines ou les processus. Cette modalité de maintenance fournit à l’expert un moyen pour créer une réduction efficace du temps total de pannes des équipements. En fait, dans ce type de maintenance, les équipements fonctionnent presque sans subir d’arrêt non planifié.



**Figure 1. 7 . Méthodes de maintenance**

Source : notre élaboration

**1.2.3 Travaux neufs**

Lors de tout investissement additionnel de remplacement ou d’extension, il est logique de consulter les spécialistes de la maintenance qui d’une part, connaissent bien le matériel anciennement en place, et d’une part, auront à maintenir en état de marche le matériel nouveau.

L'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre. Il peut s'agir de la construction d'un quai ou d'un bâtiment, de la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur (raccordement à la source d'énergie...),

#### **1.2.4 Maintenance sous traitée**

Certaines entreprises ont opté pour le choix de la sous-traitance totale avec des obligations de résultats. L'entreprise prestataire peut elle-même sous-traiter certaines activités nécessitant des compétences pointues et, éventuellement, prendre en charge les stocks de pièces de rechange. L'avantage de ce type de maintenance est d'accroître les gains qui peuvent être obtenus par une diminution du nombre d'interfaces et d'intervenants de corps de métier différents.

1.2.5 Synthèse des principales formes de maintenance et leur impact économique

Formes de maintenance		Influe sur :				
		Charges variables	Charges fixes	Rendement	Réduction de pénalisation	
Maintenance corrective	Dépannage	(+)	0	(+)	(-)	
Palliative curative	Remise à l'état	(+)	(++)	(++)	(-)	
	Mise au rebut	(+)	(++)	(+++)	(-)	
	(+) préparation d'échanges standards	0	(+++)	(++)	(++)	
	(+) mise en place d'une redondance	0	(+++)	(+++)	(+++)	
Maintenance préventive	Lubrification/ entretien	(++)	0	(+)	(+)	
	Vérification visuelle	0	0	(+)	(+)	
	Contrôle/ test	(++)	(++)	(++)	(++)	
	Systématique	Remplacement régulier	(+)	(+++)	(+++)	(-)
		Remise en état régulière	(+)	(++)	(++)	(-)
		Tâche régulière	(+)	(++)	(++)	(-)
Conditionnelle	Lubrification/ entretien	(++)	0	(+)	(+)	
	Vérification visuelle	0	0	(+)	(+)	
	Contrôle/ test	(++)	(++)	(++)	(++)	
	Remise en état	(+)	(++)	(++)	(-)	
	Prévisionnelle	Contrôle/ test	(++)	(++)	(++)	(++)
		Analyse des résultats	(+)	(++)	(++)	(-)
Remise en état		(+)	(++)	(++)	(-)	
Modification/reconception	(+) préparation d'échanges standards	0	(+++)	(++)	(++)	
	(+) mise en place d'une redondance	0	(+++)	(+++)	(+++)	
		(-)	(+++)	(++)	(+++)	
Sous-traitance		(++)	0	(+)	(+)	

Note :(+++) impact très important(++) impact important(+) impact plutôt important  
0 impact nul (-) impact négatif

Figure 1. 8 . Principales formes de maintenance et leur impact économique [59]

## **1.2.6 Opérations de maintenance**

Les opérations de maintenance peuvent être classées de la manière suivante [20]

### **1.2.6.1 Opérations de la maintenance corrective**

#### **1.2.6.1.1 Dépannage**

Action sur un matériel en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder des résultats provisoires avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas, elle sera suivie de la réparation.

#### **1.2.6.1.2 Réparation**

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

### **1.2.6.2 Opérations de la maintenance préventive**

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions :

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations de nettoyage, de dépollution et de traitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend d'inspection , de contrôle et de visite.
- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations de révision partielle et de révision générale.
- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations de mise en conservation, de mise en survie et de mise en service.

#### **1.2.6.2.1 Entretien**

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le traitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée.

#### **1.2.6.2.2 Surveillance**

Opération nécessaire pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuée de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

### **1.2.6.2.3 Contrôle**

Le contrôle est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :

- comporter une activité d'information,
- inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des actions correctives.

### **1.2.6.2.4 Visite**

La visite est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

### **1.2.6.2.5 Révision**

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (Révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance.

### **1.2.6.2.6 Préservation**

Elle comprend les opérations suivantes :

- la mise en conservation qui est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.
- la mise en survie qui est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.
- la mise en service qui est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

## **1.3 Méthodes stratégiques et contemporaines de la maintenance**

### **1.3.1 Présentation de la MBF**

La MBF est une méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques.

La MBF, est connue sous l'appellation militaire RCM (Reliability Centred Maintenance), ou en France sous le nom d'OMF (Optimisation de la Maintenance par la fiabilité). Elle constitue principalement une méthode qui est largement exploitée par plusieurs constructeurs automobiles tels que Peugeot et Renault.

### **1.3.1.1 Objectifs de la MBF**

L'objectif de la MBF est de proposer aux entreprises une démarche structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées, Cela à partir d'une démarche participative afin d'améliorer la disponibilité des équipements. L'objectif principal est clair : améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif "allant à l'essentiel", mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance.

### **1.3.2 Principes de la MBF**

#### **1.3.2.1 Principe d'auto-limitation**

Le principe d'auto-limitation ou de sélection systématique des criticités s'applique à des niveaux successifs : les équipements, les sous-ensembles fragiles, les défaillances, leurs causes puis les tâches de maintenance.

#### **1.3.2.2 Principe de subordination**

C'est le principe de subordination des tâches de maintenance préventives à la connaissance fiabiliste des défaillances et de leurs causes. On ne peut bien anticiper que ce que l'on a appris à bien connaître. En effet, la MBF est une méthode reposant essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes. D'où l'utilisation des expertises de défaillance et de retours d'expérience en nombre suffisant pour être significatif. Ce principe de subordination justifie le nom choisi de la maintenance basée sur la fiabilité.

#### **1.3.2.3 Principe de participation des acteurs concernés**

La méthode repose sur la constitution de groupes MBF mixtes impliquant aussi bien les agents de maintenance que ceux de production et de la qualité. L'adhésion de tous est nécessaire à la démarche qui est donc de type participative. En particulier, les estimations des criticités relatives sur lesquelles repose la hiérarchisation des problèmes impliquent les regards et les

expériences croisés des acteurs. De même, la sélection des seules actions efficaces et applicables implique le regard des exploitants qui mettront en œuvre ces actions. La mise en place de ces groupes est volontairement limitée dans le temps, une fois les actions préventives définies et validées.

### 1.3.3 Outils de la MBF

L'approche MBF utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues tel que la matrice de criticité, les grilles d'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) et le logigramme de décision :

- la matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité,

- la grille AMDEC définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets,

- le logigramme de décision sert, en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre.

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

### 1.3.4 Etapes de la MBF

Les étapes de la MBF sont représentées sur la figure 1.9

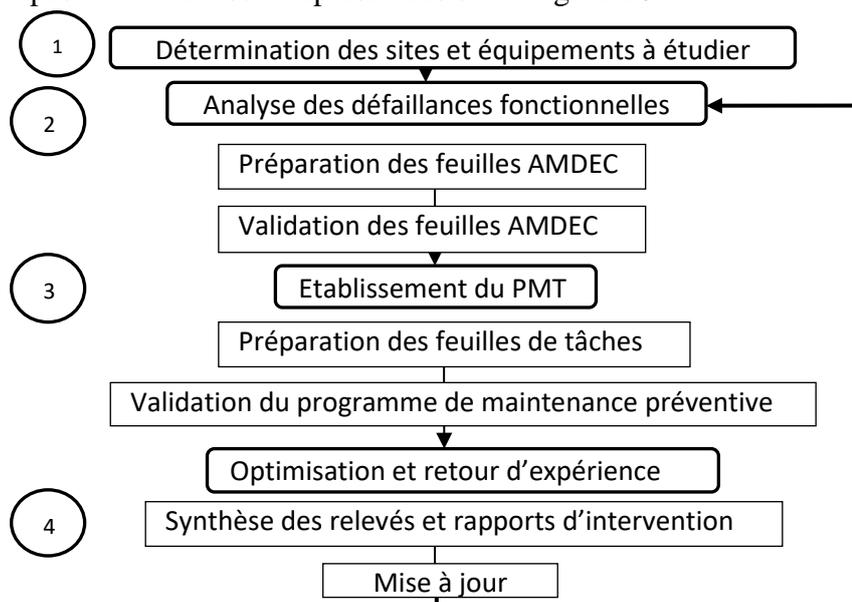


Figure 1. 9 . Etapes principales de la méthode MBF [129]

De même, des groupes sont constitués :

Le "MBF groupe équipement" est chargé du recueil des données sur le terrain. Il comprend des personnes venant des services production et maintenance qui connaissent le mieux l'équipement étudié. Après l'analyse de l'équipement par un « groupe pilote », il valide et définit les actions de maintenance à entreprendre et élabore les actions préventives à mettre en place ainsi que leur répartition entre la production et la maintenance.

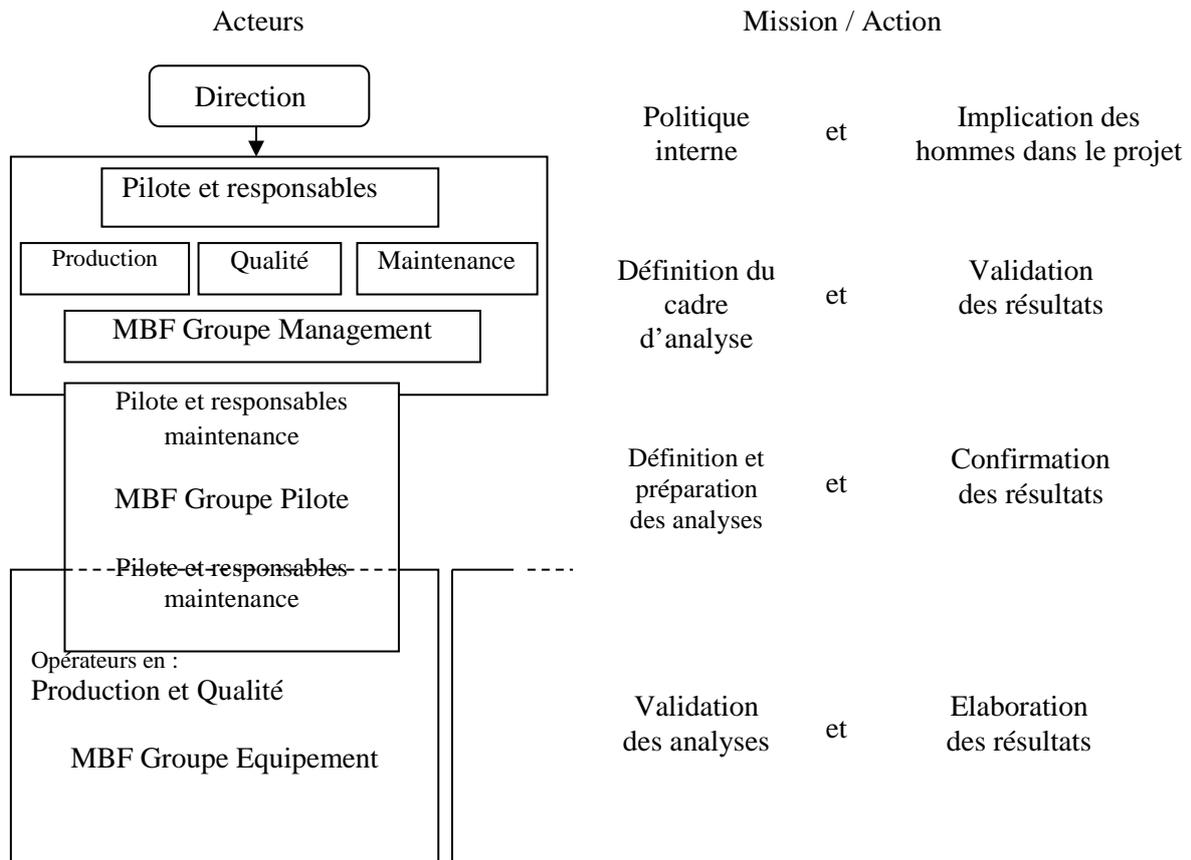


Figure 1. 10 . Acteurs de la démarche MBF [129]

### 1.3.5 Démarche TPM

La TPM a été mise en place dans les années 1970 par la société Nippon Denso, avec l'aide du cabinet JMA (Japan Management Association) au Japon. Cette démarche était centrée sur l'amélioration du fonctionnement des équipements par l'amélioration de la fiabilité et de la disponibilité des machines. Au fur et à mesure de l'extension de cette démarche au Japon et dans le reste du monde industrialisé, le succès aidant, le concept s'est élargi pour finalement, de nos jours, considérer la TPM comme une démarche de management performante[28] La TPM d'origine a été médiatisée par Seichi Nakajima (Directeur de JIPM, Japan Institute of Plan Maintenance). De ce concept découle de grosses évolutions dans l'entreprise, où la maintenance

est l'affaire de tous, ce qui se traduit par le fait que l'exploitant assure une partie des tâches dites de « maintenance de conduite ou de niveau 1 », comme le graissage, la surveillance, le nettoyage, le contrôle. Ce succès est dû à plusieurs facteurs : d'abord, les résultats probants obtenus par les entreprises pilotes, à savoir, des améliorations de productivité de plus de 30 % ensuite, l'instrumentation de cette démarche, par la mise en place du prix P.M, décernés par le JIPM, qui reconnaissent la dynamique de progrès créée par la TPM. Cette dernière s'inscrit dans une stratégie de zéro défaut , zéro délai , zéro stock et zéro panne .

### 1.3.5.1 Définition et caractéristiques de la TPM

La méthode japonaise TPM est une méthode spécifique de maintenance qui vise à réduire les coûts de fabrication. Il s'agit essentiellement de la maintenance productive à la totalité du personnel de l'entreprise, en suivant une démarche analogue à celle du management par la qualité totale ou Totale Quality Management (TQM) où la recherche de la qualité devient l'affaire de la totalité du personnel et pas seulement du service qualité.

Les trois leviers qu'utilise la TPM sont la disponibilité, la performance et la qualité.

La signification de « Maintenance Productive Totale » est la suivante :

-Maintenance : maintenir en bon état, c'est-à-dire réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire ;

-Productive : assurer la maintenance tout en produisant, ou en pénalisant le moins possible la production ;

-Totale : considérer tous les aspects et y associer tout le monde.

Au-delà du simple maintien en bon état des machines, l'esprit TPM pousse à les modifier et les améliorer.

-D'après Nakajima [112], il est normal de faire d'abord référence au promoteur de la méthode, qui définit la TPM en cinq points :

- . la TPM a pour objectifs de réaliser le rendement maximal des équipements ;
- . la TPM est un système global de maintenance productive, pour la durée de vie totale des équipements ;
- . la TPM implique la participation de toutes les divisions, notamment l'ingénierie, l'exploitation et la maintenance ;
- . la TPM utilise les activités des cercles comme outil de motivation.

Il existe d'autres définitions parmi les nombreuses qui ont fleuri ces dernières années :

-Pour Renault, la TPM est la recherche permanente de l'amélioration des performances des équipements de production par une implication concrète au quotidien de tous les acteurs ».

-Pour Sollac (topomaintenance) : « c'est un ensemble de principes et de méthodes qui s'inscrit dans la démarche qualité totale. Elle doit mobiliser toute l'entreprise pour obtenir le rendement maximal possible des équipements sur toute leur durée de vie. C'est aussi la prise en charge au quotidien par des acteurs pour maintenir ces outils en conformité ».

### 1.3.5.2 Objectifs de la TPM

La TPM a pour objectif de régénérer la culture de l'entreprise par l'amélioration des ressources humaines et du système de production. [28].

Cette culture d'entreprise s'appuie sur de nouvelles exigences :

- ne plus accepter de pannes et de conflits structurels entre production et maintenance.
- supprimer l'idée de fatalité,
- ne plus accepter « l'à-peu-près » dans la propreté et l'état des équipements,
- rechercher la cause première des problèmes,
- avoir en permanence le souci d'amélioration.

Ce changement de culture consiste à rendre le manager des ressources de production responsable de la qualité des équipements, du savoir-faire du personnel et de l'efficacité de son organisation. C'est aussi rendre les opérateurs responsables de la qualité de leur équipement c'est-à-dire :

- les utiliser conformément aux conditions de base, les nettoyer, surtout aux endroits stratégiques,
- détecter et signaler les prémices des dégradations, les réparer eux-mêmes lorsque c'est possible.

Cela nécessite bien entendu de les former, de leur attribuer le temps nécessaire et d'avoir un management capable de réagir rapidement lorsqu'un dysfonctionnement lui est signalé ou lorsqu'une proposition d'amélioration est faite.

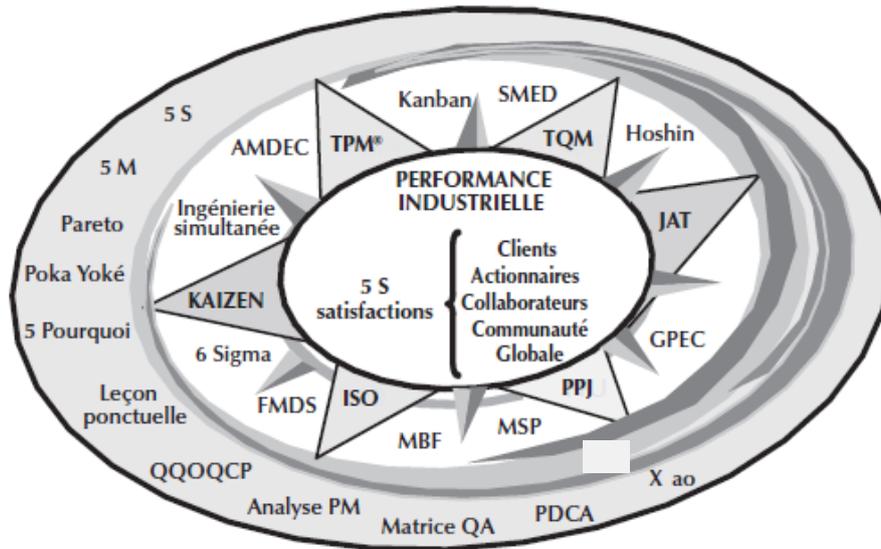


Figure 1. 11 . TPM et démarches de progrès[28]

### 1.3.5.3 Principes et piliers de la TPM

La connaissance de cinq principes est essentielle à la compréhension de la démarche TPM ; ils débouchent sur l'élaboration de huit piliers qui vont permettre de construire la démarche, d'en retirer les bénéfices et de les pérenniser.

Chaque pilier a sa propre stratégie et s'appuie sur des méthodes et outils spécifiques.

#### Principe n°1 : atteindre l'efficacité maximale du système de production

Pour cela, il est indispensable :

- de supprimer les causes de pertes de rendement: c'est réduire à zéro les pertes qui empêchent d'obtenir l'efficacité maximale des hommes, des équipements, des matières et de l'énergie. C'est bien entendu cette action qui apportera les gains financiers à condition de détecter et de traiter les vrais problèmes et de mobiliser toute l'entreprise.

La suppression des pertes fait l'objet du :

**pilier n°1** : amélioration au cas par cas.

- de supprimer toutes les causes spéciales ou chroniques de diminution de la fiabilité intrinsèque des équipements : la TPM ne veut pas transférer des opérations de maintenance vers la production. Son objectif est de rendre les opérateurs responsables de la qualité de leur équipement en évitant les dégradations forcées dues au non-respect des conditions d'utilisation, aux négligences de production et de maintenance. Cette action permet de retrouver la fiabilité intrinsèque des équipements est réalisée à partir du :

**pilier n°2** : maintenance autonome.

- de prévenir les défaillances naturelles: tant qu'il existe des causes de dégradations forcées et que les points faibles des équipements n'ont pas été supprimés, la maintenance préventive est peu efficace et coûteuse. Lorsque les responsables maintenance acceptent de remettre en cause leur organisation à partir du contenu de ce pilier, ils constatent qu'ils ont « brûlé » des étapes et oublié beaucoup de points essentiels. Cette action concerne le **pilier n°3** : maintenance planifiée.
- d'améliorer les connaissances et le savoir-faire des opérateurs et des techniciens de maintenance: pour les opérateurs, il s'agit d'améliorer leurs compétences et leur savoir-faire de production et de maintenance. C'est leur faire comprendre la relation entre qualité de l'équipement et qualité du produit. C'est aussi leur faire comprendre pourquoi il faut faire telle chose et leur donner envie de respecter les standards, d'où le **pilier n°4** : amélioration du savoir-faire et des connaissances.

**Principe n°2: démarrer rapidement les nouveaux produits et les nouveaux équipements**

La maîtrise des ressources de production, le savoir-faire du personnel de production et de maintenance, la logique d'amélioration permanente sont utilisés dans la conception de produits faciles à fabriquer et d'équipements faciles à utiliser et à entretenir. Cette aptitude permet de réagir au raccourcissement des cycles de vie des produits. Ce principe est défini par **pilier n°5** : maîtrise de la conception.

**Principe n°3: assurer zéro défaut, zéro panne et le TRS maximum**

Le développement des quatre premiers piliers permet d'améliorer la performance, mais les phénomènes chroniques persistent et les résultats sont en dents de scie. Le pilier correspondant est le :

**pilier n°6** : maîtrise de la qualité.

**Principe n° 4: obtenir l'efficacité maximale des services fonctionnels**

Ce pilier rejoint le TQM (Total Quality Management), la qualité totale qui constatent que l'entreprise est composée de couples clients/fournisseurs et que la performance d'un service n'entraîne pas toujours la performance de l'entreprise. C'est la production qui fabrique la valeur ajoutée, il est donc nécessaire que tous les services fonctionnels l'aide à obtenir la performance maximale. Ce principe est mis en œuvre dans le :

**pilier n°7** : application de la TPM dans les services fonctionnels.

**Principe n°5: maîtriser la sécurité, les conditions de travail et respecter****l'environnement**

La performance des ressources de production passe aussi par ces exigences qui se traduisent aujourd'hui par la certification environnement ISO 14001, sécurité et conditions de travail (OHSAS 18001). C'est aussi rendre le travail moins pénible, moins salissant, moins dangereux. En matière d'accidents, une entreprise ne peut se fixer un objectif autre que "le zéro accident".

C'est l'objet du :

**pilier n°8** : sécurité, conditions de travail et environnement.

Bien entendu la démarche TPM débutera par les deux premiers piliers :

- l'élimination des causes de pertes qui fait gagner de l'argent à l'entreprise et qui permet de mobiliser l'ensemble de l'entreprise ;
- la gestion autonome des équipements qui permet de voir les vrais problèmes et d'intéresser le personnel production et maintenance. L'avancement de ces deux piliers exigera naturellement le développement des piliers 3 et 4.

**1.3.5.4 Etapes de la TPM**

Le lancement d'un programme de mise en œuvre de la TPM constitue au Japon une opération importante. En effet, la TPM couvre plus que la simple fonction maintenance. Elle commence d'abord par l'information de l'ensemble du personnel. Dans certaines grandes entreprises japonaises, un tel programme peut s'échelonner 2 à 4 ans. L'information et la motivation du personnel fait d'abord l'objet de divers séminaires auxquels participent les cadres et les techniciens[25].

Phases	Étapes	Points-Clés
Travaux préparatoires	1. La Direction annonce sa décision d'introduire la TPM	Au cours d'un comité de direction
	2. Campagne d'information sur la TPM	Séminaires pour les divers niveaux, groupes de travail
	3. Création d'une structure de promotion de la TPM	Groupes de travail spécialisés
	4. Définition des lignes d'action et des objectifs chiffrés	Objectifs techniques et économiques
	5. Etablissement d'un plan directeur	Plan détaillé
Début d'introduction	6. Lancement de la TPM	Inviter les clients, les filiales, compagnies associées...
Mise en œuvre de la TPM	7. Amélioration de l'efficacité de chaque machine	Sélection formation de groupes de projet
	8. Développement de la maintenance autonome	Méthode de base évaluation et certificat
	9. Optimisation de la gestion du service maintenance	Maintenance systématique « prédictive », optimisation des règles, de la gestion des échanges
	10. Formation complémentaire des opérateurs à la maintenance	Stage pour les chefs d'équipes, qui retransmettent aux opérateurs
	11. Création d'un système de gestion de la conception des équipements	Prévention de la maintenance au stade de la conception « Life-Cycle-Cost »
Consolidation	12. Définition d'un nouveau programme TPM	Présentation au concours de maintenance. Définition d'objectifs plus ambitieux

Tableau 1. 4 . Etapes d'un programme TPM au Japon[25]

Niveau	Participation	Durée	Buts poursuivis	Résumé du contenu	Animateurs
Direction	Top Management Directeurs	2 jours	Comprendre la nature de la TPM et voir l'importance du rôle de la direction à chaque étape du programme	-Caractéristiques de la TPM -Les 12 étapes d'un Programme TPM. -Les piliers du développement de la TPM. -Rôle de la Direction dans le développement de la TPM.	JIPM
Cadres	Cadres	2fois 3 jours	Comprendre la nature de la TPM et maîtriser les méthodes spécifiques de la TPM	-Caractéristiques des 12 étapes du programme -Comment améliorer l'efficacité de l'entreprise - Concept « zéro panne » - Concept et la mise en œuvre de la « maintenance autonome » -Méthodes évoluées de maintenance -Management au stade de la conception -« Maintenance de qualité »	JIPM
Instructeur	Cadres ayant suivi le stage précédent	3 jours	Qualification comme instructeur au stage d'animateur de groupe	-Grandes lignes du stage animateur de groupe -Formation pratique -Préparation du guide d'instruction personnel	JIPM
Animation de groupe	Techniciens, animateurs de « petits groupes »	2 jours	Maîtriser les méthodes spécifiques de mise en œuvre de la TPM	-Qu'est-ce que la TPM ?. -Détermination de l'efficacité des équipements. -Objectif « zéro panne » -Comment mettre en œuvre la maintenance autonome. -Méthodes de maintenance. -Recherche de l'utilisation optimale des équipements.	JIPM

**Tableau 1. 5 .** Contenu des séminaires initiaux sur la TPM [25]

L'étape 10 du programme TPM concerne la formation complémentaire des opérateurs à la maintenance. Il s'agit d'une formation échelonnée dans le temps, que reçoivent les chefs d'équipes, et que ces derniers retransmettent ensuite aux opérateurs.

Le programme de formation des opérateurs établi par la Japan Management Association comprend les sept unités de formation suivantes :

- a) pneumatique 1 : tuyauteries, huileurs, filtres.
- b) pneumatique 2 : vannes, vérins.
- c) lubrifiants : types, usages.
- d) éléments constitutifs : boulons, écrous.
- e) électricité : détectrice de fin de course.
- f) énergie motrice : moteurs, réducteurs, transmissions.
- g) hydraulique : vannes, vérins.

Chaque unité de formation porte sur cinq semaines et comprend les quatre phases suivantes :

- A) analyse des structures et fonctions.
- B) mesures.
- C) vérification avec formateur.
- D) vérification sans formateur.

Comme indiqué précédemment, la formation porte d'abord sur les chefs d'équipes, qui la retransmettent ensuite aux opérateurs suivant le planning ci-après :

Semaines		1	2	3	4	5
Formation des chefs d'équipes	Phase durée	A	B	C	D	
	(heures)	2	2	2	2	
Retransmission aux opérateurs	Phases durée		A >1.5	B >1	C >1.5	D >1.5
	(heures)					

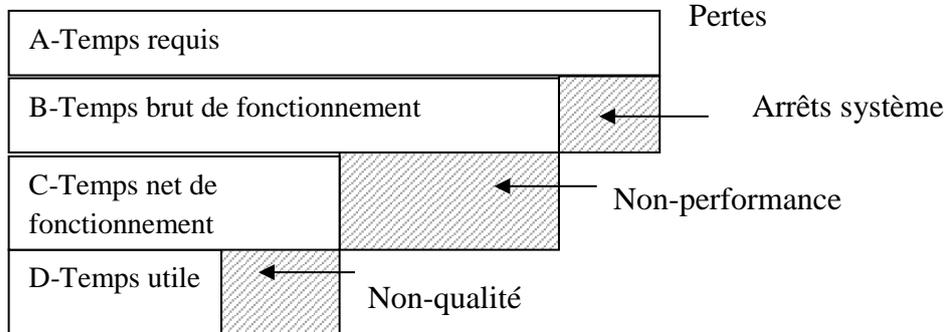
**Tableau 1. 6 .** Planning de formation des chefs d'équipe et les opérateurs [25]

La formation complémentaire des opérateurs dure ainsi trente cinq semaines, à raison d'une à deux heures par semaine. Avec la méthode TPM, le service maintenance libéré des opérations simples prises en charge par les opérateurs peut affiner sa gestion, en particulier en y appliquant les méthodes et les techniques de pointe.

### 1.3.5.5 Indicateur de la TPM

L'indicateur TRS met en évidence l'efficacité de la TPM comme outil d'amélioration de compétitivité de l'entreprise.

- Forme générale de l'indicateur TRS



La formule du Taux de Rendement Synthétique est :

$$\text{TRS} = \frac{D}{A} = \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C} \quad (1.1)$$

Taux brut de
Taux de
Taux de  
fonctionnement
performance
qualité

**Figure 1. 12** Composantes du TRS [159]

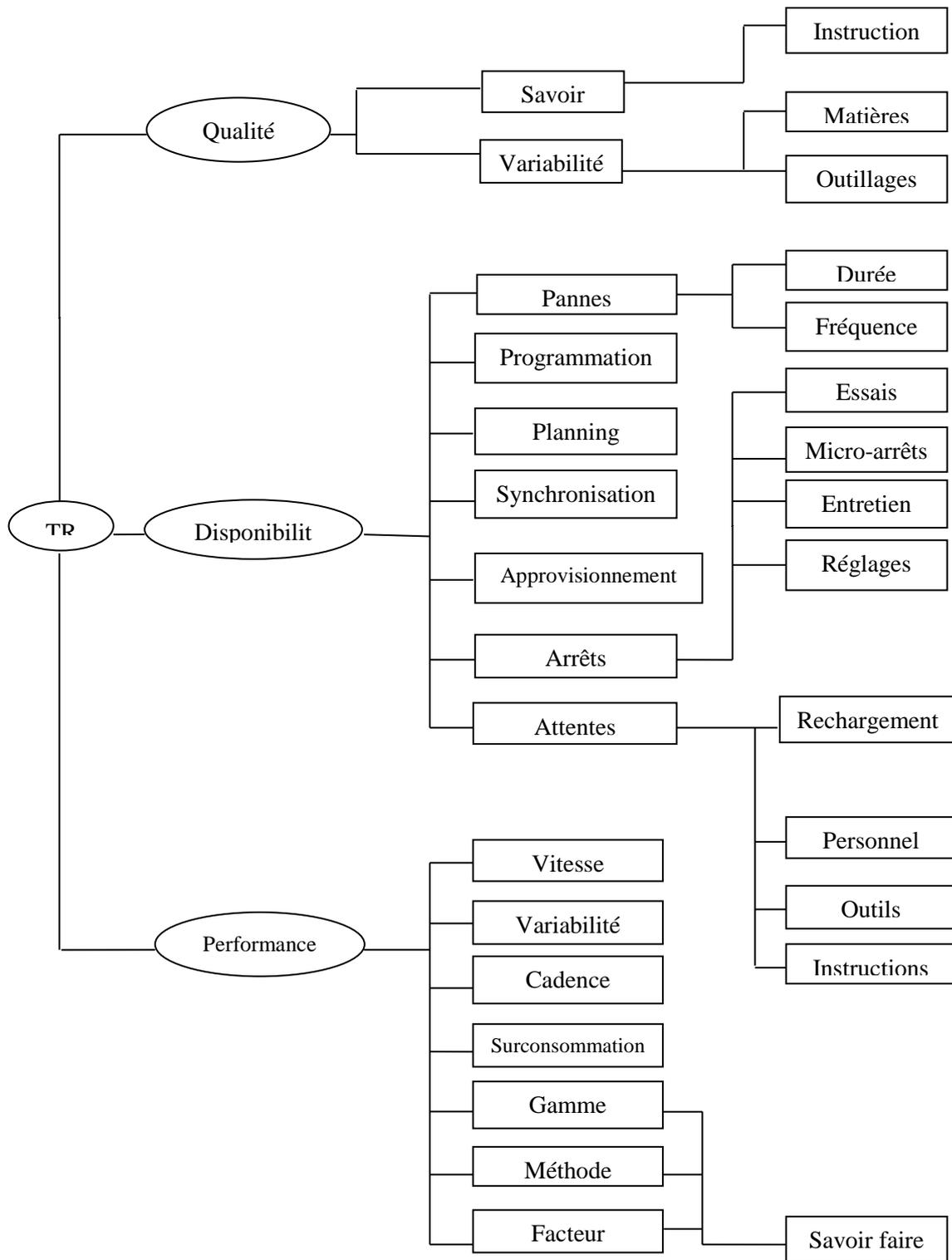


Figure 1. 13 Éléments clé du TRS [81]

**Conclusion**

Dans ce premier chapitre, nous avons passé en revue les généralités sur la maintenance, en parcourant son évolution, sa mutation, ses objectifs ainsi que par ses différentes techniques et opérations. Après avoir rappelé les principales formes de maintenance, nous avons procédé à leur synthèse, en soulignant leur impact économique. Nous avons également évoqué les bonnes pratiques du management de la maintenance et son efficacité. Nous avons terminé ce chapitre par l'introduction et la présentation de deux méthodes stratégiques et contemporaines, à savoir, la MBF et la TPM, en vue de leur application.

**Chapitre 2**

**Qualité et maintenance**

**au service de l'entreprise**

## Introduction

Dans le domaine de la gestion industrielle, la qualité a beaucoup évolué ces dernières décennies. Initialement, sa tâche principale concernait le contrôle de conformité des produits. Par la suite, on s'est intéressé à l'organisation de la structure de l'entreprise, afin de donner plus de confiance aux clients. Désormais, le rôle de la qualité dépasse la seule qualité liée au produit ; elle intéresse l'ensemble des fonctions de l'entreprise, notamment la fonction maintenance. En effet cette fonction apparait aujourd'hui, comme une source potentielle de profit et comme un élément indispensable à la maîtrise de la qualité. On trouve également, dans tous les domaines des processus continus, une liaison directe à un moment ou à un autre, entre l'action de la maintenance et la qualité du produit [85].

### 2.1 Importance du management de la qualité

#### 2.1.1 Exigence du système de management de la qualité

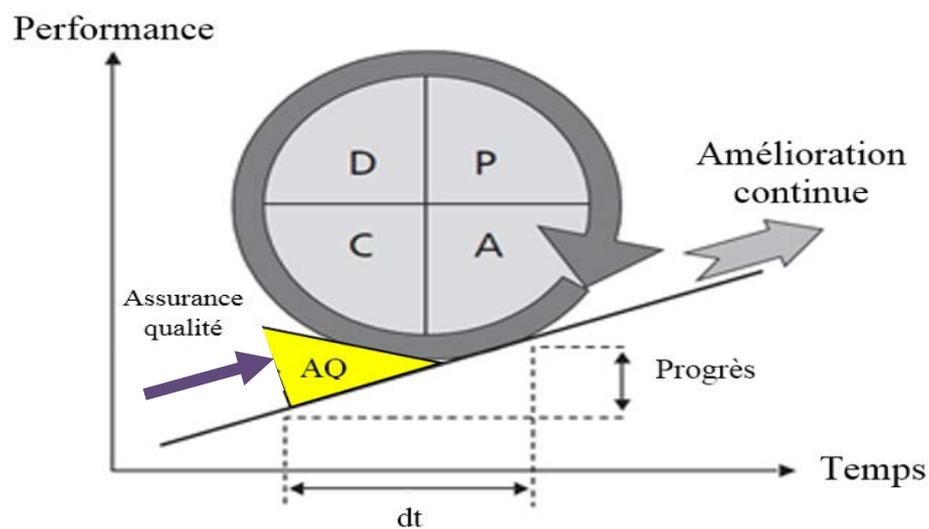


Figure 2.1 . Cycle PDCA (Roue de Deming) [24]

## 2.1.2 Concepts qualité

### 2.1.2.1 Environnement qualité de l'entreprise

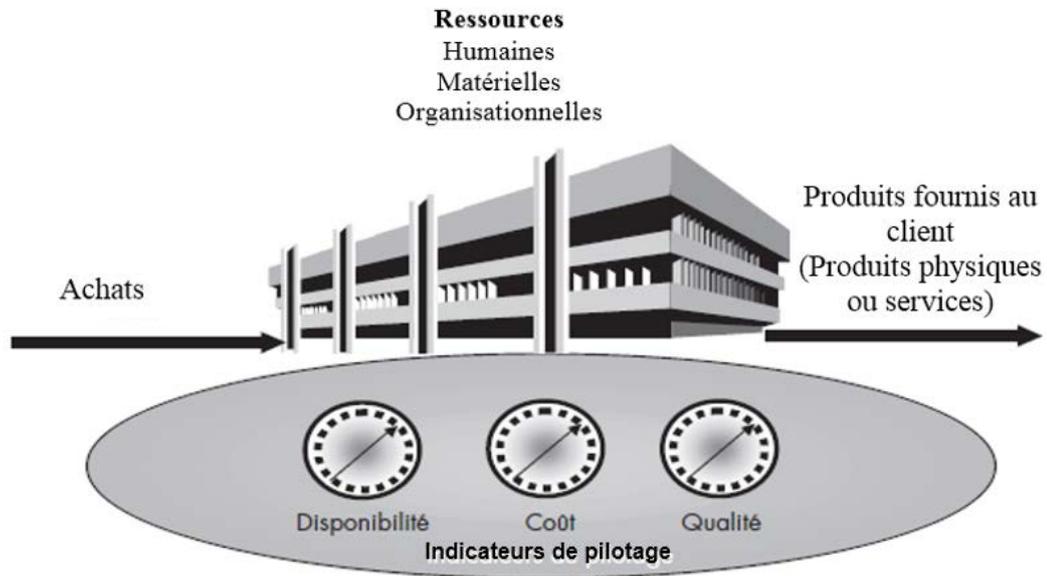


Figure 2. 2 . Environnement qualité de l'entreprise [50]

#### 2.1.2.2 Définition de la non qualité

Le processus maintenance souffre de la faiblesse indéniable des compétences managériales dans le domaine, faiblesse qui se traduit par un niveau de qualité de prestations de service très bas. L'absence de relation organisée du couple production-maintenance génère des coûts de non-qualité importants qu'on pourrait réduire rapidement pour peu que l'on accepte de réorganiser et requalifier l'encadrement de l'activité maintenance.

- Selon le dictionnaire Larousse : "la non qualité est l'écart mesuré entre la qualité souhaitée et celle obtenue réellement".

- Selon la norme ISO 8402 : "la non qualité ou disqualité est l'écart global constaté entre la qualité visée et la qualité effectivement obtenue".

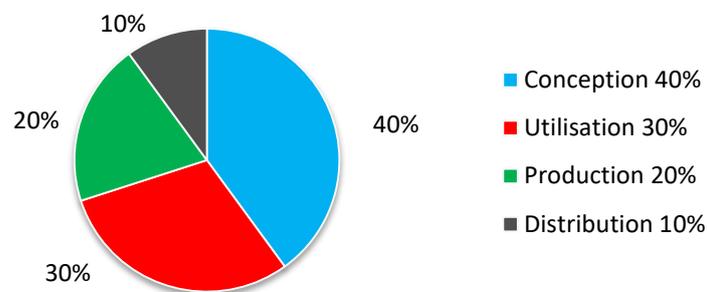


Figure 2. 3 . Origines de la non qualité [158]

### 2.1.2.3 Non Qualité en Maintenance

Une Non Qualité en Maintenance (NQM) peut être définie par l'ensemble des défauts ou des erreurs qui nécessite de ré-intervenir sur des matériel déjà visité. Le traitement de ces NQM à la source, est incontournable dans notre projet. Il est nécessaire alors, de tous mettre en œuvre pour que tous les maintenanciers « fassent bien du premier coup ».

La classification et la caractérisation des NQM peuvent être identifiées selon :

- la défaillance matérielle : PdR livrées avec défauts, absence de contrôle qualité en usine...
- la défaillance humaine : insuffisance de connaissance des équipements, excès de confiance, geste inappropriés, absence de contrôle, mauvaise communication...
- la défaillance organisationnelle : absence qualité dans les bases, défaut de préparation, liste de PdR non conforme, erreur de planification...
- l'absence de surveillance et de contrôle : maîtrise incomplète des exigences, risque mal évalués...
- la méconnaissance du REX : capitalisation non formalisée des NQM, mauvaise traçabilité

[157]

### 2.1.2.4 Coûts de non qualité

Les processus de l'entreprise souffrent de la faiblesse indéniable des compétences managériales dans le domaine, une faiblesse qui se traduit par un niveau de qualité de prestations des services très bas. Pour apprécier le concept de qualité, il est préférable de partir de son contraire, en l'occurrence la non-qualité et de circonscrire ses coûts qui sont liés à des dysfonctionnements pouvant toucher les processus de l'entreprise.

L'entreprise qui cherche à améliorer la qualité de ses produits et ses prestations doit d'abord connaître les causes de la non qualité qui peuvent être diverses et peuvent avoir pour origines : la conception, la production, l'utilisation, la distribution. Ensuite il faut réduire les coûts de non-qualité qui peuvent être quantifiables directement :

Anomalies internes	Anomalies externes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absentéisme,</li> <li>- Accidents du travail,</li> <li>- Attente de pièces,</li> <li>- Rebuts, retouches,</li> <li>- Reconditionnement, réparation,</li> <li>- Mauvaise gestion des stocks,</li> <li>- Organisation des postes de travail,</li> <li>- Temps des changements des séries,</li> <li>- Réparation des moyens de production,</li> <li>- Modification de conception ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réclamations clients,</li> <li>- Pénalités de délai de livraison,</li> <li>- Paiement partiel des clients,</li> <li>- Coûts du Service Après Vente (SAV),</li> </ul>

**Tableau 2. 1 . Quantification des coûts de non-qualité [99]**

Il faut rajouter à cela des pertes indirectes en crédibilité comme la perte d'image de marque (difficilement chiffrable mais souvent majeure).

Pour chercher à diminuer ces coûts, on va investir :

en matériel, méthodes et techniques de contrôle (détection)	en matériel, méthodes et techniques de prévention (prévention)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle de réception,</li> <li>- Contrôle des produits,</li> <li>- Vérification des appareils de mesure,</li> <li>- Qualification, homologation,</li> <li>- Contrôle des gammes,</li> <li>- Contrôle des stocks,</li> <li>- Suivi des délais,</li> <li>- Contrôle des commandes, des factures...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérification du cahier des charges (contrat),</li> <li>- Revue de conception et de production,</li> <li>- Audit qualité,</li> <li>- Certification,</li> <li>- Amélioration des plans et dossiers de fabrication et de contrôles,</li> <li>- Création d'indicateurs qualité,</li> <li>- Formation du personnel,</li> <li>- Mise en place d'une démarche qualité</li> <li>- Mise en place d'une démarche 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke),</li> <li>- Maintenance préventive,</li> <li>- Evaluation des fournisseurs,</li> </ul>

**Tableau 2. 2 . Domaines d'investissement pour la diminution des coûts de non-qualité [99]**

#### 2.1.2.4 Définitions, formes et composantes de la qualité

Le terme qualité possède actuellement plusieurs significations

##### a) Sens primitif

C'est celui de la manière d'être. Il peut servir à désigner un ensemble de mots précis. Son usage est limité au cas où l'appréciation est favorable (beauté).

##### b) Sens classique

Il définit l'ensemble des plus grandes qualités et sert à porter un jugement de valeur (la qualité de la vie désigne l'ensemble des conditions matérielles et morales qui favorisent l'épanouissement de l'être humain).

##### c) Sens commercial

C'est le plus utilisé aujourd'hui. Il définit l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire un ensemble des besoins. Ce concept de qualité est associé à différents critères tels que les performances, la solidité, l'aspect...

#### 2.1.2.4 Définitions de la qualité

- Selon le dictionnaire Larousse : "la qualité est l'ensemble des caractères, des propriétés qui font que quelque chose correspond bien ou mal à sa nature, à ce qu'on en attend".
- Selon la norme ISO 9000 version 2015 : « un produit ou service de qualité est un produit dont les caractéristiques lui permettent de satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs ».
- La qualité selon la norme X 50 – 120 de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) est "l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère à satisfaire des besoins exprimés ou implicites". Les utilisateurs peuvent être des particuliers, des services, des entreprises, d'autres postes de travail, ... les besoins doivent être traduits et formulés lors de chaque étape nécessaire à la réalisation du produit (définition, conception, exécution et utilisation). La qualité pourra être centrée sur :
  - la conformité et le respect des délais (conformité aux plans, conformité aux documents publicitaires, ...),
  - l'aptitude aux besoins. Pour le bureau d'études, il s'agit de réaliser le produit capable d'avoir les performances requises, alors que pour le client, il s'agit d'avoir un produit adapté à un usage précis,
  - réponse au besoin qui appartient au marketing.
  - la satisfaction du client.

La politique qualité d'une entreprise quant à elle, a pour objectif de rechercher le coût unitaire de possession le plus bas possible. Cet objectif est atteint en minimisant les coûts d'achats, de consommation et de maintenance. Pour un produit, tout doit partir de la notion de fonction remplie et du besoin à satisfaire.

a) Qualité comme adéquation à une fonction attendue ou un besoin un produit fini n'est fabriqué que pour remplir une fonction de base correspondant à un besoin exprimé par un client ou décelé chez un consommateur un utilisateur final : il s'agit donc de trouver un produit – une solution – pour remplir une fonction.

Le produit qualité est défini par l'adéquation nécessaire d'un produit à des fonctions d'usage et de construction, elle est liée à la notion de valeur donc de coût.

b) Qualité comme un niveau de performance souhaité (fiabilité)

Lorsque la qualité est observée précédemment de l'adaptation à un usage des normes, des standards, des spécifications (physiques) ou fonctionnelles sont employées. La qualité peut aussi se définir par la performance visée par un composant. Cette performance (fiabilité) peut s'exprimer comme la probabilité qu'un composant fonctionne comme prévu sur une certaine

période de temps. La qualité donc se définit également par une notion de taux de service et de fiabilité, elle s'exprime souvent comme une combinaison des caractéristiques d'un produit et relève ainsi à l'évidence d'un compromis.

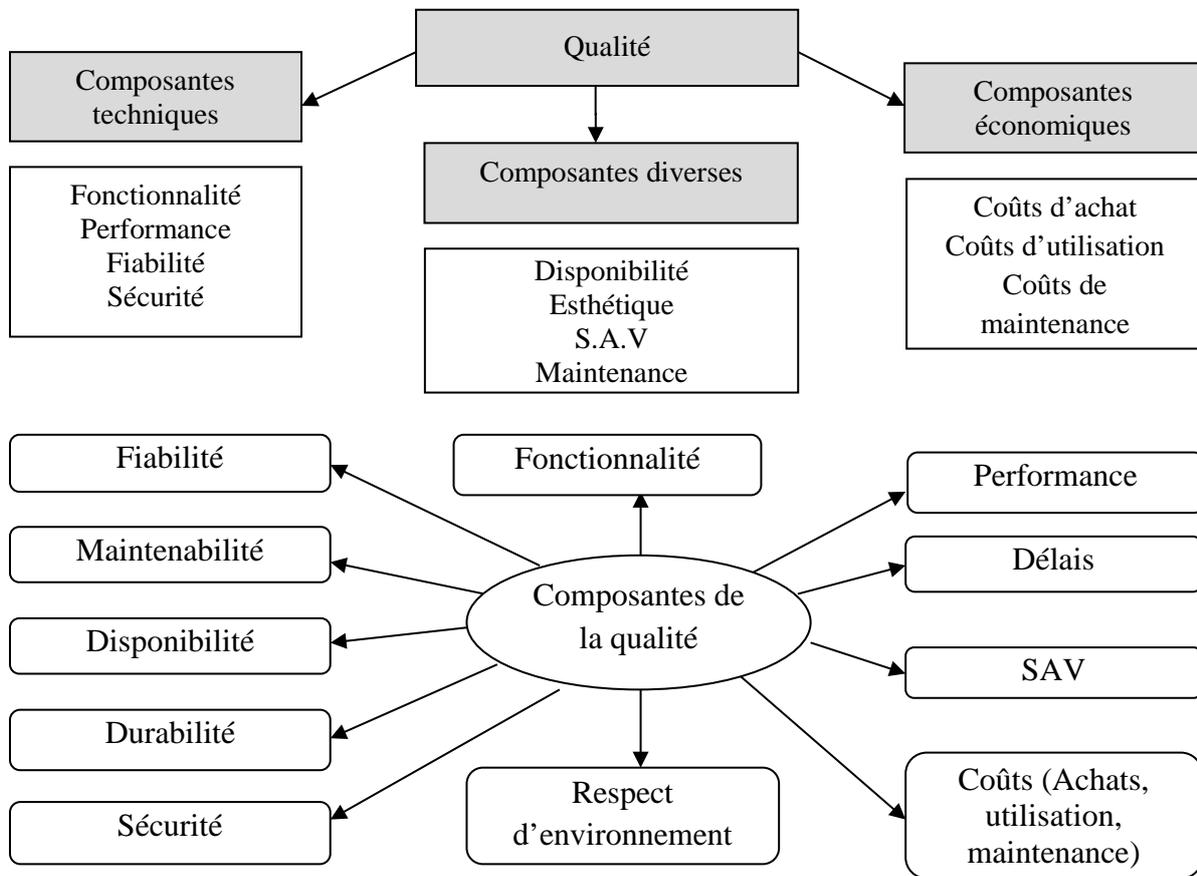


Figure 2. 4 . Composantes de la qualité [158]

De même, la qualité peut se comparer également à un vecteur à trois composantes.

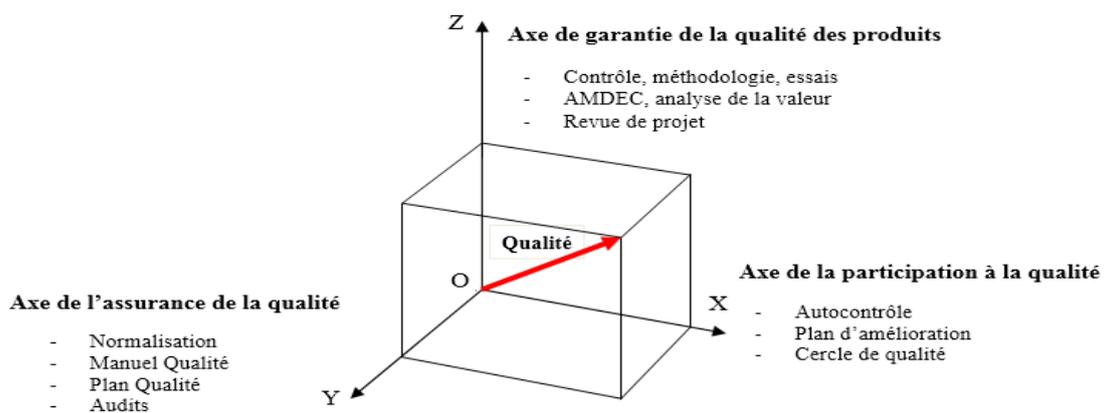


Figure 2. 5 . Modèle de Gigout [50]

### 2.1.3 Système du management de la qualité

Un système de management de la qualité, souvent abrégé SMQ, est l'ensemble des directives de prise en compte et de mise en œuvre de la politique et des objectifs qualité nécessaires à la maîtrise et à l'amélioration des divers processus d'une organisation, qui génère l'amélioration continue de ses résultats et de ses performances. Le management de la qualité est une activité support cherchant à donner aux services la capacité de standardisation, mutualisation, et réutilisation des ressources nécessaires pour assurer les synergies et l'efficacité pour atteindre la stratégie d'entreprise attendue. La mise en œuvre du système de management de la qualité est donc ici le processus support de la qualité de l'entreprise.

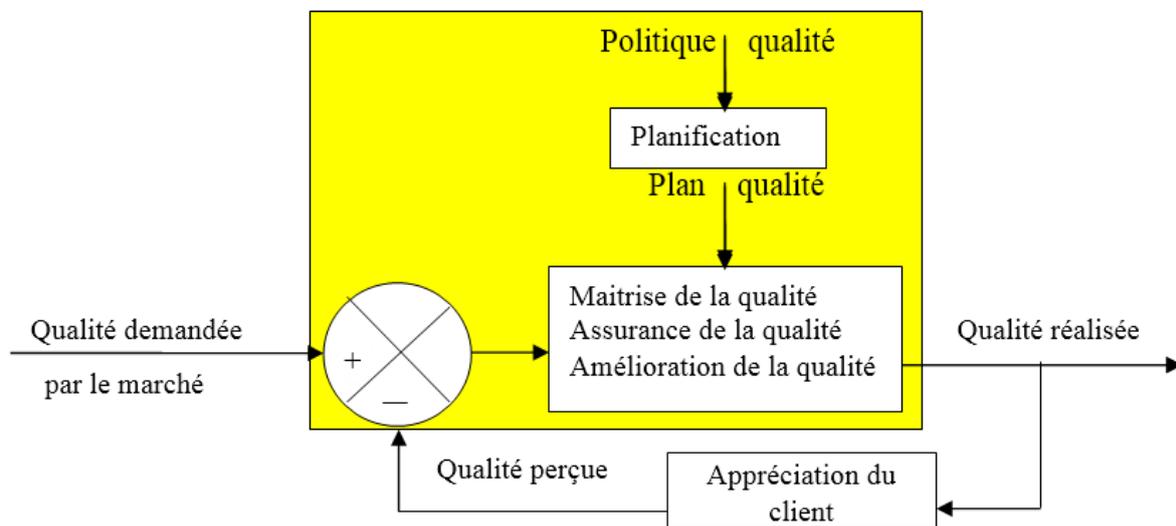


Figure 2. 6 . Management de la qualité en boucle fermée

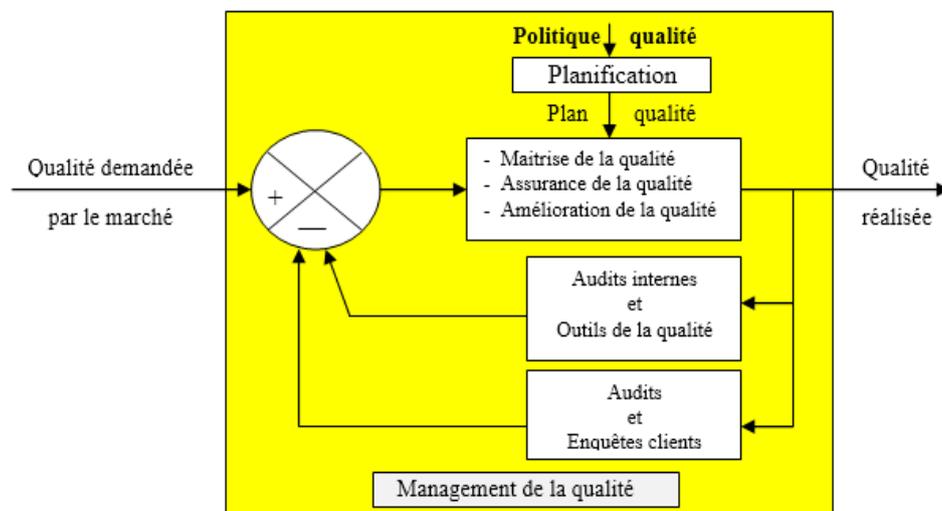


Figure 2. 7 . Management de la qualité complet [50]

### 2.1.3.1 Principes du management de la qualité

Il existe sept principes de management de la qualité selon la version 2015 :

#### 1) Orientation client

L'enjeu de ce principe est de satisfaire le client, pour le fidéliser. Ceci est d'autant plus important que de nos jours, avec les réseaux sociaux et l'internet en général, le client peut exprimer son mécontentement / son enchantement et être entendu par tous, immédiatement. De quoi démolir l'image d'un organisme ou au contraire lui forger une excellente réputation.

Pour renforcer son orientation client, l'organisme doit travailler sur les attentes de ses clients: les identifier (et même les prévoir) et tout mettre en œuvre pour que les produits / les services proposés y répondent.

#### 2) Responsabilité de la direction (Leadership)

En plus de ne pas investir tous les bénéfices de la société dans les travaux de rénovation de sa garçonnière, on attend de la direction qu'elle:

- Définissent les orientations de l'organisme
- Assure la disponibilité des ressources pour atteindre les objectifs
- Implique le personnel

Ainsi, l'organisme sait où il doit aller, en a les moyens, et l'envie.

#### 3) Implication du personnel

Le titre de ce principe est réducteur: en plus d'être impliqué le personnel doit être compétent et se sentir valorisé.

Dans cet esprit ,une reconnaissance doit être exprimée, en communiquant sur la valeur ajoutée du travail du personnel et des initiatives prises. Les compétences personnelles doivent être développées, ce qui améliorera les compétences de l'organisme dans son ensemble.

#### 4) Approche processus

Avoir une approche processus revient à considérer l'activité de l'organisme comme un ensemble de sous activités corrélées entre elles. Dans ce modèle chaque processus prend en compte des données d'entrée et produit des données de sortie. Ces données pouvant aller d'un processus vers un autre. Cette approche permet de plus facilement aborder les différentes activités, leur management, leurs besoins, leurs objectifs,...

#### 5) Amélioration

L'organisme doit constamment chercher à s'améliorer, à minima pour conserver ses niveaux de performance, dans l'idéal pour progresser.

L'amélioration s'applique à des principes déjà énoncés: amélioration de la satisfaction client, amélioration des performances des processus. Dans l'ISO9001:2015, réduire les risques, saisir les opportunités ou encore corriger les non conformités sont autant de sources d'amélioration.

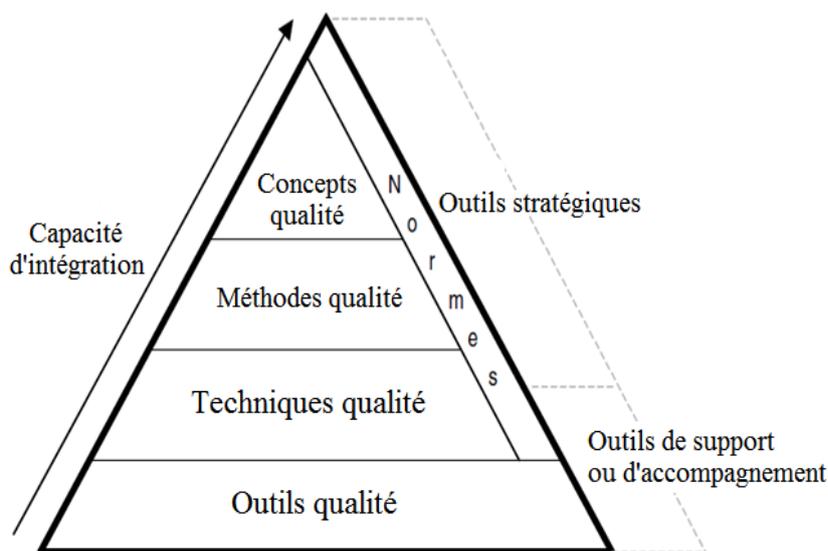
#### 6) Prise de décision fondée sur des preuves

Une approche très cartésienne qui ne peut que séduire, si ce n'est qu'elle demande du travail. L'idée est de réduire l'incertitude inévitable lors des prises de décisions, en s'appuyant sur des données objectives, où l'on regarde les causes pour comprendre les effets.

#### 7) Management des relations avec les parties intéressées

Les parties intéressées englobent tous les acteurs qui influencent ou sont influencés par les activités de l'organisme. Elles comprennent notamment: les fournisseurs, les banquiers, la réglementation, ... et même la norme ISO9001. C'est en communiquant avec les parties intéressées et en tenant compte de leurs exigences que l'organisme saura améliorer ses performances

### 2.1.3.2 Outils du management de la qualité



**Figure 2. 8 .** Outils stratégiques et d'accompagnement des management de la qualité.

## 2.2 Maintenance et assurance qualité

### 2.2.1 Définition de l'assurance qualité

L'assurance de la qualité est la capacité de l'entreprise à prouver objectivement qu'elle a mis une organisation efficace, il est aussi un système d'organisation qui garantit la qualité d'un service rendu.

2.2.2 Référentiels et normes impliquant la maintenance dans l'assurance qualité

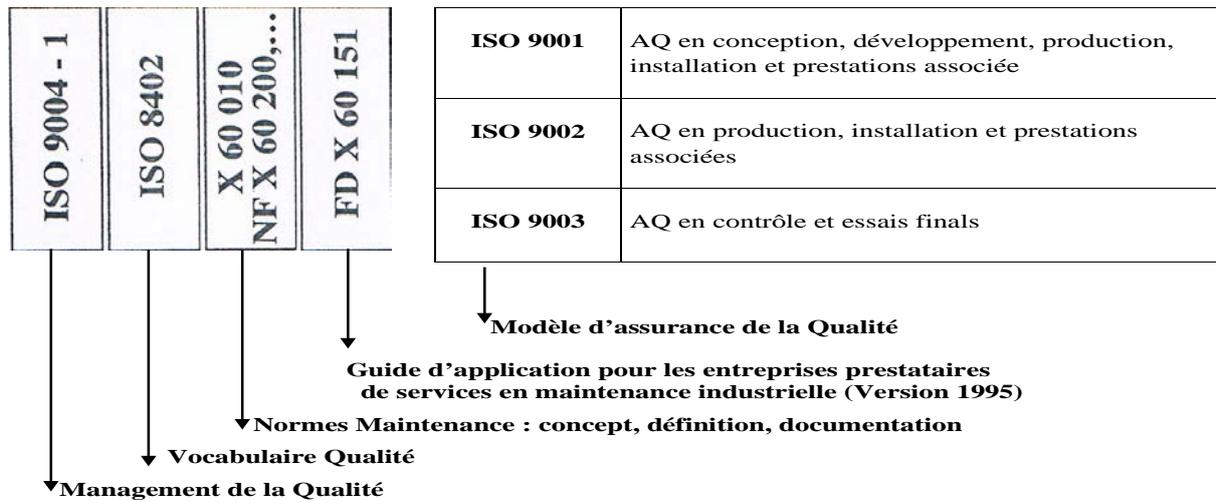
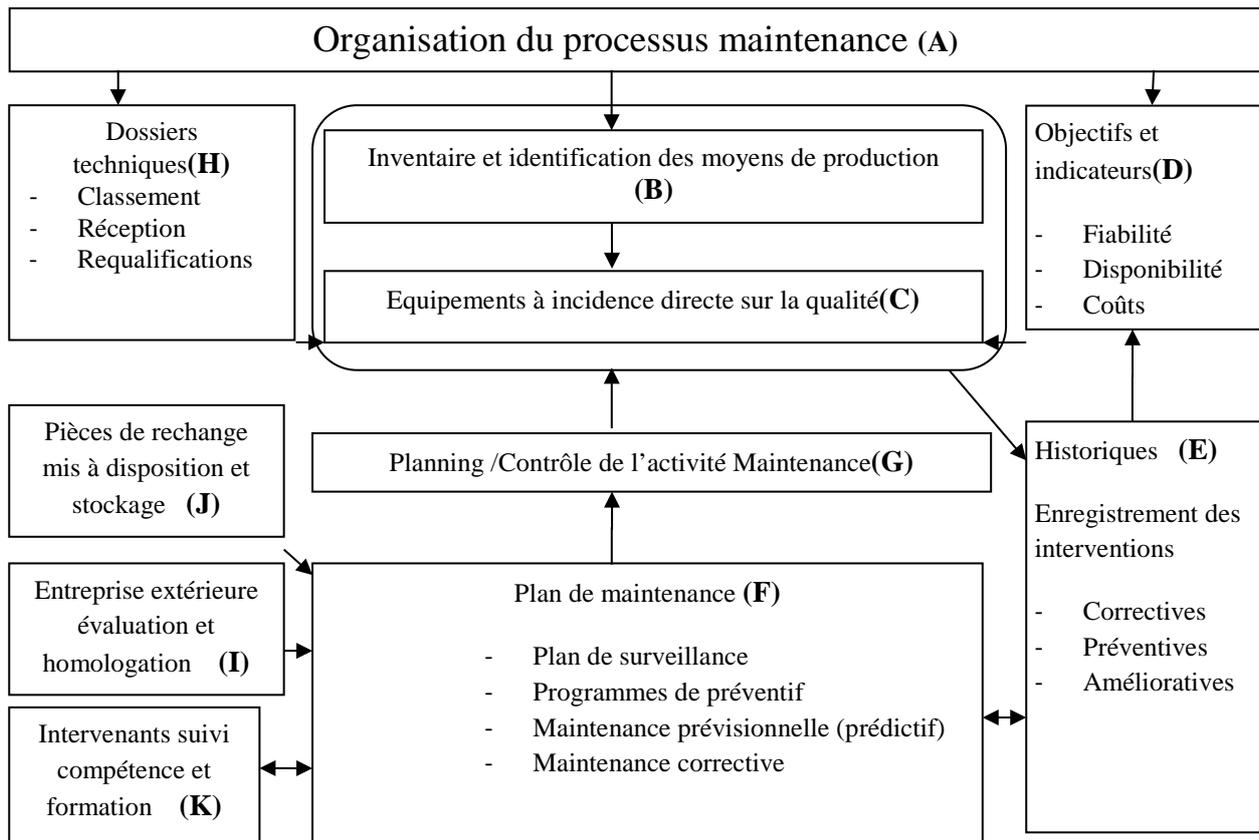


Figure 2. 9 . Synoptique des normes de base relatives à la qualité [85]

2.2.3 Organisation du processus maintenance selon l'ISO 9000



Exigences de mise en forme pour les référentiels ISO 9000, EAQF, QS 9000	Repères
1. Représenter le processus maintenance	A
2. Répertoire et identifier les équipements	B et C
3. Définir la politique de la maintenance	D
4. Préciser la maintenance assurée en dehors de service	F
5. Définir les relations avec les entreprises extérieures	F e I
6. Décrire l'organisation du correctif	F
7. Décrire l'organisation du préventif	F
8. Décrire le traitement des demandes de travail	G
9. Organiser les traçabilités des interventions	E
10. Connaitre et suivre les principaux indicateurs	D
11. S'appuyer sur les documents d'interventions	F et H
12. Assurer le contrôle des interventions	G
13. Organiser les dossiers techniques d'équipements	H
14. Décrire le processus d'acquisition des biens	H
15. Gérer les approvisionnements/ stocks des pièces	J
16. Evaluer les compétences et présenter le plan de formation	K

Figure 2. 10 . Plan d'organisation du processus maintenance [85]

2.2.4 Démarche d'implication de la maintenance dans l'assurance qualité

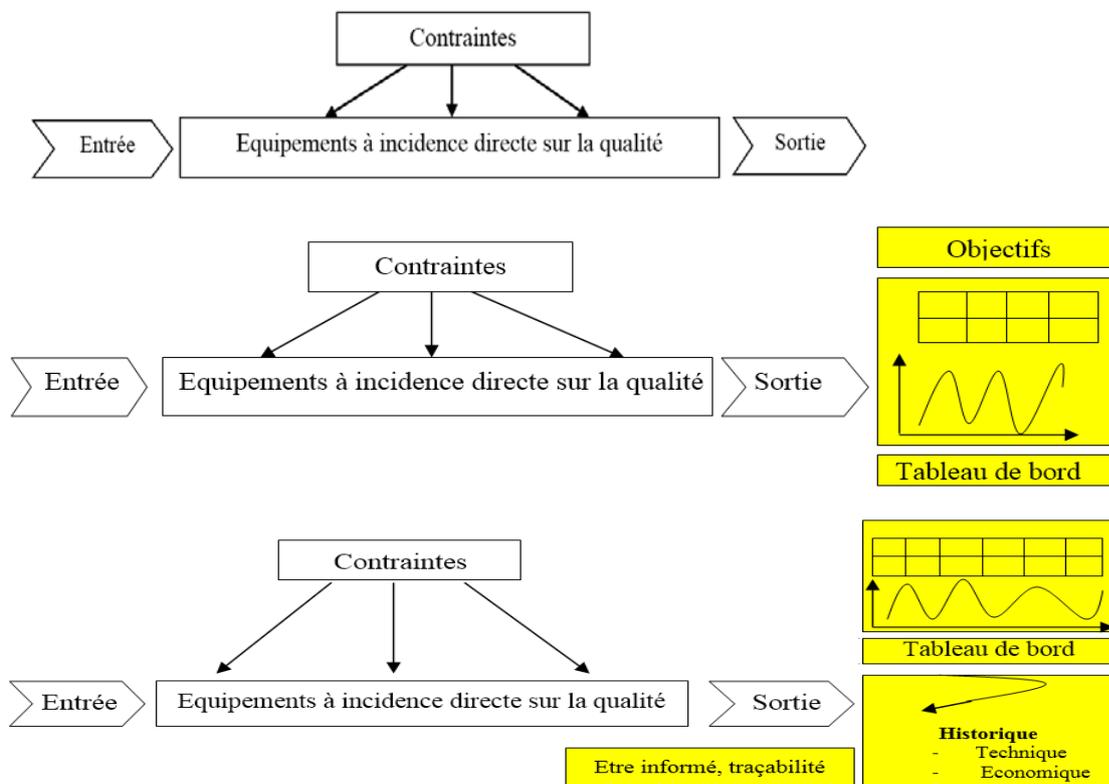
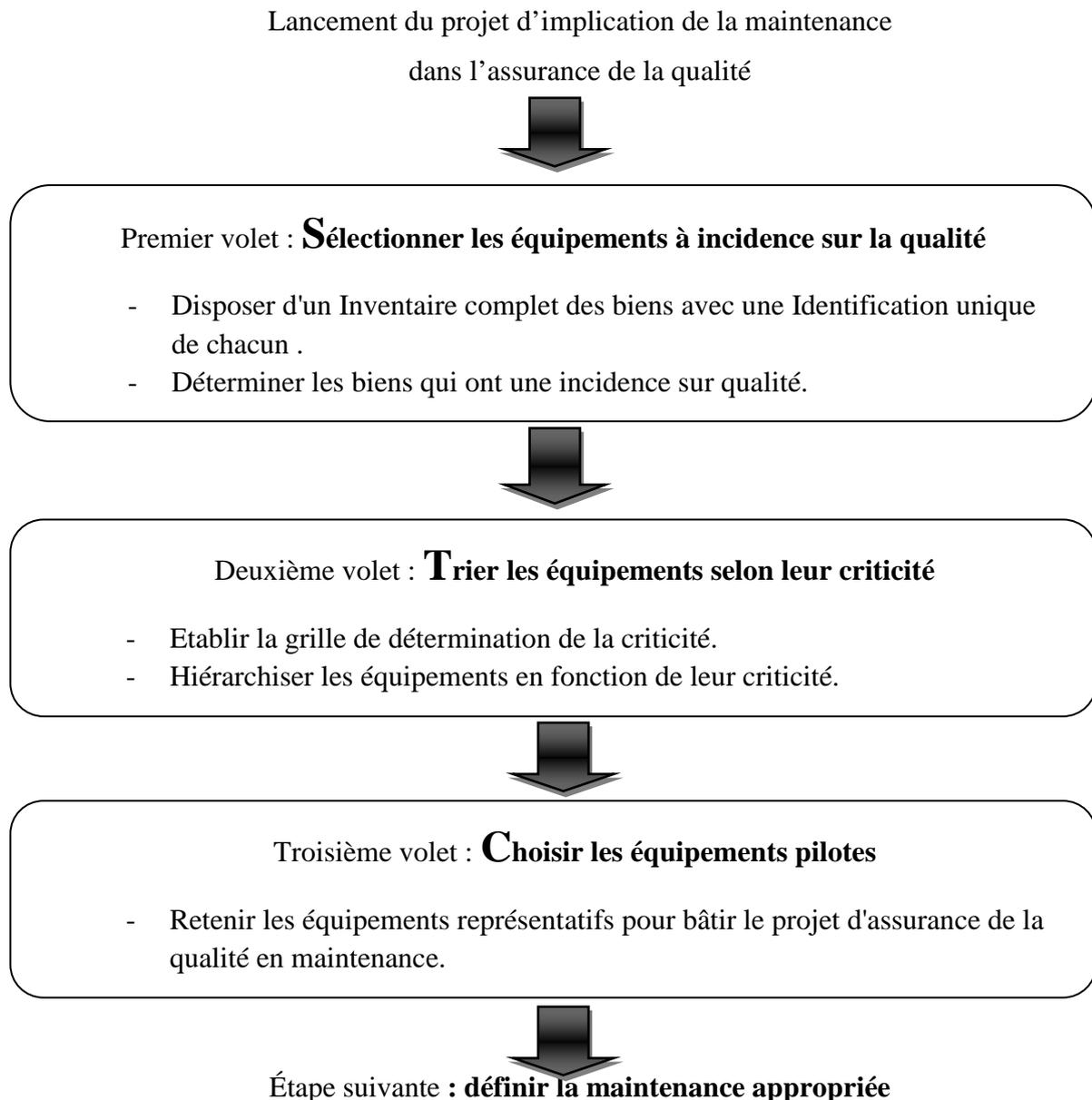


Figure 2. 11 . Implication de la maintenance dans l'Assurance Qualité et traçabilité [85]



**Figure 2. 12 : Volets de la méthode STC [85]**

## 2.2.5 Méthodes de sélection des équipements à incidence directe sur la qualité

### 2.2.5.1 Détermination des biens à incidence directe sur la qualité

Pour déterminer les biens à incidence directe sur la qualité, trois questions se posent :

- L'équipement génère-t-il des non qualités avec répercussion sur le client ?  
-> IQ (Indice de Qualité)
- L'action de la maintenance agit-elle sur les non qualités ?  
-> IM (Indice de Maintenance)
- Existe-t-il des risques associés à l'équipement ?  
-> IS (Indice de Sécurité)

Ainsi, selon la réponse donnée à chacune de ces trois questions, réponse notée de 1 à 4 selon l'échelle définie dans le tableau suivante, nous calculons l'indice directe sur la qualité par multiplication des valeurs prises par les réponses :

$$\text{IDSQ} = \text{IQ} \times \text{IM} \times \text{IS} \quad (2.2)$$

Ou par addition:

$$\text{IDSQ} = \text{IQ} + \text{IM} + \text{IS} \quad (2.2)$$

<b>IDICE DE QUALITÉ (IQ)</b>	<b>1</b>	N'engendre pas de non-qualités
	<b>2</b>	Non-qualité non perçue par le client (gêne)
	<b>3</b>	Non-qualité perçue par le client (déclassement)
	<b>4</b>	Non-qualité (hors cahier des charges et/ou spécifications)
<b>INDICE DE SÉCURITÉ (IS)</b>	<b>1</b>	Sans risque pour les hommes, les biens et l'environnement
	<b>2</b>	Avec risques présumés
	<b>3</b>	Avec risques déjà identifiés
	<b>4</b>	Avec biens classés à haut risque
<b>INDICE DE MAINTENANCE (IM)</b>	<b>1</b>	Les actions de maintenance ne peuvent pas agir sur la non-qualité
	<b>2</b>	Les actions de maintenance peuvent corriger la non - qualité
	<b>3</b>	Les actions de maintenance peuvent prévenir la non - qualité
	<b>4</b>	Les actions de maintenance suppriment la non - qualité

**Tableau 2. 3 .** Calcul de l'IDSQ [85]

### 2.2.5.2 Hiérarchisation des équipements et évaluation de la criticité

Pour hiérarchiser les équipements et évaluer leur criticité, on procède de la manière suivante :

- hiérarchiser l'ensemble des équipements à maintenir en calculant leur criticité en fonction de quatre critères P, I, E et U,
- définir des classes de maintenance et les politiques qui s'y rattachent.

La criticité mesure les conséquences des dysfonctionnements de l'équipement sur le fonctionnement général de l'entreprise. Elle est mesurée à partir de quatre critères :

- 1<sup>er</sup> critère     **P** = Incidence des Pannes
- 2<sup>ème</sup> critère    **I** = Importance de l'équipement
- 3<sup>ème</sup> critère    **E** = Etat de l'équipement
- 4<sup>ème</sup> critère    **U** = Taux d'Utilisation

CRITÈRES \ POIDS	0	1	2	3
<b>P</b> INCIDENCE DE PANNES	PÉPÉGRAVES SIONS GRAVES SUR QUALITE ET/OU ENVIRONNEMENT	PÉPÉGRAVES SIONS SUR QUALITÉ AVEC GÉNÉRATION REBUTS	RETOUCHES POSSIBLES	AUCUNE REPERCUSSIONS SUR LA QUALITE
<b>I</b> IMPORTANCE	STRATÉGIQUE PAS DE DELESTAGE SUR AUTRE MACHINE SOUS-TRAITANCE IMPOSSIBLE	IMPORTANT PAS DE DELESTAGE SUR AUTRE MACHINE SOUS-TRAITANCE IMPOSSIBLE	SECONDAIRE DELESTAGE POSSIBLE	EQUIPEMENT DE SECOURS
<b>E</b> ETAT	A RENOVER OU REFORMER	A REVISER	A SURVEILLER	A L'ÉTAT SPECIFIÉ
<b>U</b> TAUX D'UTILISATION	SATURÉ	ELEVE	MOYEN	FAIBLE

Tableau 2. 4 . Table d'évaluation de la criticité [85]

$$CR = P \times I \times E \times U \tag{2.3}$$

### 2.2.6 Impact de l'assurance qualité sur la fonction maintenance

L'entreprise peut développer l'assurance qualité avec deux motivations :

- externe pour satisfaire à une exigence de ses clients,
- interne pour réduire sa non qualité.

Dans les deux cas, installer l'assurance qualité implique le plus souvent les changements importants vers davantage de rigueur :

- une formalisation des processus faibles et dispersée, l'entreprise va passer à une formalisation développée et contrôlée.
- l'implicite de la politique qualité va devenir explicite.
- l'écrit prendra le pas sur l'oral.
- la documentation sera très précisément gérée.
- le management utilisera le système assurance qualité comme un outil pour obtenir les résultats visés.

### 2.3 Mise en œuvre de l'automaintenance

L'auto-maintenance se met en œuvre en suivant le déroulement en cinq étapes :

<p><b>1. Réaliser un état des lieux initial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Repérer toutes les anomalies sur l'équipement à l'occasion d'une vérification (nettoyage) général - Prendre photos</li> <li>* Apposer étiquettes de localisation</li> <li>* Établir liste des anomalies à régler</li> </ul>
<p><b>2. Remettre à niveau l'équipement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Analyse et règlement des anomalies - émission des fiches de modification</li> <li>* Suivi de l'avancement (% résolution des anomalies)</li> </ul>
<p><b>3. Élaborer les fiches d'automaintenance</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Effectuer analyse AMDEC maintenance pour l'équipement</li> <li>* Élaborer Fiches d'automaintenance et plan du préventif</li> <li>* Former à l'exécution de la fiche et préparer les modules de formation technique adaptés</li> </ul>
<p><b>4. Verrouiller le système automaintenance</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Engager audits 5S et automaintenance</li> <li>* engager les fiches d'automaintenance</li> <li>* Valider les fiches d'automaintenance</li> <li>* Finaliser le règlement des anomalies observées</li> </ul>
<p><b>5. Développer l'aptitude à détecter anomalies</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* impliquer les opérateurs dans la résolution méthodique des défaillances</li> </ul>

**Tableau 2. 5 . Démarche des mises en œuvre de l'automaintenance [85]**

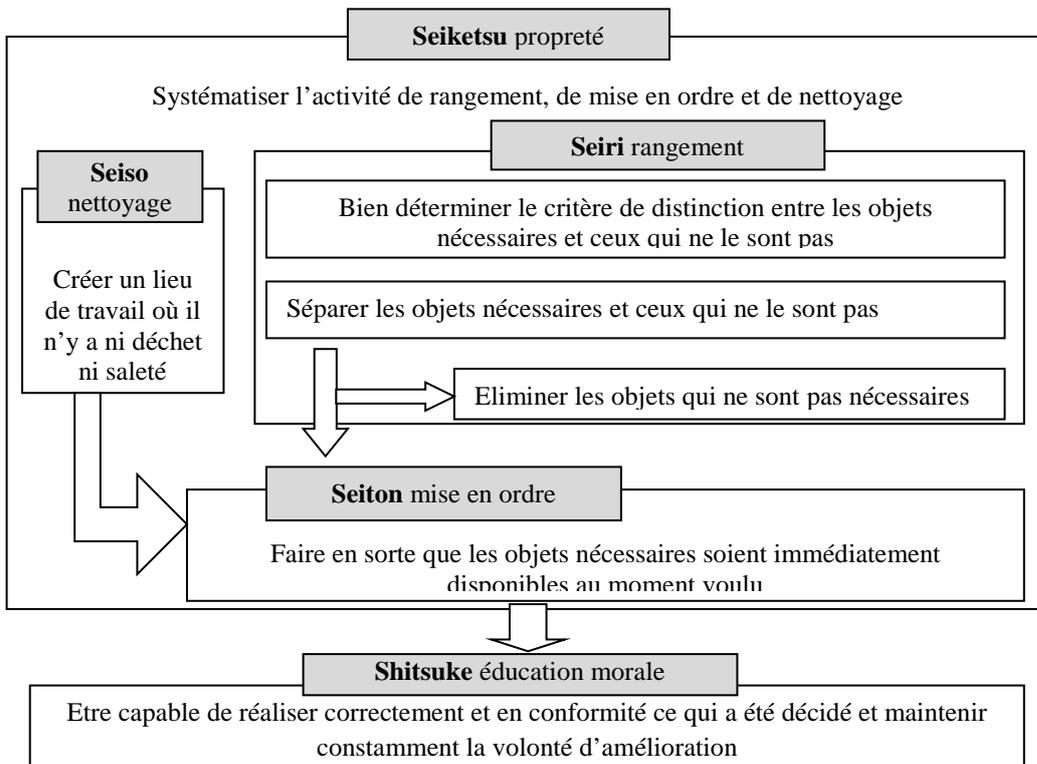
**2.4 Application du cycle PDCA à la maintenance**

Principes de la roue de Deming				Sur le plan comportemental	Sur le plan des relations clients/fournisseurs (production/maintenance)
1	<b>P</b>	Plan	Préparer	Observer les symptômes des défaillances	Ecouter les besoins du client (production)
2	<b>D</b>	Do	Réaliser	Réfléchir et diagnostiquer	Comprendre les attentes
3	<b>C</b>	Check	Vérifier	Agir par actions sur les causes de défaillance	Réaliser le service attendu
4	<b>A</b>	Act	Améliorer (Agir)	Mesurer par analyse des résultats de l'action et imaginer l'amélioration potentielle	Améliorer par analyse des insatisfactions clients

**Tableau 2. 6 .** Application du cycle PDCA à la maintenance [57]

**2.5 Environnement de travail**

Les 5 S, qui sont les initiales de cinq mots japonais (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu et Shitsuke) permettent de construire un environnement de travail fonctionnel. La mise en place des 5 S doit se traduire par l'implication de tous les membres du groupe.



**Figure 2. 13 .** Campagne 5S [57]

### 2.5.1 Qualité de travail

De nombreux facteurs influencent la qualité du travail. La notion de la qualité de travail met avant tout l'accent sur la cohésion des 4 C qui sont :

- le **Contenu** du travail comme point de départ. Il fait référence au type de tâches qu'il convient d'exécuter.
- les **Circonstances** de travail qui traitent les facteurs ambiants durant le travail, au degré de sécurité et de protection, à l'hygiène et au bien-être au travail.
- les **Conditions** de travail : dispositions, lieu de la rémunération en échange des prestations, horaires, possibilités de suivre une formation, promotion dans l'entreprise.
- le **Climat** de travail qui concerne le climat social qui règne au sein de l'entreprise, participation à la prise de décision, rapports sociaux collectifs entre syndicats et employeurs.

### 2.6 Vérification et étalonnage des appareils de mesure

L'ensemble des moyens de mesure, de contrôle et d'essai qui peuvent avoir une incidence sur la qualité des produits ou des procédés doit être vérifié et étalonné. Il convient de posséder la liste exhaustive de ces moyens regroupés de préférence par type ou famille avec identification et localisation de ceux-ci. On sera à même de démontrer que ces instruments sont parfaitement adaptés aux opérations de contrôle et d'essai auxquelles ils sont destinés et on disposera des informations relatives à leurs mise en service (réception) avec les notices du constructeur tant d'utilisation que de maintenance. Les spécifications des mesures, contrôle et essais devront être disponibles[85]

La vérification consiste à comparer techniquement les résultats de la mesure à la prescription documentée. L'étalonnage consiste à vérifier, par comparaison avec un étalon, l'exactitude des indications données par l'instrument ou l'appareil.

La comparaison débouche sur une conformité ou une non-conformité. Dans ce dernier cas, la décision d'ajuster ou de réparer pour réutiliser, ou celle de déclasser voire réformer peut être prise. Les attestations et les autres documents (procès-verbaux, constat de vérification, fiche d'étalonnage...) apportant la preuve que ces opérations ont été réalisées doivent d'être classés et archivés. Un système permettant de repérer sur l'instrument ou l'appareil les dernières vérifications effectuées ainsi que la tenue à jour d'une fiche de vie sont exigées.

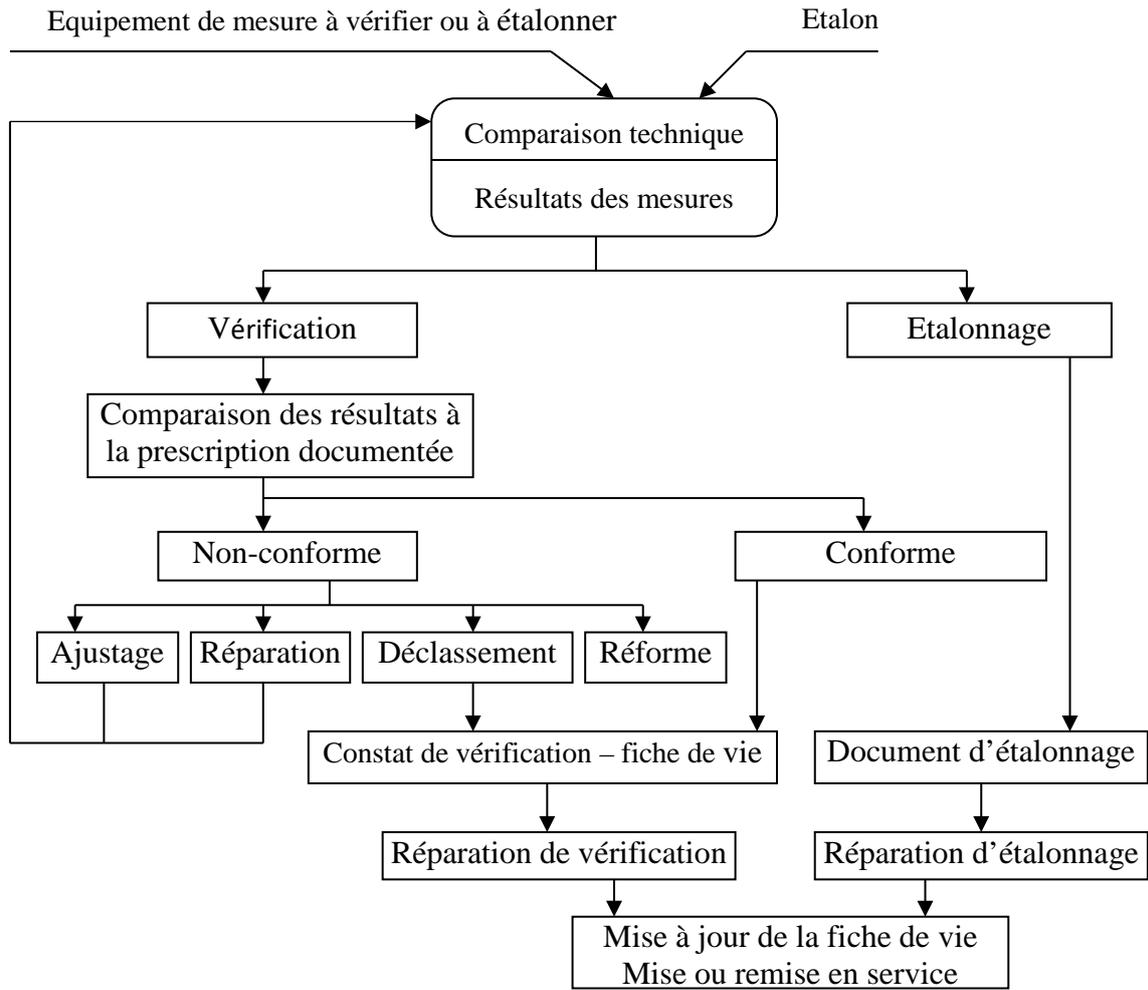


Figure 2. 14 . Vérification et étalonnage des appareils de mesure [85]

2.7 Management de la maintenance à l'aide des 5 M

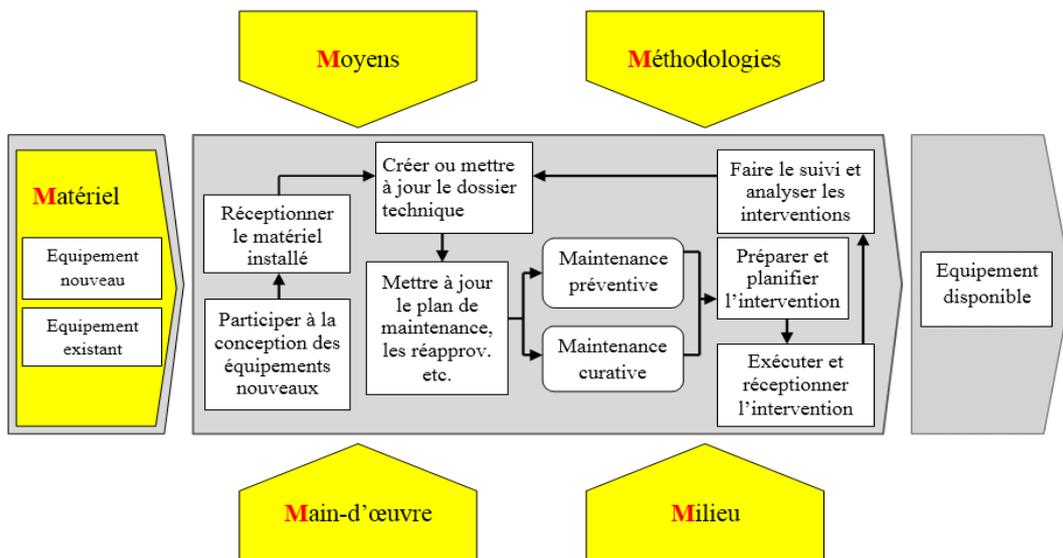


Figure 2. 15 . Composantes du processus maintenance (Selon les 5M) [81]

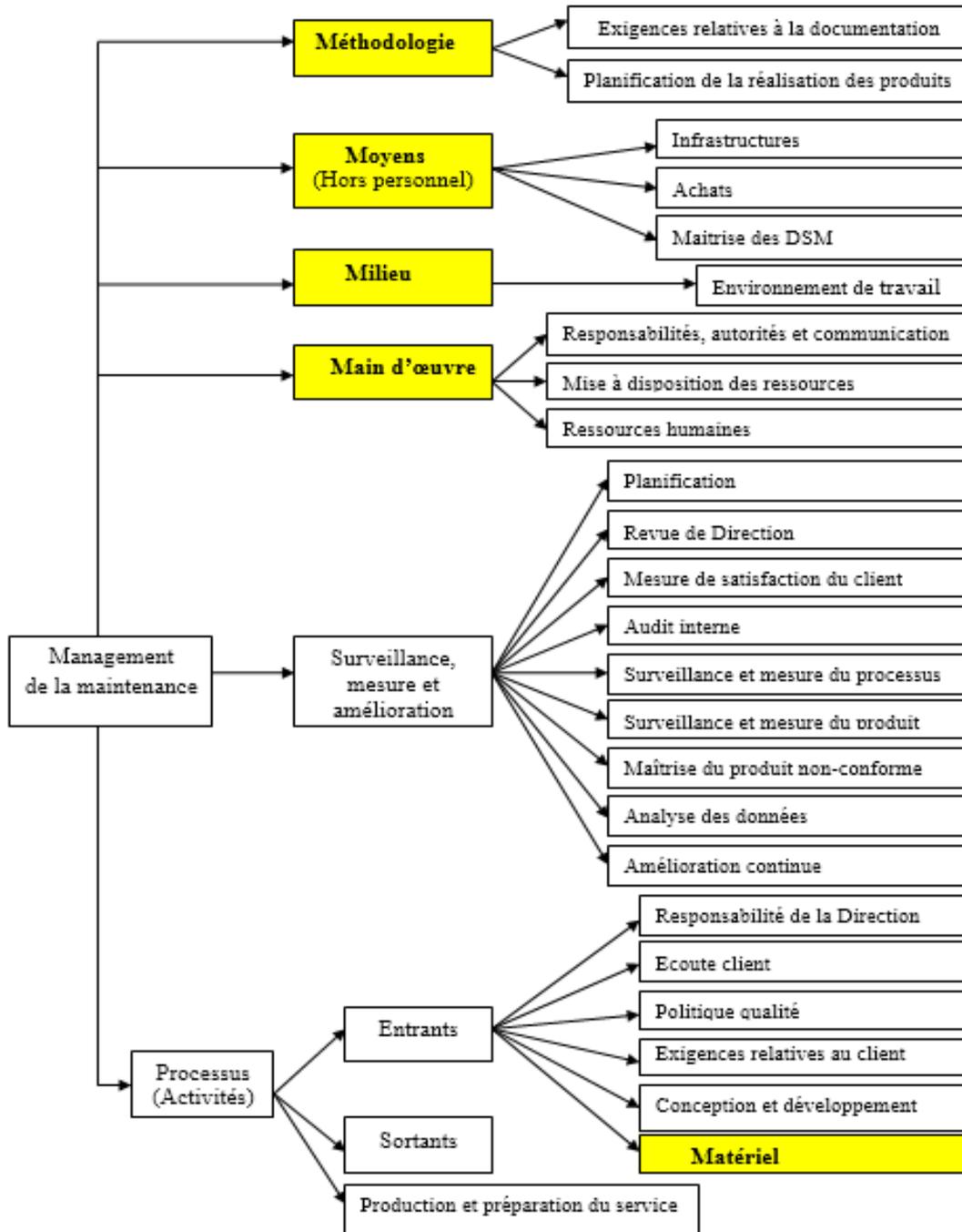


Figure 2. 16 . Management de la maintenance à l'aide des 5 M [81]

### 2.8 Audit de la fonction maintenance

Le processus d'audit consiste à détecter les éventuels écarts entre une situation réelle et une situation de référence visée : la « norme », puis, à prendre les dispositions correctives appropriées. Y. Lavina [85] définit l'audit de la maintenance comme étant un examen méthodique d'une situation relative à une organisation ou à des prestations de maintenance en vue de vérifier la conformité à des prédispositions établies visant à bien maintenir. Il s'effectue en collaboration avec les intéressés à l'occasion de changements décidés d'organisation ou pour

provoquer des améliorations dans la pratique de maintenance. Il précise également que l'audit constitue un moyen de progrès et peut être réalisé en deux phases :

- une première conduit à « photographier » la situation existante et à dégager des voies d'amélioration.
- une seconde consiste à examiner de manière détaillée les écarts existants par rapport à une norme de fonctionnement proposée, à générer en fonction des priorités que l'on se donne, un plan d'actions correctives qui regroupe autant d'actions d'amélioration.

Ce même auteur ajoute que l'audit de la maintenance ne vise pas uniquement la détection d'anomalies de fonctionnement d'un service maintenance. Il constitue surtout une occasion de remettre en cause les procédures actuelles, d'élaborer un plan d'amélioration des performances et des résultats.

### **2.8.1 Contrat interne de maintenance**

Les progrès en maintenance sont bien souvent freinés par les difficultés qui existent dans les relations entre la production et le service maintenance. Les thèmes conflictuels sont nombreux :

- nettoyage et ordre sur les postes de travail,
- mise à disposition des machines pour préventif,
- formulation précise des demandes de travail,
- réalisation de la maintenance de premier niveau par les opérateurs machines,
- accord sur les heures de début et de fin de travail,
- tenue des délais d'intervention,
- participation de la production au diagnostic des pannes etc...

Pour ces différentes raisons, il est possible d'établir une relation qui aille dans le sens de l'intérêt général, en faisant appel à des contrats internes de maintenance afin de créer une grande synergie entre les services de production et de maintenance. Ce type de contrat est rédigé conjointement par les deux services et distingue clairement les équipements super-critiques des autres. Le contrat comporte quatre rubriques ( objectifs et critères de mesure de performances, modalités d'intervention, modalités de suivi technique des équipements et modalités de suivi contrat) qui peuvent être améliorées chaque année.

## 2.9 Système de communication et d'information en maintenance

Un système de communication et d'information en maintenance, vrai et complet, facilite indiscutablement l'implantation des processus d'assurance de la qualité. C'est pourquoi il nous semble utile, en préalable, d'évaluer le système de communication de la fonction maintenance dans sa globalité.

Fonction	Objectif	Domaine d'action
<b>Messagerie</b> Alerter pour agir en toute connaissance	Maitriser le risque et le temps réel	- Transmission de consignes - Comptes rendus - Information sur modifications - Information sur incidents - Messages divers
<b>Historique</b> Informé pour progresser	Maitriser la complexité	- Historique des pannes - Historique des interventions - Historique des modifications - Historique des composants remplacés - Analyse d'interventions et historiques
<b>Savoir-faire</b> Transmettre des modes opératoires	Maitriser le temps différé	- Mise à jour documentation technique - Plan de surveillance - Plan de maintenance - Aide-mémoire divers (aide au diagnostic) - Modes opératoires
<b>Ordonnancement</b> Animer les méthodes et le travail	Maitriser l'activité maintenance	- Bons de travail - Liste des travaux - Planning hebdomadaire - Planning d'arrêts - Traitements des non-conformités
<b>Pilotage</b> Orienter l'action maintenance	Maitriser le processus décisionnel	- Instrument de mesure (indicateurs, ...) - Tableau de bord - Rapport d'activité - Rapport d'audit

Figure 2. 17 . Fonction de communication en maintenance [85]

### 2.9.1 Communication au sein du service maintenance

Nous allons décrire brièvement un système de communication assez traditionnel dans les services maintenance, relatif une intervention corrective « lourde » prise entre la demande d'intervention et sa clôture. Nous utiliserons les, abréviations suivantes :

- DT : demande de travail, provenant du « client interne »,
- OT : ordre de travail, géré par l'ordonnancement,
- BT : bon de travail, accompagnant la préparation et retourné complet après intervention,

- DA : demande d'approvisionnement,
- BSM : bon de sortie magasin.

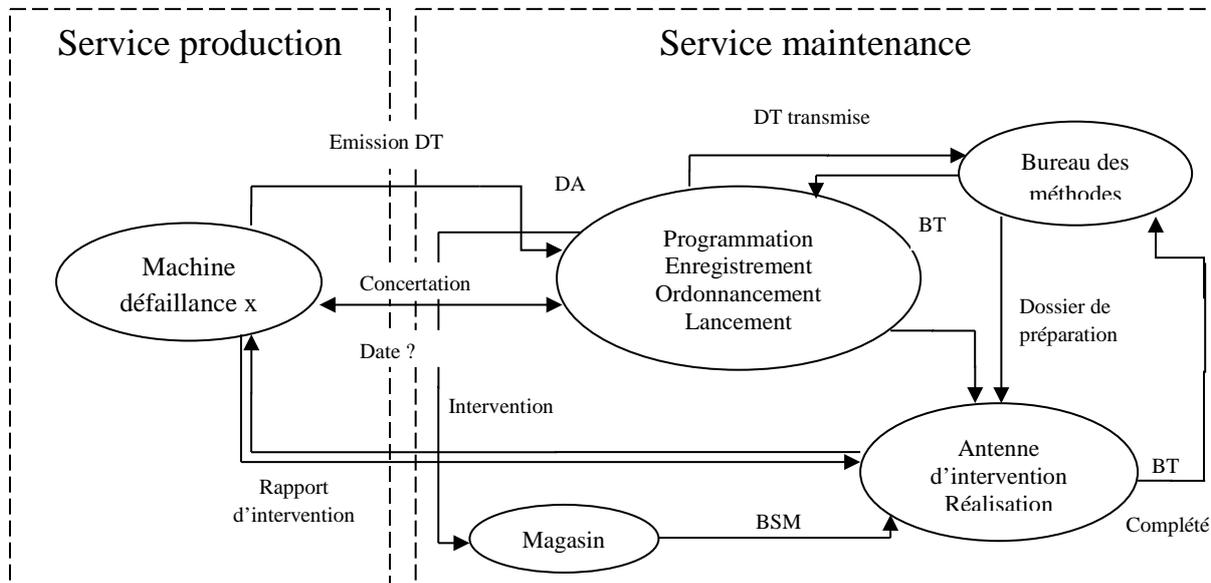


Figure 2. 18 . Quelques flux de communication interne en maintenance [86]

### 2.9.2 Système documentaire de la maintenance

Il semble évident qu'aucune action technique importante et de qualité ne peut se faire en maintenance sans référence documentaire. Le développement de la fonction méthode va de pair avec sa responsabilité : assurer la maîtrise de la documentation relative aux équipements, avec pour objectif principal la connaissance technologique et opérationnelle des équipements qui permet :

- la préparation d'intervention plus efficaces et plus sûres,
- l'aide aux techniciens d'interventions,
- la traçabilité des activités de terrain, aux fins d'amélioration de l'organisation,
- l'analyse du comportement des matériels, aux fins d'améliorations techniques et d'optimisation économique.

Il est évident donc que l'outil GMAO sera le vecteur principal de la maîtrise documentaire.

### 2.9.3 Gestion documentaire et assurance qualité

Tout système qualité implique la gestion de sa documentation suivant le principe :

- écriture de ce qu'on va faire (préparation, définition des procédures),
- faire ce qu'on a écrit (intervention encadrée),
- écriture de ce qu'on a fait (traçabilité).

Il appartient au service maintenance de développer son système documentaire en cohérence avec les procédures du système assurance qualité (AQ) de l'entreprise.

En particulier dans le cadre des référentiels ISO 9000, on identifie les exigences de la norme en matière de documentation maintenance, avec deux procédures de base :

- la procédure générale de maintenance (PGM),
- le plan qualité de l'équipement (PQE).

### **2.9.4 Gestion et modèle d'information**

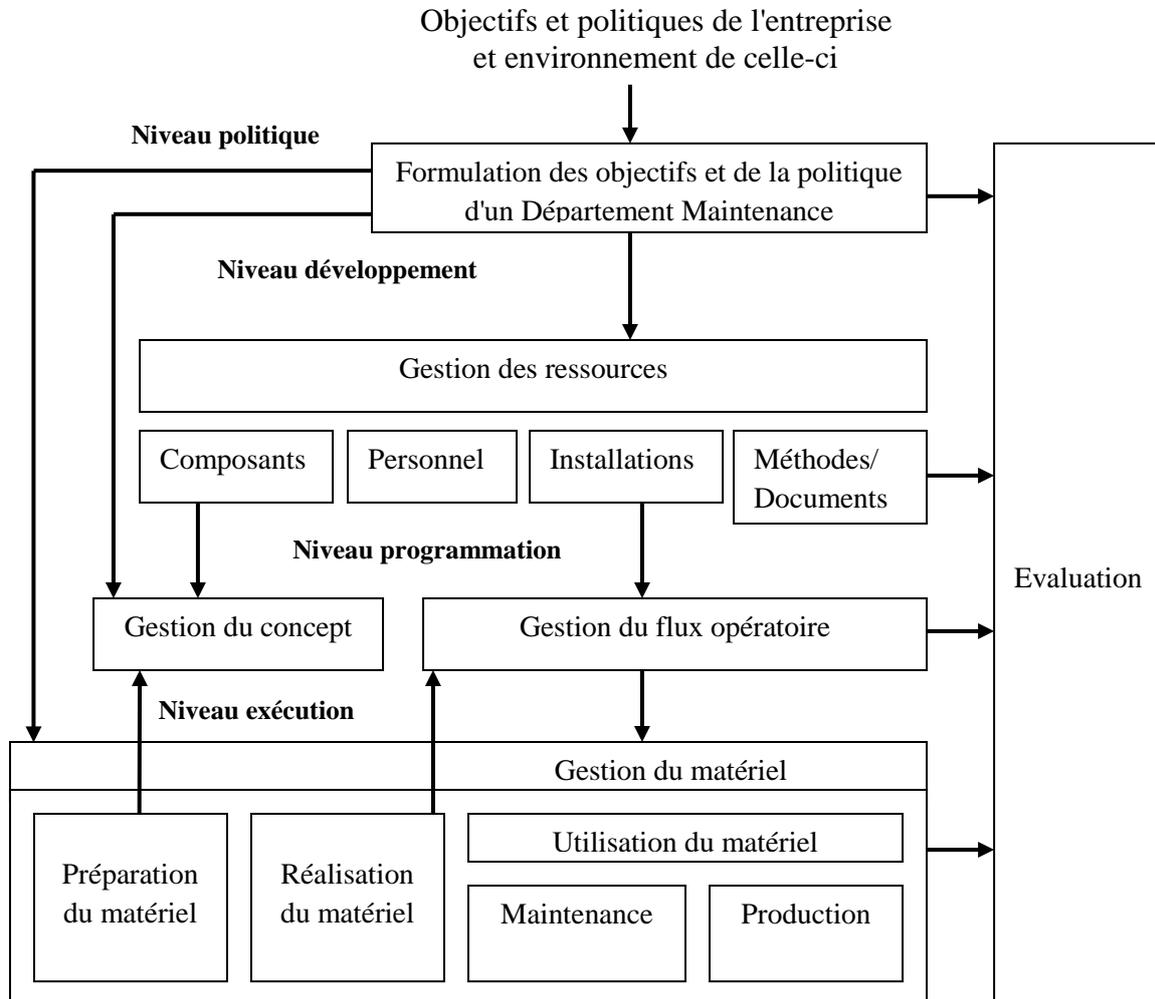
La gestion de l'information n'est rien d'autre qu'une description des circuits des flux au sein d'une entreprise. Une fois qu'on aura établi quelles activités doivent être menées, qui doit les conduire et où, on pourra définir les flux donnés nécessaires. Celui qui est chargé de l'exécution d'une tâche doit savoir ce qu'il doit faire, quand il doit le faire, quelles mesures de sécurité doivent être prises, etc. Dans l'entreprise, l'information circule par toute sorte de moyens : conversations, téléphones, réseaux d'ordinateurs, lettres mémorandums, systèmes de sonorisation signaux d'appel, etc.

#### **2.9.4.1 Modèle d'information**

Un modèle d'information est une représentation simplifiée, ciblée, des flux d'information au sein d'une entreprise. Il contient les données qui circulent normalement sur un support papier et/ou par l'intermédiaire de systèmes informatiques.

Le modèle d'information est une représentation simplifiée des flux d'information dans le management de la maintenance. Un modèle d'information est une représentation simplifiée des flux d'information associés à une réalité, dans notre cas un Département Maintenance. L'information concerne un sujet et circule d'un individu à un autre. Par exemple, les techniciens du Département Maintenance travaillent sur des machines, pour lesquelles ils ont besoin de pièces. L'information se rapporte à des sujets de ce type. Des informations sont échangées pour permettre à ceux qui y participent de réunir efficacement leurs efforts. Il faudra donc qu'un modèle d'information contienne certains éléments. Tout d'abord, les activités doivent apparaître clairement. Celles d'un Département Maintenance sont très diverses, elles peuvent être décomposées en un nombre restreint de processus. Les processus peuvent à leur tour être subdivisés en sous-processus. Les sous-processus étant ensuite divisés en activités Cette «décomposition» peut être poursuivie jusqu'à ce que l'on arrive à la plus petite des tâches. Cette procédure aboutit à ce que l'on appelle des réseaux d'activité.

Ensuite, un modèle d'information doit présenter visuellement les flux d'information entre les processus et les activités, en montrant, par exemple, quelles données vont du bureau de planification aux procédures d'achat.



**Figure 2. 19 .** Modèle pour le management de la maintenance [142]

### Conclusion

La qualité et la maintenance sont devenues des rouages essentiels au bon fonctionnement de l'entreprise tant au niveau de la productivité que pour sa compétitivité. Cependant, la dualité maintenance et qualité est délicate à étudier, car il s'agit de deux fonctions transversales de l'entreprise, largement dépendantes l'une de l'autre. Il est donc évident qu'il ne sera pas possible de fournir des produits ou des services de qualité, si l'entreprise ne possède pas la maîtrise de son outil productif et un système de communication et d'information complet et efficace en maintenance.

# **Chapitre 3**

## **Optimisation de la maintenance et modélisation**

## Introduction

L'optimisation de la maintenance et la modélisation ont fait l'objet de nombreux travaux. C'est un thème d'actualité et il serait illusoire de vouloir être exhaustif dans une bibliographie concernant ce domaine. Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle d'optimisation conceptuel, faisant intervenir le management de la qualité. Il s'agit d'utiliser la complémentarité MBF/TPM, en tenant compte du contexte socioculturel local. Pour justifier notre choix, une revue de la littérature a été présentée, notamment sur la dualité maintenance/ qualité, l'approche MBF, la méthode TPM ainsi que sur la combinaison MBF/TPM.

Nous avons rappelé les méthodes principales et classiques d'optimisation de la maintenance, avec leurs avantages et inconvénients, ainsi que les critères d'optimisation. Enfin, une méthodologie pour définir une maintenance appropriée a été élaborée.

## 3.1 Etude bibliographique

### 3.1.1 Optimisation de la maintenance

Une politique simple de maintenance ne peut éliminer toutes les défaillances et la maintenance préventive seule est insuffisante sans le contrôle de la qualité et la production. L'optimisation de la maintenance par le management de la qualité apporte les éléments nécessaires pour éviter ces défaillances qui peuvent altérer la qualité des produits finis ou du processus industriel. La qualité et la maintenance sont des éléments essentiels pour le bon fonctionnement de l'industrie et des services dans le but d'obtenir un niveau élevé de performance de l'entreprise. A cet effet, une approche innovante consistant à combiner la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) et la Total Productive Maintenance (TPM) est envisageable. De nos jours, peu de méthodes d'optimisation de la maintenance sont réellement opérationnelles dans les systèmes industriels. L'optimisation de la maintenance est un processus complexe du fait qu'il prend en considération différents critères qui peuvent être antagonistes. Selon Gard et Deshmukh [61], les modèles d'optimisation de la maintenance peuvent être qualitatif et quantitatif. Le premier cité comprend des techniques comme la TPM, la MBF, ... tandis que le deuxième comprend plusieurs modèles stochastiques comme le modèle de Markov, les modèles Bayésiens, etc... Dekker et Scarf [45] précisent que la MBF est une technique utile pour la structuration de la maintenance, par le biais duquel une optimisation appropriée est possible. Selon Dawid et al [43], l'optimisation de la maintenance utilisant des modèles mathématiques n'est pas une approche nouvelle; un nombre important de travaux et articles sur les modèles d'optimisation de la maintenance ont été réalisés entre 1970

et 1990. Ils précisent que la majorité des modèles mathématiques sont très complexes, ce qui les rend très difficiles pour être utilisés par les praticiens. Cela est confirmé par Zio, Kotamasu et al [154]. Bien que les modèles mathématiques ont été appliqués dans différents domaines relatifs à l'optimisation de la maintenance, ils demeurent cependant insuffisants. Dekker et Scarf [45] affirment que, vu la complexité des modèles mathématiques, leur application a été progressivement délaissée à cause du manque de données. Renesten [128] a étudié un nombre important de modèles et a constaté que tous sont spécifiques et ne peuvent pas être appliqués dans tous les cas. Sherwin [135] a aussi affirmé que les modèles mathématiques ne peuvent pas être appliqués sans un système de collecte de données détaillées sur les opérations, les défaillances, les modifications et les coûts imputés aux machines et équipements de l'entreprise. Plusieurs tentatives basées sur l'approche Markovienne ont été rapportées dans la littérature scientifique mais n'ont pas donné de solutions complètes. Il est aussi difficile de mener une politique de comparaison entre les différents modèles pouvant utiliser différents types d'informations [152].

Marquez et Heguedas [103] quant à eux, ont présenté des modèles semi-Markoviens probabilistes qui sont très flexibles pour la représentation d'un système donné, mais qui demeurent complexes et donc difficiles à appliquer lorsque le nombre des états possibles du système augmente. Dans sa thèse, Doganay [49] a étudié les difficultés des problèmes d'optimisation dans l'industrie et a constaté que plusieurs algorithmes d'optimisation fonctionnant dans un contexte théorique, ne peuvent pas être appliqués complètement dans l'industrie, et cela pour plusieurs raisons, d'après lui. Il cite par exemple, qu'il est difficile de trouver un modèle mathématique précis pour un phénomène du monde réel.

### 3.1.2 Maintenance et qualité

Le management de la qualité de l'entreprise selon l'ISO 9001 concerne tous ses services. Le management de la maintenance d'une entreprise certifiée ISO 9001 :2008 est conduit selon les procédures de cette certification. [81]. Donc, dans le cadre du management de la maintenance par la qualité, l'application de la norme ISO 9001 :2008 est considérée comme une norme de management interne. Il est mentionné et reconnu que la norme ISO 9000 est la plus utilisée pour l'implantation du système de management de la qualité. Elle est l'approche indiquée pour l'amélioration de la qualité. Les normes ISO 9000 apportent à l'entreprise une procédure bien documentée à suivre pour fournir des produits et services de qualité. La norme ISO 9000 peut être utilisée dans n'importe quel type d'organisation, sans tenir de sa taille, de son produit ou de son secteur [126]. La maintenance et la qualité ont longtemps été traitées

séparément. La relation entre la maintenance et les systèmes de production ainsi qu'avec la qualité du produit fini est à présent largement reconnue. Elle a contribué dans le développement des modèles intégrés [88] [51]. Maletic et al [94] considèrent qu'il y a une relation entre le management de la qualité en termes d'orientation client, de qualité, de prévention, de processus et de performance en maintenance. Ils ont aussi précisé qu'aucune des études menées n'a exploré le lien entre les différentes dimensions culturelles et la performance de la maintenance. D'autres comme Ben- Daya et Duffua ont montré que l'implantation d'une politique de maintenance efficace peut améliorer la qualité des produits. Ils ont mentionné que la maintenance et la qualité ne sont pas liées quand les coûts de non qualité sont supérieurs aux coûts de qualité. Ollila et Malmipuro [117] ont souligné l'impact important de la maintenance sur la qualité. Souris [144] a aussi montré dans son ouvrage comment accorder la maintenance à la qualité, alors que Lavina et Perruche [85] ont développé le concept « Maintenance et assurance qualité ». De leur côté, Tambe et Kulkarni ont développé un modèle pour déterminer les meilleurs paramètres pour le contrôle de la qualité et les meilleures stratégies de maintenance à appliquer sur les composants du système de production. Une implémentation réussie d'un programme de maintenance de grande qualité doit inclure une bonne organisation ainsi que l'introduction de la maintenance autonome, dans un cadre approprié. Dans le but d'assurer le succès escompté, les principes de maintenance de qualité (coopération, travail d'équipe et engagement..) doivent être appliqués dans toute l'organisation de l'entreprise [54]. Dans sa thèse, Obaid [116] a contribué dans l'état de l'art par le biais d'une étude approfondie sur les problèmes de qualité et maintenance. Il affirme que le lien entre la maintenance et la qualité, bien qu'il ne soit pas complètement omis dans la littérature, n'est pas abordé d'une manière adéquate. D'après le même auteur, et malgré que ce lien figure dans le concept TPM, il n'existe pas de modèles adéquats reliant directement la qualité à la maintenance.

### 3.1.3 Approche MBF

Sur la base de la revue de littérature, les résultats montrent et confirment l'importance de la MBF dans le processus d'optimisation. En effet, la méthode a été utilisée avec un succès notable durant plus d'une vingtaine d'années dans différentes industries. La MBF est aussi une technique pour développer le programme de la maintenance préventive et permet d'optimiser les différentes stratégies de maintenance basées sur les résultats de l'analyse des défaillances (Igba et al) [75]. Cela inclut l'identification des équipements critiques et le développement de la politique d'une maintenance optimale basées sur les données de fiabilité [60]. Il est clair que la

MBF est une théorie moderne et une méthode de maintenance innovante. Elle requiert un programme de maintenance organisée .En tant qu'approche, la MBF est basée sur l'identification des composants dont la défaillance peut causer des conséquences indésirables et peut directement affecter la bonne marche de la production [6].Le but de la MBF est de préserver la fonction la plus importante de l'équipement avec la fiabilité et la disponibilité requises avec le moindre coût de maintenance [110] .Les pannes peuvent être identifiées et analysées à l'aide des techniques de cette approche [42].

### 3.1.4 Méthode TPM

La TPM introduite par Nakajima [113] peut être considérée comme une méthode pour réaliser l'amélioration rapide de la production, elle introduit l'amélioration continue de la qualité. C'est une approche innovante [127] pour la maintenance en entreprise qui permet d'optimiser l'efficacité des équipements, d'éliminer les défauts et d'assurer une maintenance autonome, tout en impliquant tous les travailleurs.[15].

L'ensemble des tâches de la TPM sont classés en huit piliers pour l'accomplissement des améliorations dans la fabrication et pour inclure la maintenance autonome, la conception, la maintenance planifiée, la maintenance de la qualité, la formation, la TPM dans les structures fonctionnelles (bureaux), le management de la sécurité, la santé et l'environnement [148], [14]. Les huit piliers de la TPM ont été réduits à cinq dispositions majeures de la norme ISO 9001 :2008 [140] .La TPM est aussi considérée être une contribution indispensable à la Lean production qui assure une fabrication juste à temps et au management de la qualité totale (TQM) [8] .Singh et Ahuja [139] ont étudié les réussites et succès des entrepreneurs indiens dans l'application de la TPM et ont mis en évidence la contribution de cette dernière dans la réalisation des objectifs de l'entreprise. Ils ont indiqué que la TPM contribue solidement à la compétitivité et performance de l'entreprise .

### 3.1.5 Combinaison MBF/TPM

Aujourd'hui, dans l'économie de marché, plusieurs industries ont amélioré leur compétitivité en introduisant de nouvelles stratégies de maintenance afin de réduire les coûts de maintenance .Deux stratégies permettant d'atteindre des améliorations continues, à long terme, ont suscité un intérêt croissant au sein de l'industrie moderne. Ce sont la MBF et la TPM, ainsi que leur combinaison [54]. Ces approches unifiées ont été expérimentées dans les entreprises comme par exemple, la combinaison de la TPM avec la Lean production [109]. Il a été démontré que la MBF est orientée vers l'équipement, alors que la TPM est le management du système et s'oriente vers le facteur humain. En tenant compte et en s'appuyant sur quelques-

uns des éléments des deux systèmes (MBF et TPM), une nouvelle approche peut être développée pour combler le vide dans le domaine de la maintenance [69].

Igba et al [75] précisent que l'implantation judicieuse de la MBF devrait être totalement intégrée avec le design, la production et le management de la qualité. Ben-Daya a aussi décrit la nature de la TPM et la MBF et la relation entre ces deux méthodes. Il a insisté sur le management de l'équipement et la formation des employés, avec l'introduction comme stratégie clé la TPM, il ajouta que la MBF est indispensable pour le développement d'un programme de maintenance préventive efficace. La MBF et la TPM sont parmi les multiples approches de management focalisées sur l'optimisation de la maintenance et services. Enfin, ces deux méthodes assurent un cadre pour définir une stratégie complète et globale de la maintenance [3].

### **3.2 Présentation des principales méthodes d'optimisation de la maintenance**

#### **3.2.1 Utilisation des réseaux de Pétri**

Les réseaux de Pétri sont fréquemment utilisés pour la modélisation des performances des systèmes. Leur pouvoir d'expression est en effet assez bien adapté à un usage industriel.

Assez rares dans le domaine de la maintenance jusqu'à peu, on trouve désormais de plus en plus de travaux d'évaluation des performances de politiques de maintenance basés sur le formalisme des réseaux de Pétri stochastiques, bien souvent associé à la simulation de Monte Carlo [57].

#### **3.2.2 Utilisation du modèle de Monte Carlo**

Le modèle de Monte Carlo permet de représenter, à l'aide des informations disponibles, le comportement d'un système, le comportement de ses matériels, ainsi que les effets de la maintenance [57]. Cependant, comme tout modèle, il ne permet pas de représenter complètement la réalité. Aussi, pour prévoir l'évolution future du système en se rapprochant au mieux de la réalité, on utilise le principe de simulation de Monte Carlo

#### **3.2.3 Utilisation des réseaux de Bayes**

Les réseaux Bayésiens sont des modèles graphiques interprétés à partir de systèmes experts probabilistes pour représenter des relations qualitatives et quantitatives entre plusieurs variables au travers de dépendances et de probabilités conditionnelles. Ils sont encore peu connus et utilisés en fiabilité mais tendent à émerger pour répondre à des problématiques d'optimisation des politiques de maintenance [57].

### 3.2.4 Utilisation de l'approche Markovienne

L'approche markovienne est la doyenne des méthodes mises en œuvre pour le traitement probabiliste des systèmes ou processus se comportant dynamiquement. On considère le système comme un ensemble de composants pouvant se trouver dans un nombre fini d'états de fonctionnement ou de panne.

### 3.2.5 Optimisation par l'utilisation de la loi de Weibull

On peut optimiser la maintenance en caractérisant le comportement d'un système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la loi de Weibull décrit en général le comportement de la fiabilité d'une entité mécanique. Elle est caractérisée de façon générale par trois paramètres qui sont :

1) le paramètre de décalage : noté  $\tau$ , ce paramètre représente une origine temporelle pour cette loi. Il prend ses valeurs dans tout entier. Lorsque  $\tau$  est négatif, l'entité peut être défaillante à l'instant initial  $t = 0$ .

2) le paramètre d'échelle : Il est noté  $\alpha$ . Lorsque la loi de Weibull se ramène à une loi d'exponentielle,  $\alpha$  est le temps moyen entre défaillances (MTBF) de l'entité.

3) le paramètre de forme : ce paramètre est noté  $\beta$ . Il impose la forme de la loi et, influe fortement sur la cinétique de dégradation de l'entité. Plus ce paramètre est grand, plus la dégradation est rapide. Les cas où  $0 < \beta < 1$  correspondent à la période de jeunesse de l'entité.

Les cas où  $\beta = 1$  correspondent à la période de maturité de l'entité. Cette période peut être plus ou moins longue suivant le type d'entité ; elle détermine la forme aplatie ou recourbée de la courbe en baignoire représentant les variations du taux de défaillance.

### 3.2.6 Optimisation de la maintenance par l'AMDEC

Les coûts de la maintenance se composent essentiellement de deux composantes : les coûts directs et les coûts indirects.

L'étude AMDEC permet principalement d'optimiser les coûts indirects. En effet elle constitue une méthode de diagnostic intelligente dans la mesure où elle permet de prévoir un certain nombre de faiblesses, de défauts, d'anomalies et de pannes au niveau de l'ensemble des éléments qui concourent à la fabrication d'un produit [57].

### 3.2.7 Optimisation de la maintenance par la GMAO

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) est un outil destiné aux équipes de maintenance, son but étant d'être un outil de suivi, de planification et d'optimisation du service maintenance.

Une GMAO vise en premier lieu à assister les services maintenance des entreprises dans leurs missions. Un service de maintenance, selon la définition de l'AFNOR, cherche à maintenir ou à rétablir un bien (équipement) dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. Une GMAO peut également être utile dans d'autres services de l'entreprise, comme la production ou l'exploitation (afin de fournir des informations sur l'état des équipements), ainsi que la direction financière ou générale de l'entreprise, en fournissant des indicateurs facilitant les prises de décisions en matière de renouvellement de parc, par exemple.

Ainsi, les fonctions les plus courantes de ces progiciels sont :

- Gestion des équipements : inventaire des équipements, localisation, gestion d'informations dédiée par type d'équipement (Production, bâtiments, véhicules, réseaux, ordinateurs, etc.)

- Gestion de la maintenance : corrective (avec OT : Ordre de Travaux, ou BT : Bon de Travaux, ou ODM : Ordre De Maintenance), préventive (systématique, conditionnelle, prévisionnelle), etc. Ce module comporte souvent des fonctionnalités ouvertes à des utilisateurs au-delà du service de maintenance, comme une gestion des Demandes d'Intervention (DI), permettant à toute personne autorisée de l'entreprise de signaler une anomalie devant être prise en considération par la maintenance.

- Gestion de la mise en sécurité des installations pour les travaux de maintenance : consignation, centralisation, autorisation de sécurité, déconsignation, etc., pour permettre le verrouillage optimal d'une installation pendant des opérations de maintenance. Gestion des stocks : magasins, quantités minimum ou maximum de réapprovisionnement, analyse ABC, listes de sélection, référencement et recherche, articles de rechange, catalogue fournisseurs...

- Gestion des achats : de pièces détachées ou de services (sous-traitance, forfait ou régie), cycle devis / demande d'achat / commande / réception & retour fournisseur, facturation, etc.

- Gestion du personnel et planning : activités, métiers, planning de charge, prévisionnel, pointage des heures, etc.

- Gestion des coûts et budget : de main d'œuvre, de stocks, d'achat, de location de matériel, etc., préparation des budgets, suivi périodique, rapports d'écart, etc.

- Indicateurs clés de performance (Key Performance Indicators, KPI) : cockpit de pilotage ou tableau de bord pour le manager (requêtes de base de données concernant des statistiques, des alertes, etc.) [57]

### **3.2.8 Optimisation de la maintenance par une approche Lean**

L'entreprise doit définir la stratégie de maintenance la plus adéquate lui permettant d'atteindre la performance requise de son système de production. Dans ce contexte, les objectifs de Lean ont été intégrés aux objectifs de la maintenance afin de formaliser un nouveau concept : le Lean maintenance. Le concept « Lean maintenance » est relativement nouveau introduit dans la dernière décennie du 20<sup>ème</sup> siècle, mais les principes sont établis dans la TPM. La théorie de Lean maintenance est un concept de maintenance avancée et la méthode vise à minimiser le phénomène de gaspillage [57]

### **3.2.9 Optimisation de la maintenance par la MBF**

La MBF est une méthode destinée à établir, comme nous le savons, un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques.

L'objectif de la MBF est de proposer aux entreprises une méthode structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées, cela à partir d'une démarche participative afin d'améliorer la disponibilité des équipements. L'objectif principal est clair : améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif "allant à l'essentiel", mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance [129].

Le "MBF groupe équipement" est chargé du recueil des données sur le terrain. Il comprend des personnes venant des services production et maintenance qui connaissent le mieux l'équipement étudié. Après l'analyse de l'équipement par un groupe pilote, il valide et définit les actions de maintenance à entreprendre et élabore les actions préventives à mettre en place ainsi que leur répartition entre la production et la maintenance.

### 3.2.10 Optimisation de la maintenance par la TPM

La TPM met l'accent sur l'organisation des ressources productives pour améliorer la disponibilité des équipements qui, par définition est « l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée » . La TPM a pour objectifs :

- d'améliorer l'efficacité du service maintenance (maintenance préventive, systématique ou conditionnelle, la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur - GMAO),
- de mettre en place l'auto maintenance,
- de suivre quantitativement la productivité des équipements en améliorant le Taux de Rendement Synthétique (TRS),
- d'améliorer la productivité globale des équipements sur tout le cycle de vie.

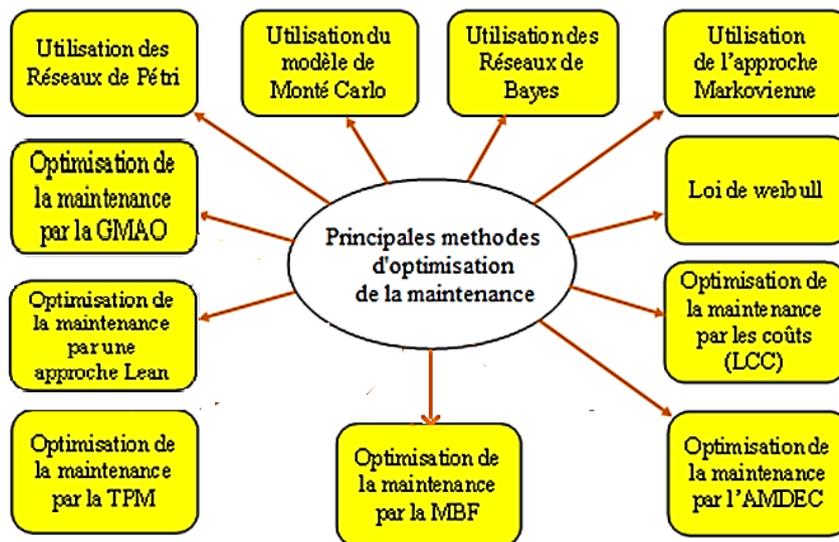


Figure 3. 1 . Principales méthodes d'optimisation de la maintenance [57][23]

### 3.3 Avantages et inconvénients des principales méthodes d'optimisation de la maintenance

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Utilisation des réseaux de Pétri	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fort pouvoir descriptif</li> <li>- Possibilité d'analyser le comportement d'un système en présence d'une défaillance</li> <li>- Permettent de calculer les probabilités et les statistiques ainsi que la prise en compte des évènements aléatoires comme l'occurrence de défaillances</li> <li>- Outils performant de modélisation, d'analyse et d'évaluation des systèmes</li> <li>- Support graphique,</li> <li>- Possède des propriétés analytiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lecture difficile,</li> <li>- Provoque parfois des erreurs lors la représentation graphique</li> <li>- Nécessite des outils de simulation performants, donc coûteux.</li> </ul>
Utilisation du modèle de Monte Carlo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul des quantités déterministes</li> <li>- Calculs des prix des options en finances,</li> <li>- Méthode très puissante en termes de modélisation des systèmes complexes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de calcul assez important</li> <li>- Risque d'erreur</li> <li>- Simulation assez compliquée.</li> </ul>
Utilisation des Réseaux de Bayes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporation de connaissance sur le domaine</li> <li>- Permet de modéliser les relations non-déterministes</li> <li>- Associe les probabilités aux prédictions, ce qui est utile dans les nombreux domaines où les connaissances sont incertaines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite des probabilités dont la détermination requière typiquement de grandes quantités de données ou plusieurs connaissances a priori,</li> <li>- Nécessite un coût de calcul relativement élevé</li> <li>- La compréhension des réseaux peut devenir difficile</li> </ul>
Utilisation de l'approche Markovienne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plusieurs méthodes probabilistes utilisent le modèle de Markov</li> <li>- Fondée sur des processus de temps continus</li> <li>- Interprétation directe des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficile, s'il y a une explosion combinatoire du nombre d'états susceptible d'être occupés par le système dont on souhaite modéliser le comportement</li> <li>- Impossibilité de traiter des opérations de synchronisation ou de parallélisme entre processus</li> </ul>

<p>Optimisation par l'utilisation de la loi de Weibull</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son paramètre d'échelle <math>\alpha</math> permet de contracter ou de dilater à volonté l'échelle des temps</li> <li>- Facilite l'utilisation grâce à la transformation d'Allain Plait</li> <li>- Outils à la fois simple, puissant et d'un maniement aisé</li> <li>- Existence du logiciel-Résultats précis par calcul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats peu précis par graphique</li> <li>- Calculs longs et lourds parfois</li> </ul>
<p>Optimisation de la maintenance par les coûts (LCC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet l'optimisation du coût global d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie</li> <li>- Existence des logiciels</li> <li>- Vision globale de l'impact environnemental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficulté majeure d'estimation des différents coûts intervenant durant le cycle de vie d'un équipement</li> <li>- Manque de précision</li> <li>- Valeurs obtenues pouvant difficilement être utilisées</li> </ul>
<p>Optimisation de la maintenance par l'AMDEC</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenance préventive poussée</li> <li>- Optimisation des tâches de maintenance préventive</li> <li>- Intéressante pour la sûreté de fonctionnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne permet pas d'avoir une vision croisée des pannes possibles et de leurs conséquences</li> <li>- Ne permet pas de tenir compte des phénomènes dynamiques</li> <li>- La qualité d'une AMDEC est liée à l'exhaustivité des modes de défaillances identifiés</li> <li>- Optimise uniquement les coûts directs.</li> </ul>
<p>Optimisation de la maintenance par la MBF</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démarche rationnelle et structurée</li> <li>- Gain économique</li> <li>- Amélioration de la disponibilité</li> <li>- Hiérarchisation des défaillances des tâches de maintenance préventive qui simplifie la prise de décision et le pilotage de maintenance</li> <li>- Fiabilité maximale obtenue</li> <li>- Maintenance sélective à partir de la criticité des équipements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne tient pas compte du contexte socioculturel</li> </ul>

<p>Optimisation de la maintenance par la TPM</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la productivité</li> <li>- Amélioration de la qualité</li> <li>- Amélioration de la satisfaction des employés</li> <li>- Facilité de développement de la TPM dans l'activité de process.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représente un grand effort</li> <li>- Mobilise l'entreprise pendant longtemps</li> <li>- Ne tient pas compte du contexte socioculturel</li> </ul>
<p>Optimisation de la maintenance par une approche Lean</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction des sources de gaspillages</li> <li>- Amélioration des lignes de production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité dégradation des conditions de travail associées au mode d'organisation en Lean Maintenance</li> </ul>
<p>Optimisation de la maintenance par la GMAO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaissance complète des équipements</li> <li>- Partage des connaissances</li> <li>- Amélioration du retour d'expérience (REX)</li> <li>- Amélioration de la planification des interventions</li> <li>- Traçabilité, complète des interventions</li> <li>- Meilleure maîtrise des coûts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Délais de mise en place trop importants</li> <li>- Logiciel trop consommateur de temps</li> <li>- Coûts trop élevés</li> </ul>

**Tableau 3. 1 .** Tableau récapitulatif des avantages et des inconvénients des principales méthodes d'optimisation de la maintenance [57] [23]

**3.4 Critères retenus pour l'optimisation de la maintenance.**

Lors de notre passage à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Paris (ENSAM), une liste de critères nous a été proposée. Elle a été ensuite discutée et approuvée par les responsables de maintenance et de production de l'entreprise Alzinc( lieu d'étude empirique). Ces critères sont les suivants :

- critères techniques (MTBF, MTTR, Taux d'arrêt, TRS)
- critère économique (coûts de maintenance)
- critère socioculturel (dimensions culturelles) qui n'est pas cité et pris en

considération dans la littérature qui concerne l'optimisation de la maintenance.

Le contexte socioculturel (dimensions culturelles) est sans doute le critère le plus fondamental à prendre en compte dans l'analyse des situations. En effet, la culture dirige nos actions et c'est le système culturel entier d'un pays qu'il faut comprendre pour pouvoir comprendre ce que sont par exemple , ses entreprises et ce qu'elles peuvent ou non devenir.

### 3.5 Elaboration d'une maintenance appropriée

#### 3.5.1 Méthodologie pour la définition d'une maintenance appropriée

La définition de maintenance appropriée consiste à savoir reconstituer à partir du processus principal, les plans de maintenance les plus adaptés.

Cela se fera à partir des outils présentés s'appuyant sur la méthodologie en trois étapes que nous présentons ci-après :

- **Etape 1** dresse un cadre méthodique

Ce cadre peut être formalisé sous forme de logigramme comme représenté sur la **figure 3.2** :

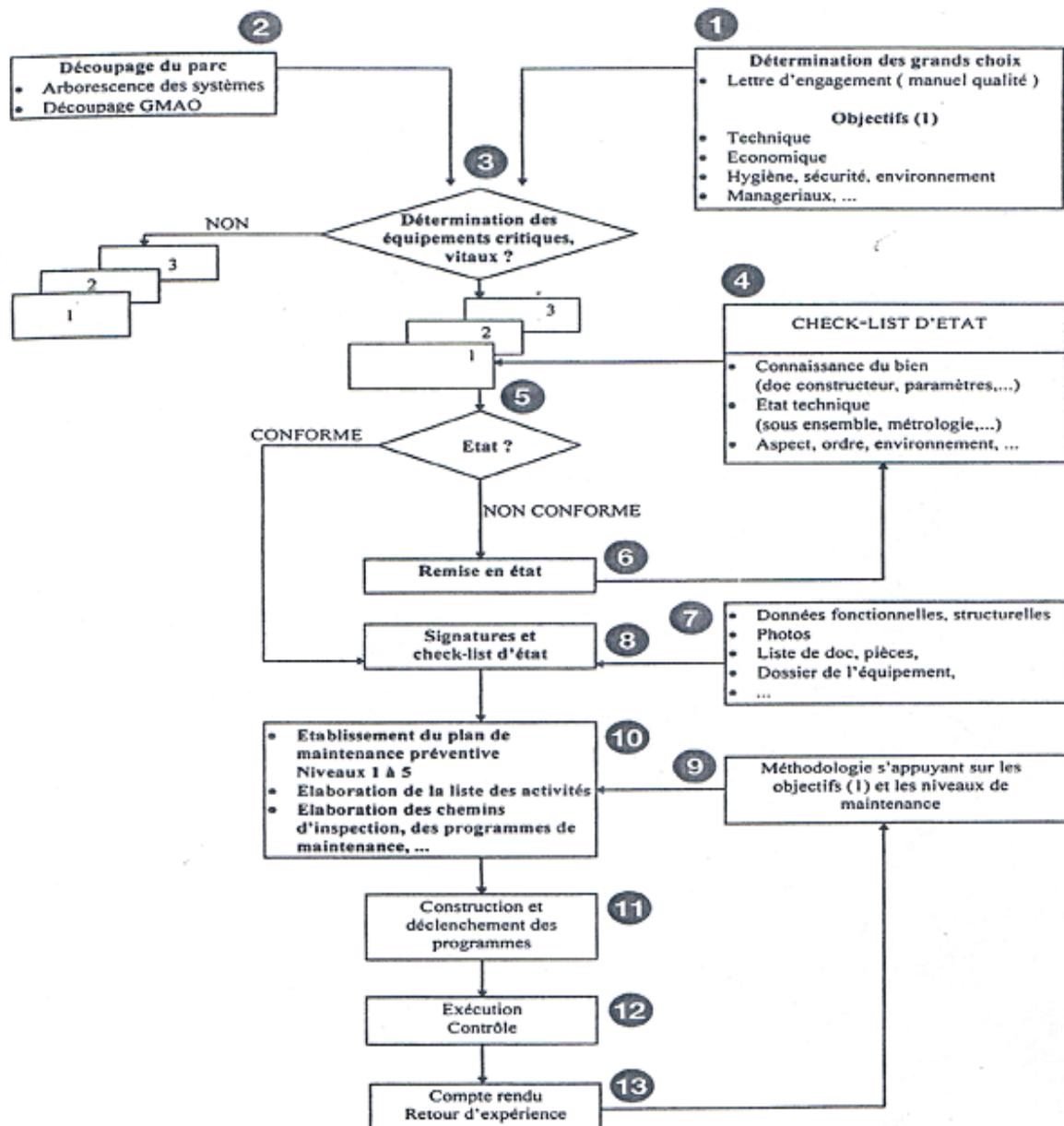


Figure 3. 2 . Cadre méthodique d'élaboration d'une maintenance appropriée [85]

- **Etape 2** définir ce qu'est un niveau de maintenance voire un niveau de complexité.

La norme X60-010 nous propose un découpage à cinq niveaux, d'une part pour classer les différentes opérations de maintenance en fonction de leur importance, et d'autre part pour déterminer la famille d'intervenants la plus à même de réaliser les opérations en toute sécurité.

- **Etape 3** détermine la logique pour effectuer la maintenance appropriée

Cette logique traduit la manière adoptée par l'entreprise pour bâtir ses plans de maintenance.

### 3.5.2 Système documentaire pour la fonction maintenance

#### a) Maîtrise des documents relatifs à l'assurance de la qualité en maintenance

La maîtrise des documents relatifs à la maintenance, pour ce qui concerne son intégration dans le système qualité, requiert :

- des règles précises d'élaboration : qui fait quoi ?
- une identification et un enregistrement de ceux-ci,
- des règles de diffusion,
- des règles de mise à jour, modification voire élimination,
- des règles de stockage et d'archivage.

#### b) Elaboration des documents

L'approche littérale qui consiste à décrire les processus à l'aide de phrases tend à être remplacée par des techniques certes parfois limitées en précision mais qui offrent une lisibilité accrue. Dans ces techniques nous trouvons :

- pour les supports "papier" :
  - l'insertion de pictogrammes type "clip art", croquis, photos numérisées,...
  - l'utilisation de logigramme, de symbolique comme le grafcet,...
- Pour les supports "électroniques" :
  - logiciels de gestion électronique documentaire ;
  - logiciels de dessin orientés logigramme

#### c) Identification des documents

Il convient d'identifier :

- qui rédige ?
- qui examine ?
- qui approuve ?
- qui coordonne ?

Une fois le document rédigé par le rédacteur et les détenteurs du besoin, l'examineur apprécie la forme et le fond du document et l'approbateur apprécie la pertinence et la cohérence du document avec les objectifs et les règles qualité de l'entreprise.

#### **d) Diffusion des documents**

On peut avoir deux types de diffusion :

- la diffusion contrôlée

Des dispositions sont prises pour s'assurer que seuls les destinataires identifiés reçoivent les documents. Il convient de préciser et mettre au point l'élimination des versions périmées et la réception des versions actualisées. La liste des destinataires doit également être tenue à jour.

- la diffusion non contrôlée

Les documents, une fois diffusés à leur destinataire, ne sont pas soumis à la mise à jour; la mention "diffusion non contrôlée" est inscrite sur le document.

#### **e) Modification des documents**

Il convient de définir pour chaque type de document, selon une procédure, les règles de modification de ceux-ci.

- Qui peut modifier les documents ?
- Selon quel circuit et dans quelles circonstances ?

#### **f) Contrôle des documents**

Le contrôle le plus approprié se situe au niveau de l'utilisateur du document toutefois dans la pratique, l'audit reste un excellent moyen pour vérifier la pertinence d'une procédure, d'un mode opératoire...

#### **Conclusion**

A travers l'étude bibliographique qui regroupe de nombreux modèles mathématiques d'optimisation de la maintenance, nous nous sommes rendu compte que ces derniers ne prennent pas en considération le critère socioculturel et semblent peu propices à une utilisation concrète à cause de leur complexité, notamment dans le contexte industriel algérien. Nous avons constaté également que le management et la démarche de la qualité ignorent l'aspect culturel. D'autre part, le choix de la complémentarité des deux méthodes, la MBF et la TPM, est justifié par la nécessité d'intégrer les concepts de fiabilité et de qualité, dans le but d'augmenter la disponibilité des équipements, de diminuer les coûts de maintenance et d'assurer un retour d'expérience exploitable. Enfin, la MBF et la TPM s'adaptent très rapidement à l'évolution des besoins de méthodes, des comportements sociologiques et permettent aussi de former des opérateurs pour mieux connaître les équipements et améliorer la sécurité dans leur travail, tout en préservant l'environnement.

# **Chapitre 4**

## **Fiabilité des équipements**

## **Introduction**

La conjoncture actuelle technologique impose des prises de décision rapides et efficaces. C'est pourquoi dans le langage industriel, la maintenance est liée aux risques de défaillances et à la fiabilité des équipements. On ne saurait aborder la maintenance des équipements et les questions qui lui sont liées sans évoquer le concept de défaillance et de fiabilité qui, comme on le sait, est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise ou degré de confiance que l'on accorde dans des conditions données pendant une durée donnée.

### **4.1 Défaillances et enjeux stratégiques**

Dans le langage industriel, la maintenance est liée au risque de défaillance d'un produit et consiste à pallier à ce risque. Un matériel, aussi bien conçu qu'il soit, n'échappe pas, l'expérience le prouve, à certaines pannes en dehors de celles provoquées par un stockage, une mauvaise utilisation ou un manque de précaution dans la manutention. Il serait illusoire de vouloir construire des équipements de qualité, satisfaisant le besoin des clients et utilisateurs, dans l'ignorance de ce que seront leur pathologies en marche dans un environnement de fonctionnement ou de vouloir réaliser une intervention corrective, apporter un remède durable amélioration technique à une défaillance non élucidée. La réparation définitive, opposée au dépannage provisoire, s'appuie sur le diagnostic de la défaillance : c'est une action sur la cause. Le seul préventif juste est celui qui se déduit de la compréhension d'une défaillance-source de richesse : on ne peut vraiment prévenir que ce que l'on connaît. La défaillance est une source de progrès en maintenance et en conception, si elle est correctement exploitée. C'est un excellent point d'appui pour tenir compte de leçon du passé, car toute défaillance a une cause qui aurait pu être prévue donc prévenue. De ce fait, la connaissance de l'installation est impérative. Donc, pour chaque système, il est important de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions d'exploitation et l'environnement dans lequel il travaille

#### **4.1.1 Terminologie de la défaillance**

Par définition, la défaillance (D'après la norme X60- 500) est « la cessation ou l'altération de l'aptitude d'un composant à accomplir une fonction requise ». C'est le passage d'un état à un autre état, par opposition à une panne qui est un état. C'est une condition insatisfaisante. Un processus est dit en état de défaut, de détérioration ou de panne si les relations de cause à effet, liant les variables du système, sont modifiées. La terminologie défaut, détérioration, panne est tout à fait progressive : défaut implique non-conformité dans la relation cause à effet, détérioration implique perte de performance et panne, arrêt ou non de fonctionnement. Cette

définition peut être étendue : toute opération ou application qui ne donne pas satisfaction, qui n'atteint pas son but ou qui engendre des effets secondaires indésirables constitue un défaut. Pour certains systèmes, nous parlons de défaillance lorsque les grandeurs caractéristiques évoluent en dehors de certaines limites de fonctionnement établies auparavant. Quelle que soit l'appellation retenue, le défaut ou la défaillance existe sous différentes formes et peut affecter différentes parties ou composants d'un équipement.

Nous concevons dans ce qui suit qu'un système est considéré défaillant ou hors d'usage, s'il n'est pas mesure de réaliser la fonction pour laquelle il a été conçu.

Il faut rappeler que l'AMDEC est une méthode d'analyse permettant de mettre en évidence de façon prospective un certain nombre d'organes ou de machines critiques pour la sécurité ou la fiabilité d'un système après inventaire des défaillances élémentaires possibles.

#### 4.1.2 Types de défaillances

La défaillance peut être qualifiée et classée de différentes manières, en fonction de sa rapidité de manifestation, de son degré d'importance, des causes, des conséquences, de son caractère, de son origine,....etc. Le passage d'un état de fonctionnement à un état défaillant pouvant se manifester en fonction du temps de manière progressive ou par dérives (par usure ou fatigue, catalectiques (soudaines) ou de façon aléatoire.

#### 4.1.3 Causes de défaillances

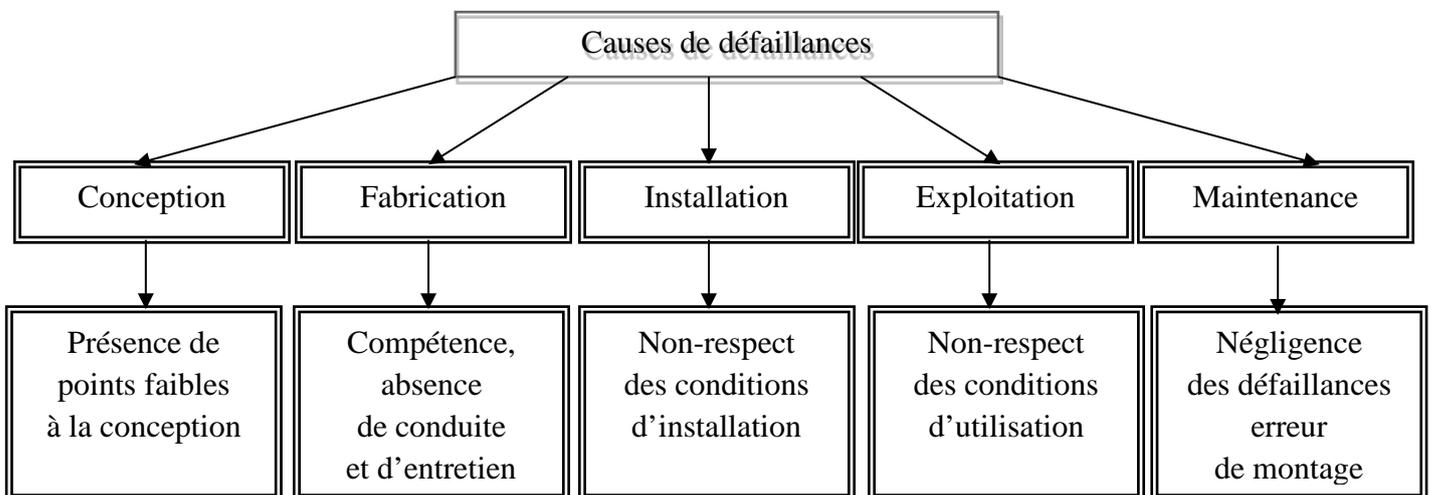
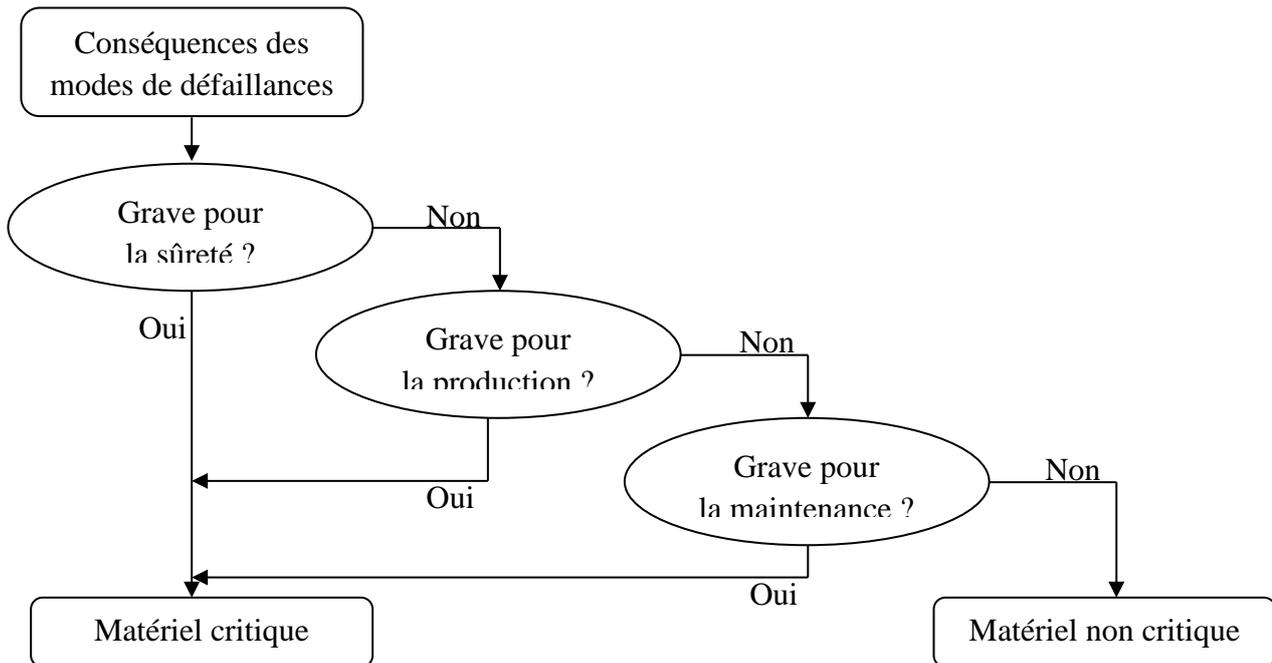


Figure 4. 1 . Causes de défaillance [30]

Un arbre de décision aide à classer les défaillances :

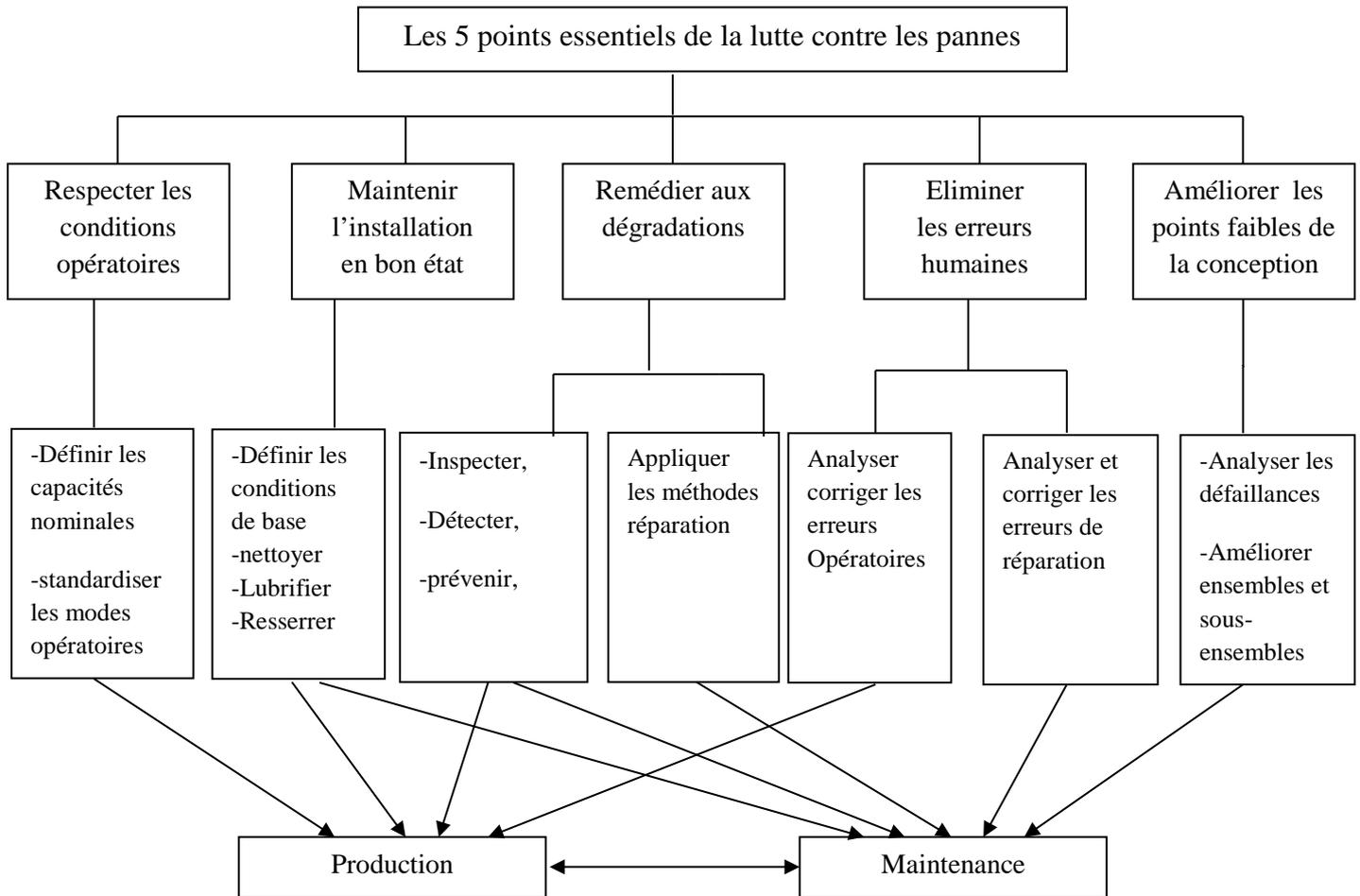


**Figure 4. 2 .** Arbre de décision pour la classification des défaillances [155]

#### 4.1.4 Règle de l'efficacité

Afin d'obtenir le maximum d'efficacité, il convient de respecter un certain nombre de principes. En premier lieu pour maîtriser les pannes, il faut savoir les identifier et mesurer leur incidence. Il convient ensuite de les analyser et rechercher sur un effet constaté, la cause initiale d'une défaillance. Il ne sert à rien de changer plusieurs fois de suite une même pièce, ou d'intervenir plusieurs fois de suite sur la même panne ou incident, si l'on n'a pas recherché la cause initiale de ce problème. Troisièmement il faut prêter attention aux points les plus sensibles ou vulnérables des équipements en utilisant l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) et reconnaître les situations génératrices de conflits à l'intérieur de l'entreprise afin de mettre en place les dispositifs pour les gérer, puis favoriser l'appropriation de la machine par l'opérateur, il la soignera d'autant mieux qu'il la considérera comme sienne. Finalement, l'organigramme de l'entreprise doit être adapté aux besoins de la production en rapprochant tous ceux qui peuvent générer de la disponibilité opérationnelle. Or la maintenance par sa définition, est étroitement liée à la production, c'est pourquoi les rôles des services de production et de la maintenance doivent être coordonnés, (**figure 4.3.**) La conjoncture actuelle technologique impose des prises de décision rapides et efficaces. C'est pourquoi dans le langage industriel, la maintenance est liée aux risques de défaillance d'un produit et consiste à palier à ce risque. De ce fait, il est important de définir la panne, de

comprendre les phénomènes de la défaillance et de dégradation des matériels afin de mettre en place une politique de maintenance adéquate.



**Figure 4. 3 . Rôles des services production et maintenance [30]**

## 4.2 Mesure de la fiabilité

Pour simplifier, d'un point de vue maintenance, la fiabilité est la probabilité qu'un système ne connaisse pas d'aléa de fonctionnement durant un certain temps. Calculée à partir de donnée sur le comportement passé de ce système, cette probabilité se désigne sous la terminologie d' « espérance mathématique ». Pour évaluer cette fiabilité, il est donc nécessaire de recourir à certain outils mathématiques de calcul de probabilité. L'objet n'est pas ici de présenter de façon détaillée les différentes lois, retenons simplement que l'utilisation de quelques-unes peut être nécessaire pour la détermination de la fiabilité

### 4.2.1 Différentes lois

#### 4.2.1.1 Loi binomiale

Elle permet d'évaluer les nombre d'éléments défaillants d'un échantillon prélevé dans une population dont on connait la probabilité de défaillance.

$$P(x = k) = C_n^k \times P^k \times (1 - P)^{(n-k)} \text{ avec } C_n^k = \frac{n!}{(n - k)! \times k!} \quad (4.1)$$

Espérance mathématique est  $n \times P$

#### 4.2.1.2 .Loi hypergéométrique

Lorsque l'échantillon ( $n$ ) est très important par rapport à la population de départ ( $N$ ) ( $n/N > 0.1$ ), il n'est pas possible d'utiliser la loi binomiale.

#### 4.2.1.3 Loi de Poisson

Elle permet, lorsque l'on connaît le taux de défaillance d'un système sur une longue période de calculer la probabilité d'une panne sur une période plus courte. Le temps d'une production par exemple :

$$P(x = k) = \frac{e^{-m} \times m^k}{k!} \quad (4.2)$$

et l'espérance mathématique  $E(x) = m$

#### 4.2.1.4 Loi normale

Lorsque des données (TBF par exemple) suivent une loi normale, les valeurs symétriquement réparties moyenne. A l'aide de tables on connaît pourcentage de population entre 0 et  $x$  fois l'écart-type. Cette loi peut être utilisée pour détermination de périodes d'intervention systématique .

L'espérance mathématique est  $E(t) = m$

#### 4.2.1.5 Loi log-normale

Cette loi peut être utilisée dans les cas où contrairement à la loi normale, la distribution des données n'est pas symétrique.

$$\text{L'espérance mathématique est } E(t) = e^{(m + \frac{\sigma^2}{m})}$$

Les 2 lois qui suivent sont avantageusement et fréquemment utilisées en maintenance.

#### 4.2.1.6 Loi exponentielle

Elle est particulièrement bien adaptée lorsque le taux de défaillance est constant. De fait, on l'emploie dans le cas de matériels électriques ou électroniques et pour les systèmes mécaniques lors de leur période maturité L'espérance mathématique est  $E(t) = \frac{1}{\lambda}$  et son expression est  $R(t) = e^{-\lambda t}$  et représente rallume de la fiabilité en fonction du temps.

A cette fonction  $R(t)$  est associée une fonction  $F(t) = 1 - R(t)$  dite fonction de répartition. Elle représente en quelque sorte la probabilité, en fonction du temps, de connaître une défaillance. La densité de probabilité  $f(t)$  peut se définir ainsi : c'est la réapparition probable des défaillances appelée aussi distribution des défaillances :

$$f(t) = \lambda(t) \times R(t) = \lambda \times e^{-\lambda t} \quad (4.4)$$

Le taux de défaillance est quant à lui :  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \times e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \text{constante}$

Ainsi, il est possible, soit par le calcul, soit graphiquement, de déterminer fiabilité  $R(t)$  pour toutes les valeurs de  $t$ .

Malgré l'inconvénient de cette loi qui la réserve aux systèmes à taux de défaillance constant, elle est fort intéressante pour la détermination des périodicités d'intervention en maintenance préventive systématique, maintenance parfaitement adaptée aux avaries à fréquence régulière.

#### 4.2.1.7 Loi de Weibull

Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quelque soit le taux de défaillance. Elle s'adapte à toutes les valeurs mais permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie (jeunesse, maturité, obsolescence) se trouve le système étudié.

Les trois paramètres  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$  de son expression :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.5)$$

permettent une analyse plus fine et donc une image plus précise de l'état du système

Le paramètre  $\beta$  fournit des indications à la fois qualitatives et quantitatives du taux de défaillance instantané, Si  $\beta$ , paramètre de forme, autrement dit indicateur de la forme de la courbe de densité de probabilité, est  $< 1$  alors  $\lambda(t)$  est décroissant, indication qui précise que le système est en période de jeunesse. Maintenant si  $\beta$  est égal ou très voisin de 1. C'est le signe d'un comportement régulier du système avec un taux de défaillance sensiblement constant. C'est donc la période de maturité, la plus longue dans le cycle de vie d'un matériel. Enfin si la valeur du paramètre de forme est supérieure à 1, alors le modèle de Weibull est encore plus instructif. Dans ce cas  $\beta$  révèle d'abord une phase d'obsolescence et c'est l'expression quantitative qui retiendra davantage l'attention - systèmes mécaniques principalement - car il est possible de lier la valeur au degré d'obsolescence du matériel.

### 4.3. Courbe en baignoire

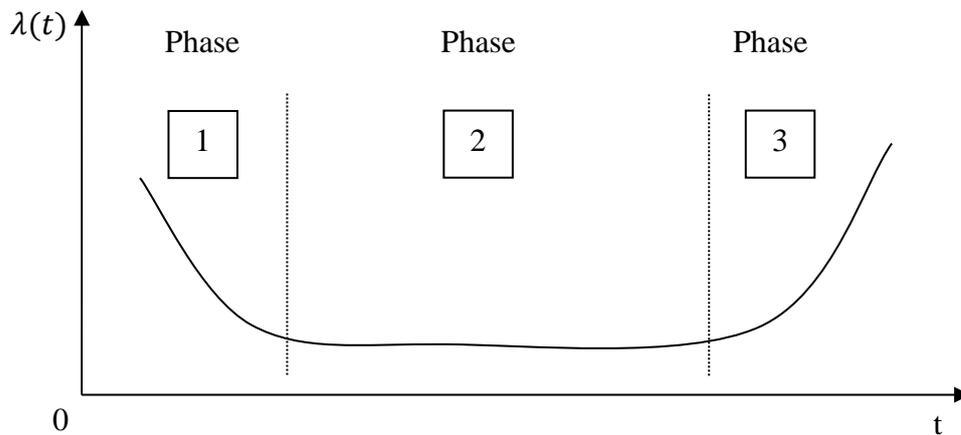


Figure 4. 4 . Courbe en baignoire [18]

La courbe en baignoire donne l'évolution du taux de défaillance au cours de la durée de vie d'un équipement. Elle est constituée de trois phases :

**a) Phase 1 : phase de jeunesse**

Cette phase correspond à la période de rodage . L'équipement démarre, en général, avec un taux de défaillance élevé et donc, une fiabilité assez faible. Dans cette période, la fiabilité va connaître une amélioration rapide. C'est la période de la garantie constructeur. Les défaillances sont, essentiellement issues de la conception et de la fabrication. Ces dernières sont aléatoires et imprévisibles. Dans ce cas, le diagnostic est particulièrement difficile et il est réservé au concepteur. Il y a deux moyens pour atténuer l'effet de jeunesse :

- faire vieillir l'équipement.
- utiliser un équipement de qualité.

**b) Phase 2 : phase de maturité**

C'est la période où la fiabilité est la meilleure, de plus , elle est presque constante . le taux de défaillance peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad (4.6)$$

Les défaillances sont des défaillances de dégradation, dues à l'utilisation. Elle sont prévisibles et sont la cible de la maintenance préventive. Le diagnostic est beaucoup plus facile que la première phase.

**c) Phase 3 : phase de vieillesse (obsolescence)**

C'est une période où la fiabilité se détériore avec une constance remarquable.

La maintenance préventive doit permettre de retarder le plus possible l'obsolescence. Elle doit, donc, permettre d'augmenter la durée de vie de l'équipement.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons rappelé en premier lieu , les types, la classification et les causes de défaillances, avec les enjeux stratégiques .Nous avons souligné dans un second lieu ,qu'il était important de comprendre les phénomènes de ces défaillances ainsi que la dégradation des équipements afin de mettre en place une politique de maintenance appropriée, grâce à une analyse AMDEC .Enfin, nous y avons rappelé également que pour évaluer la fiabilité des équipements, on peut recourir à l'utilisation de quelques lois en fonction du comportement et la période de vie des équipements.

## **DEUXIEME PARTIE**

**Conduite du changement  
par la synergie MBF/TPM  
et dimension socioculturelle**

**Chapitre 5**  
**Prise en compte de la dimension**  
**socioculturelle**

## **Introduction**

Le contexte socioculturel représente les forces sociales et culturelles qui exercent une influence sur l'organisation de l'entreprise. Pour mieux connaître l'entreprise, il faut comprendre le système culturel entier du pays et prendre en considération le contexte socioculturel, c'est-à-dire ses dimensions culturelles.

### **5.1 Culture nationale et performance de l'entreprise**

Plusieurs travaux de sociologie du travail ont conduit à reconnaître l'importance de concept de culture et sa validité d'aborder les problèmes d'organisation. Beaucoup d'ouvrages ont abordés également la question des liens qui peuvent s'établir entre la culture nationale et la performance de l'entreprise [124]. D'autres se sont intéressés aux facteurs humains et culturels, particulièrement aux interférences entre les composantes culturelles nationales et l'organisation des entreprises ainsi qu'à l'impact des différences de culture nationale sur les pratiques de management. [82], [132] et [114].

D'après Henni A. [72], l'attitude au travail semble fortement liée à l'ambiance de l'usine, c'est-à-dire, aux relations que les ouvriers nouent entre eux. Il poursuit en affirmant que la production ne dépend pas seulement de la technique et d'une hiérarchie sociale mais aussi de la nature de la société ouvrière en usine. Cette production dépend des relations des ouvriers entre eux. L'auteur ajoute que dans notre pays, l'attitude au travail ne peut que reproduire les relations au dehors des lieux de travail. L'ouvrier algérien reproduit à l'usine, non pas les relations des ouvriers d'autres pays sur le lieu de travail, mais il reproduit les relations sociales algériennes qui, elles, ne sont pas définies dans une société d'usine. L'usine reproduit la société. La société travaille l'usine. Enfin la performance de l'entreprise est d'autant plus grande que le management est en harmonie avec sa culture.

### **5.2 Culture d'entreprise et identité**

Chaque entreprise a une personnalité représentée par son identité et sa culture. L'identité correspond à l'ensemble des éléments spécifiques qui permettent de la différencier des autres entreprises. L'ensemble des éléments constitutifs de la spécificité d'une entreprise qui sont le fondement de son développement, constitue son identité. Les membres composant l'entreprise algérienne choisie, partagent un certain nombre de valeurs : agissement de façon semblable vis-à-vis des tiers, réaction de manière analogue face à des opportunités ou des menaces de l'environnement, comportements similaires dans la vie quotidienne de l'entreprise.

Ces comportements et valeurs font partie de la culture de l'entreprise. Cette dernière a orienté tous les efforts du personnel, issu globalement d'une même grande famille vers la réalisation d'objectifs communs.

### 5.3 TPM et culture d'entreprise

#### 5.3.1 Définitions de la culture d'entreprise

Chaque entreprise a une personnalité représentée par son identité et sa culture.

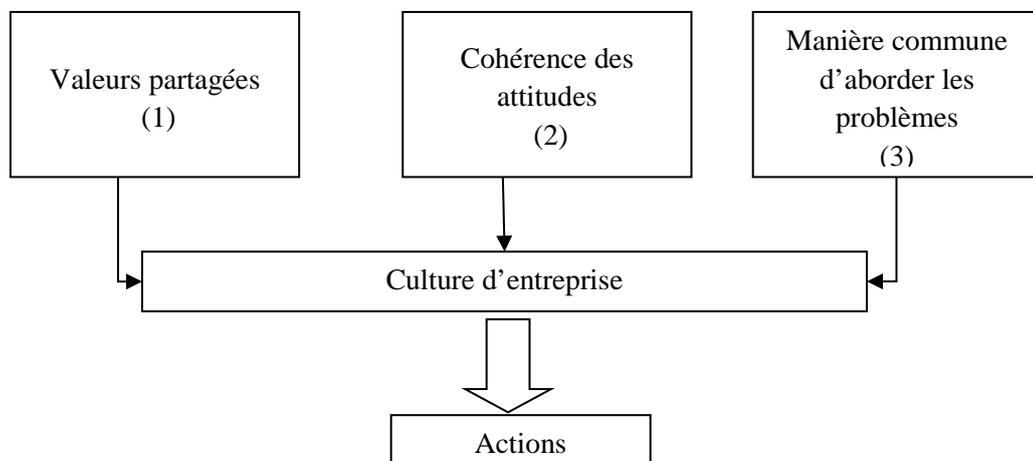
L'ensemble des éléments constitutifs de la spécificité d'une entreprise et qui sont le fondement de son développement constitue l'identité de l'entreprise. Cette identité va conduire les membres composant l'entreprise (Dirigeants, personnel) à partager un certain nombre de valeurs, à agir de façon semblable, vis-à-vis des tiers, à réagir de manière analogue face à des opportunités ou des menaces de l'environnement, à avoir des comportements similaires dans la vie quotidienne de l'entreprise. Ces différents éléments de pensée et d'action qui unissent le personnel d'une entreprise constituent la culture de celle-ci.

De nombreux auteurs proposent plusieurs définitions de la culture d'entreprise.

Il en existe 164 environ, citons quelques unes :

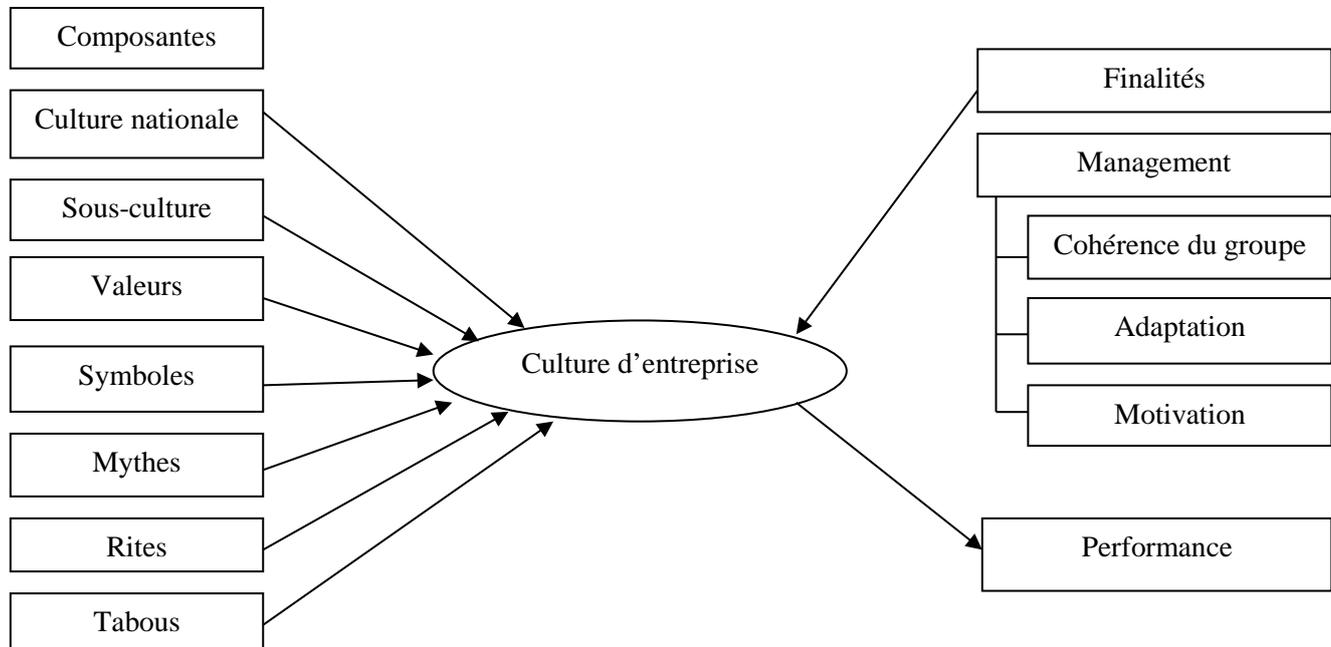
- « ensemble cohérent des attitudes communes à tous les salariés dans leur contexte de travail ».
- « ensemble de symboles, de cérémonies et de mythes permettant de transmettre aux employés les valeurs et convictions intrinsèques de l'entreprise ».
- « mode de pensée et d'action habituel et traditionnel plus ou moins partagé par tous ses membres, qui doit être appris et accepté par les nouveaux membres pour être acceptés dans l'entreprise » (114).

Dans tous les cas, on trouve toujours au moins trois composantes de la culture d'entreprise qui débouchent toujours sur l'action :



**Figure 5. 1 .Composantes de la culture entreprise [40]**

Bien évidemment, cette culture d'entreprise dépend de plusieurs facteurs : l'histoire de l'entreprise, la personnalité de ses dirigeants, la structure et la taille de l'entreprise. Elle dépend également de la culture du pays dans lequel est implantée l'entreprise et de la culture des sous-groupes qui la composent.



**Figure 5. 2 .** Ensemble de références de la culture d'entreprise [81]

### 5.3.2 Prise en compte de la culture d'entreprise

La prise en compte de la culture d'entreprise, la mise en évidence de valeurs essentielles sur lesquelles tous les salariés sont d'accord entraînent une meilleure cohésion du personnel, améliorant ainsi son efficacité. Un autre facteur de performance généré par la culture d'entreprise provient de la simplification des structures, des consignes, des notes de service... En effet, le credo de l'entreprise contient des principes intériorisés par les salariés qui leur permettent d'adopter une attitude commune face à une situation donnée.

### **5.3.3 Projet TPM en entreprise**

Pour mettre au point le projet, il est indispensable de connaître les forces de l'entreprise, ses faiblesses et de caractériser son métier. « La motivation générale impliquée par le projet d'entreprise s'appuie sur une mise en valeur des caractéristiques dominantes et positives, ainsi que sur la reconnaissance des difficultés et des points faibles ».

La différence essentielle entre cette approche et celle du diagnostic d'entreprise tel qu'il peut être réalisé dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie d'entreprise, c'est qu'elle doit associer le plus possible les travailleurs de l'entreprise. Pour que le personnel soit réellement mobilisé par le projet, il est fondamental que tous les éléments de celui-ci résultent de la volonté commune des membres de l'entreprise. Pour que le projet soit aussi mobilisateur, il faut que les valeurs personnelles des différents membres du personnel soient en harmonie avec celles que dégage l'entreprise. Il faut donc que le projet d'entreprise définisse les raisons de l'action de l'entreprise. L'ensemble du personnel se fixe donc des ambitions communes pour le futur. Ces ambitions sont consignées dans une charte de l'entreprise par exemple.

### **5.4 Adaptation de la synergie MBF/TPM à l'entreprise algérienne**

La TPM ne peut ignorer la diversité des cultures. Ainsi dans le cadre d'adaptation du projet au contexte industriel algérien, la prise en compte de la dimension socioculturelle est primordiale. En effet, le contexte socioculturel qui présente des leviers et des résistances, figure parmi les environnements les plus complexes dont il faut tenir compte pour maîtriser le processus de mise en œuvre de ce projet. L'environnement général est constitué par la culture, le système politique, le système économique, la technologie et l'organisation sociale.

La résistance au changement doit être managée par la connaissance et la prise en compte de la culture. La conduite du changement par la combinaison MBF/TPM dans le contexte socioculturel algérien est également un processus complexe. Une approche systémique de la culture nous permet par un ensemble de dimensions culturelles de caractériser la culture nationale et la culture d'entreprise. La comparaison entre la culture existante et la culture désirée dégage des leviers qu'il faut utiliser et des résistances dont il faut en tenir compte pour conduire le changement par la synergie MBF/TPM.

### **5.5 Changement de culture**

Le contexte socioculturel représente les forces sociales et culturelles qui exercent une influence sur l'organisation. La façon de résoudre un problème sont différentes et dépendent fortement des dimensions culturelles. La synergie MBF/TPM entraîne inévitablement des

changements. Ces changements peuvent être organisationnels, techniques mais le changement le plus important, celui qui rencontre le plus d'obstacles est le changement de mentalité.

Pour mieux connaître l'entreprise et saisir ce qu'elle peut ou non devenir, il faut comprendre le système culturel entier du pays.

La démarche proposée pour la conduite du changement comporte cinq phases :

-la première phase est dédiée à la définition des finalités et à l'initialisation de la démarche

-la deuxième phase concerne la prise en compte la dimension socioculturelle.

- le troisième phase permet la définition de la structure.

-la quatrième phase concerne les formations à assurer pour tendre vers la finalité.

ces deux dernières phases sous-tendent l'implication du personnel à tous les niveaux.

-la cinquième phase a pour objectif de faire évoluer et pérenniser le système.

## **5.6 Facteurs de changement**

Le point de départ du changement se situe au niveau de la stratégie de l'entreprise.

La stratégie d'une entreprise est souvent méconnue de la plupart de ses propres acteurs.

Pour obtenir la participation active de chacun, il faut créer dans l'entreprise un climat social qui incite à cela.

### **5.6.1 Communication**

On constate souvent que la circulation de l'information est défaillante dans l'entreprise. Certains sont assaillis d'informations qu'ils ne comprennent pas toujours, d'autres au contraire en manquent. Il faut chercher à développer les conditions d'un système de communication écrit, visuel, oral et efficace. La communication doit être de qualité et productrice de valeur ajoutée.

### **5.6.2 Formation**

Dans l'entreprise, on recherche des personnes polyvalentes, flexibles et autonomes. Pour y parvenir, la formation est un atout essentiel, une formation de qualité pertinente qui engendre une modification des comportements. L'entreprise est tenue de consacrer une partie de sa masse salariale à la formation. Il faut la dépenser utilement et sans doute aller au-delà. Les entreprises sont amenées à engager un vaste plan de formation du personnel qui dépasse largement le simple apprentissage des techniques de maintenance ou de qualité, mais qui vise à augmenter le niveau moyen de culture générale de l'entreprise. C'est au prix d'un investissement dans l'intelligence que l'on pourra demander aux opérateurs une plus grande polyvalence et un enrichissement de leurs tâches.

### 5.6.3 Motivation

C'est le véritable catalyseur de l'action ; c'est donc une composante déterminante du changement de culture dans l'entreprise. La motivation se crée, se travaille et s'entretient.

Nombre d'entreprises, soulignent une phase de mise en place du management motivationnel. Cette idée, développée par de nombreux cabinets-conseils, a aujourd'hui tendance à s'élargir. On considère qu'il ne suffit plus d'être motivé, il faut être impliqué et s'engager dans le projet de l'entreprise avec un esprit d'équipe qui se traduit également dans une notion de progression qui s'entend par différentes évolutions sur le poste de travail :

- moyen de production : prise en charge d'un ensemble plus important de tâches de réglage, de maintenance.
- qualité : passer d'un simple respect de consignes à un pilotage de la qualité et à l'amélioration du système de production.
- environnement : participation active à la recherche d'un cadre de travail plus attractif.
- résolution de problème : passer d'une position passive face aux problèmes, à une véritable participation dans le groupe, à des démarches de résolution de problèmes et d'amélioration de la performance industrielle.

### 5.6.4 Amélioration de la communication, de la formation et de la motivation

Le changement de culture passe par la recherche constante de méthodes pour améliorer la communication, la formation et la motivation. Cela se traduit souvent par :

- la création de groupes de travail à tous les niveaux hiérarchiques pour faire avancer des problèmes précis, avec des responsables d'action qui seront menées à des instants précis.
- l'amélioration des conditions de travail à tous points de vue.
- le soutien permanent et la reconnaissance des efforts de chacun.
- la formation de personnes de l'encadrement au rôle d'animateurs pour maintenir un esprit Kaizen (processus continu d'améliorations) permanent.
- le fait de se donner les moyens de faire vivre et survivre les projets qui voient le jour dans l'entreprise.
- le fait d'introduire une discipline de travail dans l'entreprise. La campagne des 5S est sans doute un bon exemple .
- le fait de prendre en considération les éléments économiques pour savoir jusqu'où on peut et on doit aller.

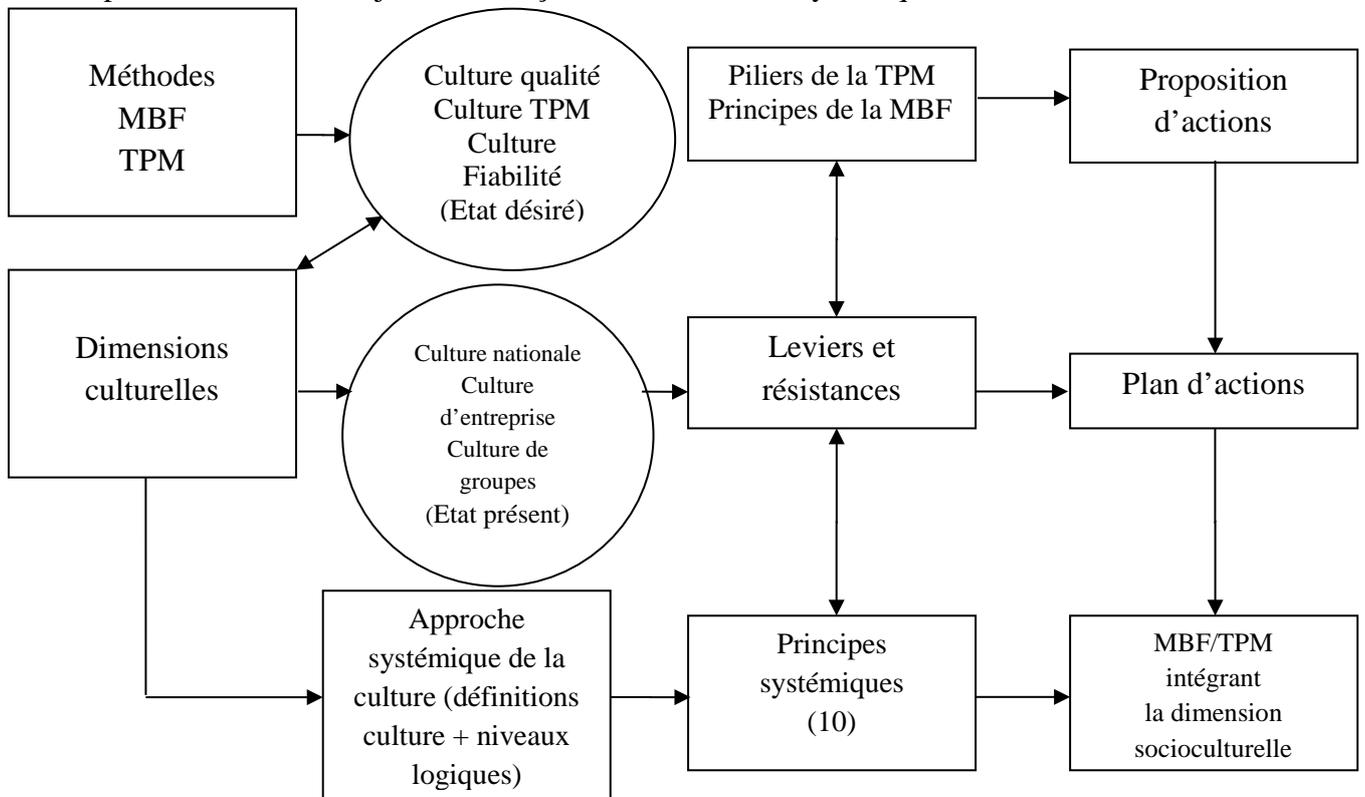
**5.7 Stratégie de conduite du changement**

Tout commence par un audit chargé de caractériser la situation initiale. Afin de réaliser cet état des lieux, notons l'intérêt des techniques spécifiques d'audit de la maintenance [86].

Entre la situation initiale et la situation souhaitée, il faut considérer la situation transitoire comme un processus qu'il va falloir piloter. En sachant que bien des changements se transforment en échec par manque de préparation, par sous-estimation des résistances et par minimisation des conséquences sociales. La situation transitoire va modifier la répartition et la nature des responsabilités, va proposer de nouveaux modèles de communication et de relations et va simplifier ou supprimer certains contrôles. Elle va donc générer :

- une déstabilisation créant une forte tension émotionnelle (doute, inquiétudes) ;
- une sur dépense d'énergie mal canalisée pendant la phase de transition ;
- une surévaluation de la situation antérieure, apparaissant plus confortable ;
- une augmentation de la résistance et du risque de conflit.

La conduite du changement doit être menée par un groupe de pilotage interne aidé par un consultant ou un animateur. Ce groupe doit intégrer les difficultés précédentes pour les dépasser. Il lui importe de montrer au plus vite les aspects positifs du changement, en termes de performances et d'objectifs, de façon à créer vite une dynamique irréversible.



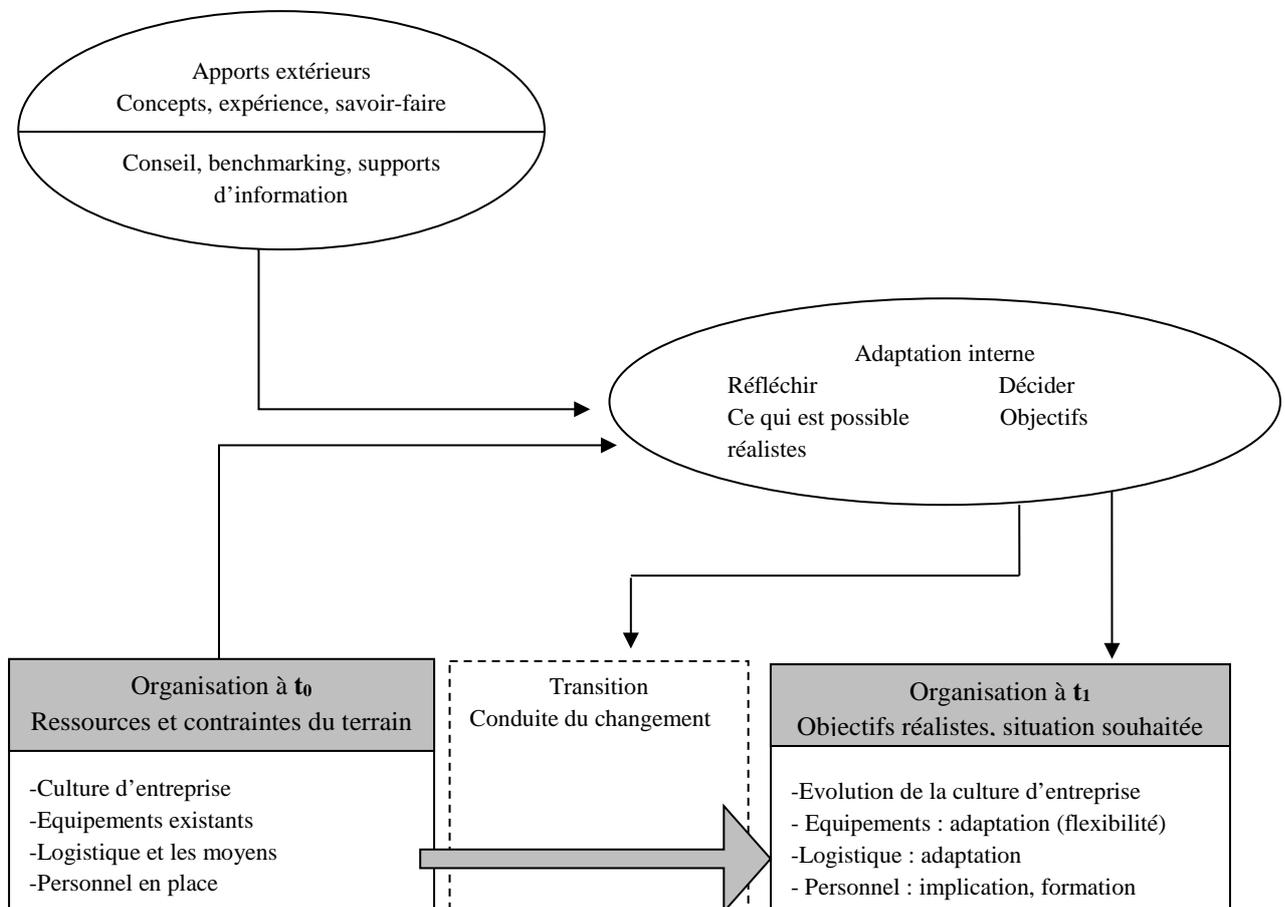
**Figure 5. 3 .** Conduite de changement par la synergie MBF/TPM intégrant la dimension socioculturelle  
 Source : notre élaboration

### 5.7.1 Moteurs du changement

Les moteurs principaux sont extérieurs à l'entreprise :

- la satisfaction des clients, en termes de rapport qualité prix sur un marché donné ;
- l'environnement concurrentiel, sur ce même marché.

Des forces internes existent aussi, dès lors que l'on peut obtenir l'adhésion des travailleurs en faisant en sorte que les nouvelles technologies constituent pour eux une opportunité de développement et d'amélioration de leurs conditions de travail, et non une dépossession de leur savoir-faire. La très grande majorité des salariés peut évoluer grâce à la formation continue et à une organisation adaptée à leurs compétences.



**Figure 5. 4 . Evolution d'une organisation [106]**

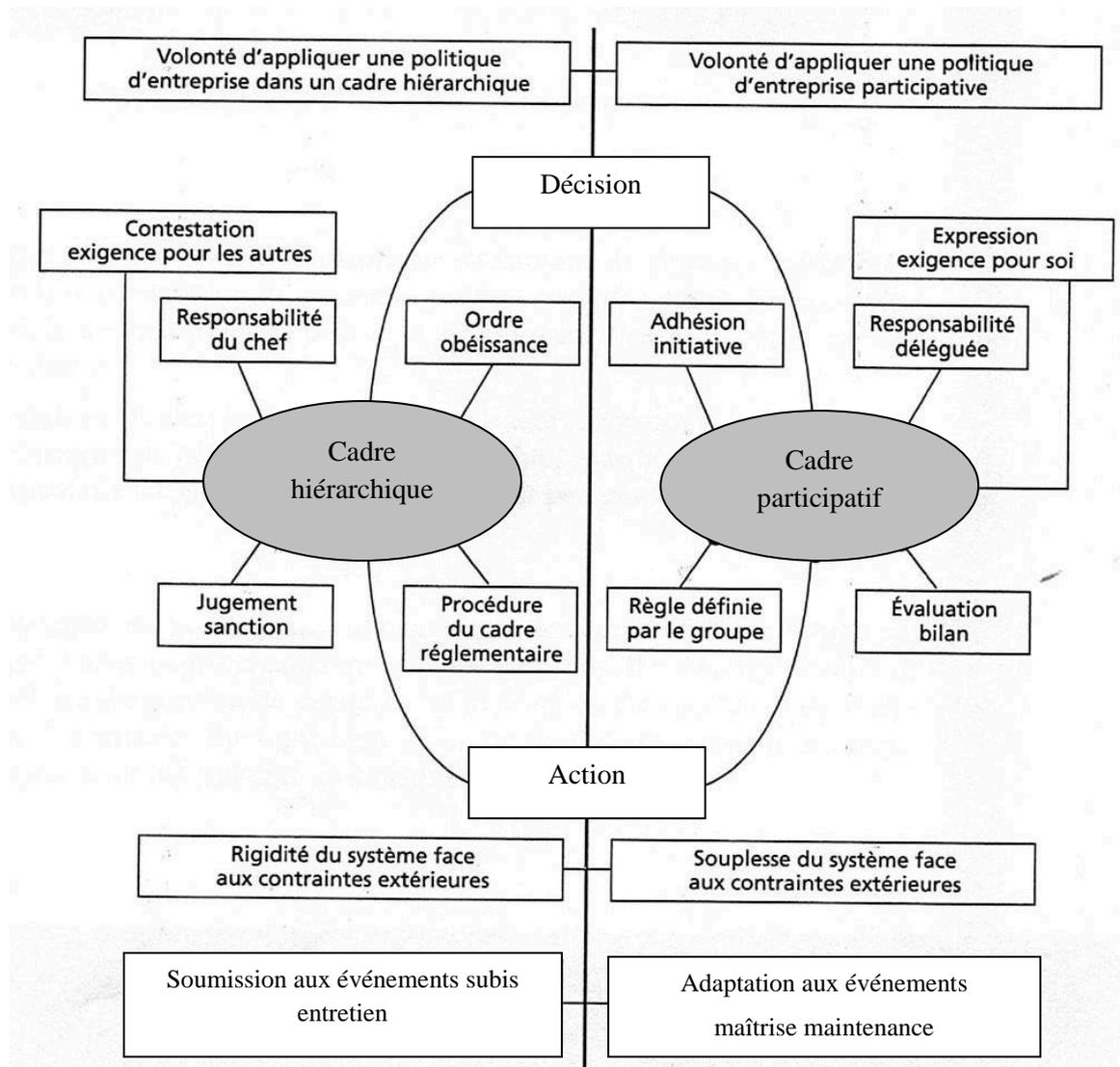
Un autre aspect « moteur » fréquent est lié à la prise de conscience collective que la survie de l'entreprise dans son champ concurrentiel est garante du maintien de l'emploi.

Il permet de vivre le changement sous la forme d'un perfectionnement. Sur le plan collectif, la crise est l'occasion de dépasser les résistances habituelles au changement dans une synergie orientée vers l'objectif consensuel faire vivre l'entreprise, donc maintenir les emplois.

**5.8 Impératif du management participatif dans l'esprit maintenance**

L'état d'esprit maintenance est incompatible avec le taylorisme, mais le frein majeur au changement ne réside pas dans la résistance à l'instauration d'un mode de management participatif à tous les niveaux de la pyramide de l'entreprise : il est souvent aussi difficile pour un cadre de déléguer et de faire confiance que pour un technicien de prendre une responsabilité et de s'exprimer.

Le « 0 mépris » indispensable à l'instauration d'un modèle basé sur la délégation et la confiance ne se « décrète » pas : il nécessite un apprentissage de la part de la maîtrise, et cela prend du temps.



**Figure 5.5 . Autocratie à la participation [106]**

La simplification de ce graphe met en évidence un problème incontournable à résoudre : comment passer d'un mode de management à l'autre.

Ce modèle est construit à partir de deux axes délimitant quatre zones caractérisant chacune un mode de management, suivant la figure 5.5.

### 5.9 Dimensions culturelles et niveaux logiques

Dans le cadre du changement, une nouvelle approche de la culture a été développée par Nouiga [115]. Il a mis en évidence la relation entre cinq niveaux logiques de la pensée et quinze dimensions culturelles en se basant sur des travaux antérieurs.

Les différentes dimensions culturelles avec les niveaux logiques de la pensée sont représentées dans le tableau 5.1.

Niveaux logiques (N)	Dimensions culturelles
N 5 Identité	15- Réalisations ou positions sociales.
N 4 Croyances et valeurs	14-Niveau de motivation 13-Niveau de confiance dans les institutions 12-Distance hiérarchique 11-Universel et particulier
N 3 Capacités	9-Niveau d'instruction et de formation
N 2 Comportement	8-Limité ou diffus 7-Individualisme/Collectivisme 6-Objectivité subjectivité 5-Contrôle de l'incertitude 4-Attitude vis-à-vis de l'environnement
N 1 Contexte – Environnement	3-Nature du contexte 2-Dimension spatiale 1-Dimension temporelle

**Tableau 5. 1 .** Relation des différentes dimensions culturelles avec les niveaux logiques [115]

### 5.10 Principes de base de la culture algérienne

L'identité maghrébine dont l'Algérie fait partie, a bien une spécificité propre très marquée par son histoire avec des apports multiples. Ainsi, les facteurs qui unissent les pays du Maghreb sont nombreux (langue, religion, traditions).

Etant donné que la culture algérienne et marocaine sont très proches, nous nous sommes basé partiellement sur les travaux de Nouiga [115] pour dresser le tableau 5.2 qui résume les dimensions culturelles et les spécificités adaptées à la culture algérienne.

### **5.11 Leviers et résistances**

Le contexte socioculturel qui présente des leviers et des résistances, figure parmi les environnements les plus complexes dont il faut tenir compte pour maîtriser le processus de mise en œuvre de la méthode. D'autre part, la résistance au changement a été managée par la connaissance et la prise en compte de la culture locale.

L'analyse de la dimension culturelle a permis de dégager des leviers et des résistances en vue d'impliquer l'ensemble du personnel et de faciliter la mise en œuvre du projet. L'utilisation de ces leviers et la prise en compte des résistances ont fait ressortir des propositions d'actions relatives au contexte socioculturel. Des propositions d'actions par groupe professionnel ont été déployées également, au niveau des dirigeants, de l'encadrement et des opérateurs. Ainsi, le succès de la réforme mentale produit dans l'entreprise, peut être interprété comme le fruit d'une rencontre des éléments suivants:

- changement de comportement,
- exemplarité du responsable d'entreprise et sa manière d'agir.

Dans le tableau 5.2, sont reportées les dimensions culturelles, les caractéristiques et les spécificités de la culture algérienne.

Dimensions culturelles	Caractéristiques	Spécificités
1- Dimension temporelle	Très polychrone	Horaire flexible dans la vie quotidienne, horaire des réunions, focalisation sur le passé.
2- Dimension spatiale (Proxémie)	Très rapprochée	Proximité de contact, relations rapprochées, distances très proches entre les individus, sens des relations humaines, de l'hospitalité,
3- Nature du contexte	Très riche	Grandes variétés et contrastes importants, richesses de l'architecture, artisanat, calligraphie, art culinaire, musiques et arts populaires.
4- Attitude vis-à-vis de l'environnement	Passive à très passive	Ce sont les autres qui sont responsables.
5- Contrôle incertitude	Faible	Faible prise de risques. Tendance à éviter les risques.
6- Objectivité/ subjectivité	Forte subjectivité	Présence des sentiments et de l'affectif ds travail.
7- Individualisme/ collectivisme	Collectivisme fort	Relations entre les individus, rapport au groupe et aux normes sociales, grande solidarité du groupe, grand rattachement aux valeurs communautaires, solidarité familiale (tribale), clanisme, ethnies...
8- Le limité ou le diffus	Très diffus	Degré d'engagement élevé.
9- Niveau éducation/ formation	Taux d'analphabètes 26.5%	Acceptable pour les opérateurs.
10- Interchangeabilité des rôles (masculinité/féminité)	Forte/faible	Les hommes assument les rôles les plus affirmés et les plus dominants, les femmes les rôles tournés vers le service, les soins et le secrétariat.
11- Universel / particulier	Particulier	Importance des relations personnelles
12- Distance hiérarchique	Très élevée	Inégalité de pouvoir et de richesses entre citoyens. Respect pour l'autorité.
13- Niveau de confiance	Faible	Faible
14- Niveau motivation	Faible	Bas pour les opérateurs.
15- Réalisation/ position sociale	Forte position sociale	« L'être » est plus important que « l'avoir »

**Tableau 5. 2** .Dimensions culturelles, caractéristiques et spécificités de la culture algérienne

Source : notre élaboration.

Dimensions culturelles	Culture nationale	Leviers	Résistances
1-Dimensions temporelles	Très polychrome	Vision globale et systémique	Gestion du temps. Planification. Focalisation sur le passé
2-Dimension spatiale (Proxémie)	Très rapprochée	Relation client / fournisseur communication horizontale,	
3-Nature du contexte.	Très riche	Présence du concept de qualité. Message moral	Recherche de la stabilité. Ancrage dans le passé. Changements lents
4-Attitude environnement	Passive à très passive		Dilution de la responsabilité. Faible prise de décision. Politique et stratégie non élaborée.
5-Contrôle incertitude	Faible		Faible prise de risque, peu d'innovation, développement limité, formalisation insuffisante
6-Objectivité / subjectivité	Forte subjectivité		Présence affection, management non basé sur les faits
7- Individualisme / collectivisme	Collectivisme fort	Travail en équipe Participation du personnel. Recherche du consensus	
8-Limité/diffus	Très diffus	Contact réel. Communication	Présence affection, management non basé sur les faits
9-Niveau éducation et formation		Taux d'alphabétisme réduit à 26.5%	
10-Interchangeabilité des rôles	Forte/Faible		Division des rôles entre les genres dans la société
11-Universel / particulier	Particulier		Formalisation insuffisante. Non-respect des règles.
12-Distance hiérarchique	Très élevé	Respect de l'autorité.	Ecart entre la base et le sommet.

13-Niveau de confiance	Faible	Rôle du leader porteur de valeurs	Confiance insuffisante dans l'environnement. Influence de l'environnement sur les comportements au niveau de l'entreprise.
14-Niveau motivation	Très faible		Besoins fondamentaux à peine satisfaits au niveau des opérateurs.
15- Réalisation / Position sociale	Forte position sociale		Difficulté de mesure et de l'évaluation.

**Tableau 5. 3 .** Leviers et résistances de la culture algérienne

Dans le tableau 5.4, des principes d'actions adaptés au contexte socioculturel algérien sont proposés.

Dans le tableau 5.4 des principes d'actions adaptés au contexte socioculturel algérien sont proposés :

Principes d'actions	Actions méthodologiques pour la prise en compte de la dimension socioculturelle dans la conduite du changement par la TPM
Principe d'information et d'ouverture	Développer l'information et la communication en interne et en externe. Ouvrir et développer la culture d'entreprise.
Principe de finalité	Mobiliser autour du projet en clarifiant la finalité et en respectant le système de valeurs. Intégrer les dimensions culturelles et mettre en évidence les valeurs de l'entreprise.
Principe constructiviste	Reconstruire la réalité par le recadrage, changer les représentations mentales.
Principe d'écologie	Respecter l'écologie des systèmes humains et leur identité culturelle.
Principe de méta système et de méta niveau	Repérer et prendre en compte les sous-cultures de l'organisation. Intervenir à un niveau adéquat, souvent différent de celui où le problème se pose
Principe d'auto organisation, principe de totalité	Respecter le système de valeurs et prendre appui sur les ressources que tout système humain possède
Principe d'apprentissage	Réaliser un changement par l'apprentissage avec le niveau adéquat. Donner plus de choix par l'apprentissage et dans l'apprentissage.
Principe de récursivité	Créer une dynamique de la culture par des phénomènes récursifs.
Principe d'homéostasie	Identifier et prendre en compte les leviers et les résistances : construire sur les leviers et mobiliser les forces cachées que représentent les résistances.
Principe de dialogique	Manager les antagonismes.

**Tableau 5. 4** Proposition d'actions relatives au contexte socioculturel algérien

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traité la prise en compte de la dimension socioculturelle. Pour cela, nous avons abordé tout d'abord, les concepts et niveaux de culture. Nous avons d'une part, montré le lien entre la culture nationale et la performance de l'entreprise et d'autre part, la relation entre la culture d'entreprise et l'identité. Grâce aux dimensions culturelles et aux niveaux logiques que nous avons identifiés, nous avons pu ensuite caractériser la culture nationale. Puis, après avoir étudié la stratégie et les facteurs de changement, nous avons proposé des actions pour la prise en compte de la dimension socioculturelle et pour faire face à la résistance au changement dans l'entreprise.

## **Chapitre 6**

**Présentation de l'entreprise Alzinc,  
champ d'investigation et d'étude empirique**

## **Introduction**

L'entreprise Alzinc possède une forte culture d'entreprise et dispose d'un organigramme qui facilite d'une part la coordination avec le chef de département de production et d'autre part la coordination interne entre mécanicien, électricien et instrumentistes. Cela facilite aussi bien les procédures de consignation que l'organisation (planning) des grands arrêts ainsi que la mise en œuvre d'une TPM par exemple.

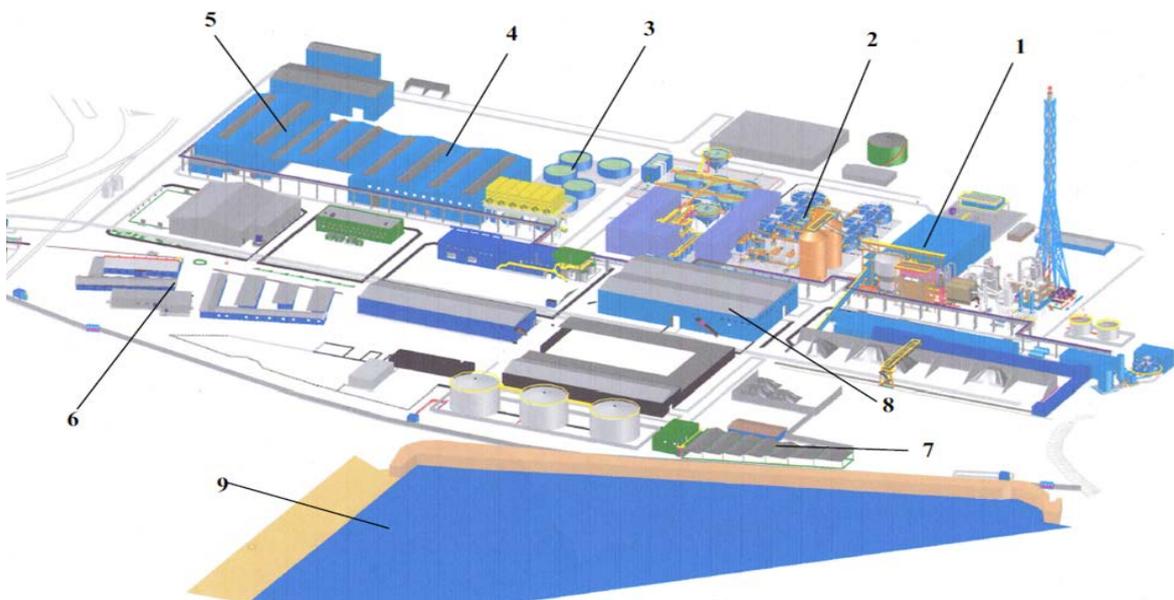
Le comportement managérial au sein de cette entreprise, relatif à l'embauche par une culture collectiviste, par opposition à une culture individualiste. L'esprit du lien familial est souvent privilégié. La plupart des entreprises certifiées ISO 9000 et ISO 14000, comme le cas de notre entreprise ciblée, font un peu de la TPM sans le savoir. La clé de réussite de la TPM est dans la perception de la simplicité de son usage et dans le management participatif à tous les niveaux de la pyramide de l'entreprise avec ses spécificités. Dans le cas de notre expérimentation et comme le recommande certains spécialistes, il est raisonnable de commencer l'introduction de la TPM dans un atelier ou sur un process pilote, puis l'étendre au reste de l'entreprise. Pour ces raisons, nous avons choisi l'atelier de grillage.

### **6.1 Organisation et spécificités de l'entreprise**

Située à l'ouest de l'Algérie, l'entreprise a pour objet conformément à ses statuts, la production, la commercialisation du zinc et ses alliages, de l'acide sulfurique et du cuivre cathodique. L'usine fut fondée en 1969 avec la coopération de la société Belge « vieille montagne ». La production a démarré en 1974. L'effectif total de l'entreprise s'élève à 489 employés dont 450 sont impliqués dans le système de management intégré. Le zinc produit est de qualité « Spécial High Grade », soit une pureté de 99,995% de Zinc. Il est enregistré à la bourse de Londres des métaux, LME (London Métal Exchange).



Photo 6.1 . Vue générale de l'entreprise « Alzinc » de Ghazaouet



- |                              |                             |                           |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Atelier du grillage Acide | 4. Atelier de l'électrolyse | 7. Station de dessalement |
| 2. Atelier de lixiviation    | 5. Atelier de refonte       | 8. Atelier de maintenance |
| 3. Atelier de purification   | 6. Direction                | 9. Eau de mer             |

Figure 6.1 . Vue générale de l'entreprise « Alzinc » de Ghazaouet

Source : document entreprise

### **6.1.1 Processus de production**

La matière première blende (ZnS) passe par plusieurs étapes avant d'être transformée en lingots de zinc, principal produit de l'usine. Les principales opérations sont alors le grillage, la lixiviation, la purification de l'électrolyse du cuivre et du zinc ainsi que la refonte du zinc et de ses alliages. Le premier traitement est le grillage qui consiste à oxyder la blende pour obtenir la calcine ZnO. Cette dernière est mise en solution dans l'acide sulfurique (lixiviation). La réaction donne une solution de sulfate de zinc qui après purification, va alimenter l'atelier de l'électrolyse. La purification s'opère en deux étapes la première concerne la cémentation du cuivre, du cobalt et du cadmium. La deuxième étape permet de garantir la pureté de la solution à envoyer à l'électrolyse. Les boues noires (concentré de cuivre) provenant de la purification sont lavées puis mises en solution dans un milieu acide. La solution, une fois purifiée, est acheminée vers l'électrolyse qui dure quarante-huit heures. Cette solution est parcourue par un courant électrique, ce qui entraîne le dépôt de zinc sur les deux faces des cathodes. Les feuilles de zinc formées ainsi, sont enlevées manuellement (stripping). Les plaques de zinc sont ensuite fondues dans deux fours de fusion (500°C).

Le zinc peut être coulé en forme de lingots ou bien sous forme allié (zamak).

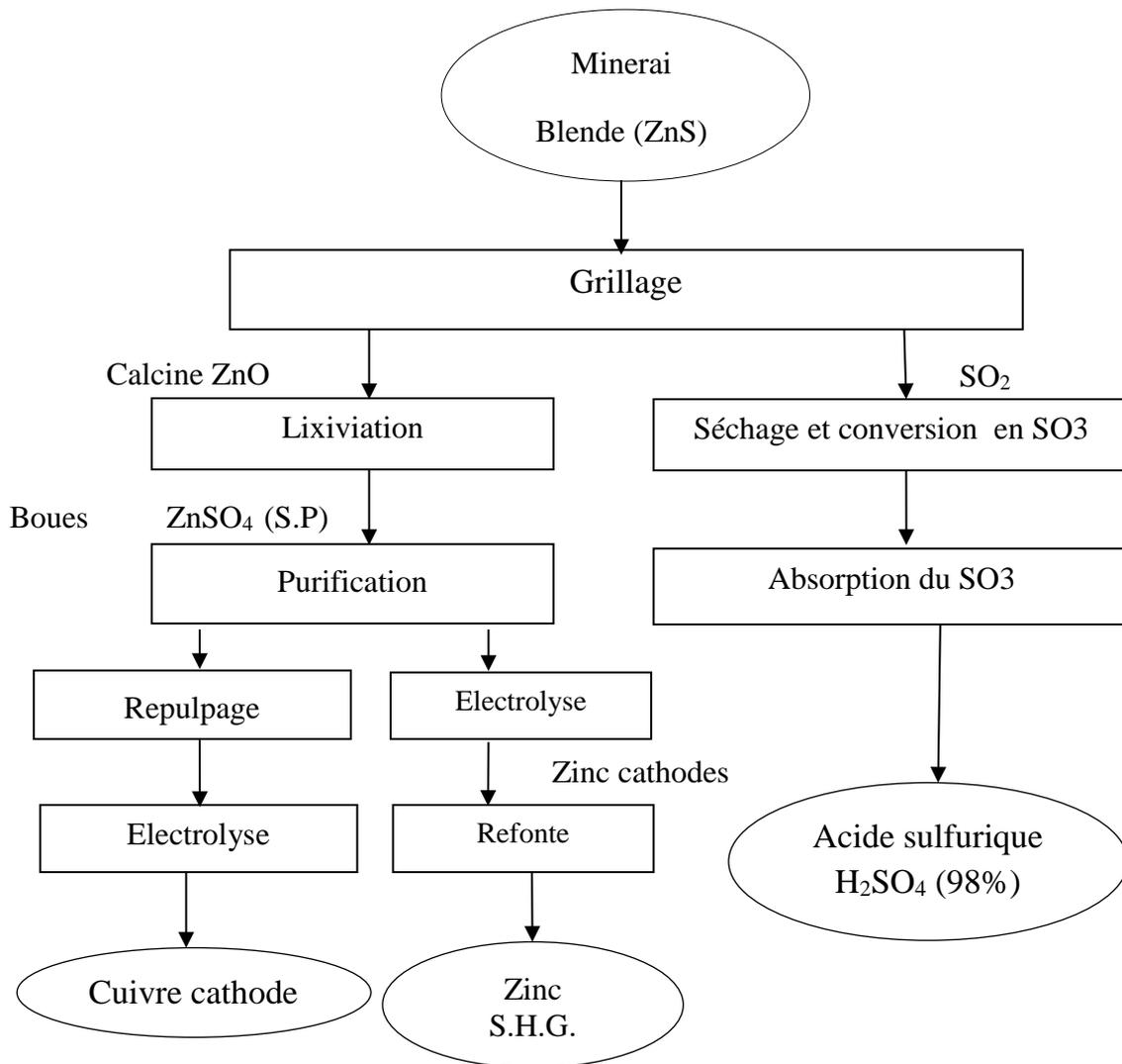


Figure 6. 2 . Schéma de production du zinc

Source : document entreprise

### 6.1.2 Organigramme de l'entreprise

L'organigramme de l'entreprise se présente comme suit :

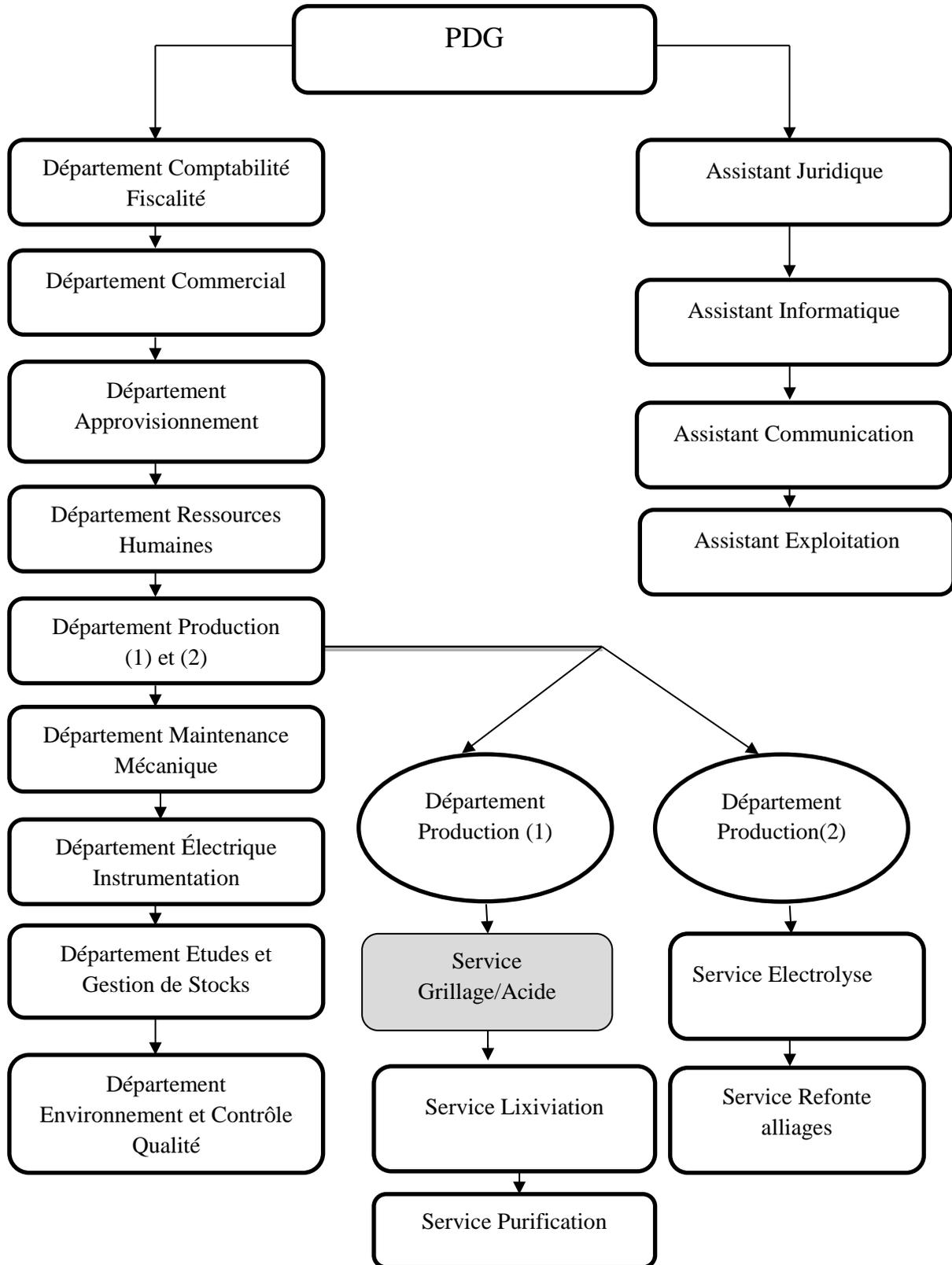


Figure 6.3 . Organigramme de l'entreprise Alzinc

Source : document entreprise

### 6.1.3 Ateliers de l'entreprise

Dans l'atelier de grillage, le grillage de minerai ZnS s'effectue dans un four à lit fluidiser et à une température de 950 °C pour obtenir le calcine (ZnO) et le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>.

#### a) Atelier de grillage



Photo 6. 2 Atelier de grillage

Dans l'atelier de lixiviation, cette opération s'opère en deux étapes :

- lixiviation neutre qui consiste à produire une solution de sulfate de zinc tirant 160 g de zinc par litre.
- lixiviation acide qui traite les boues de la lixiviation neutre et récupère le zinc.

#### b) Atelier de lixiviation

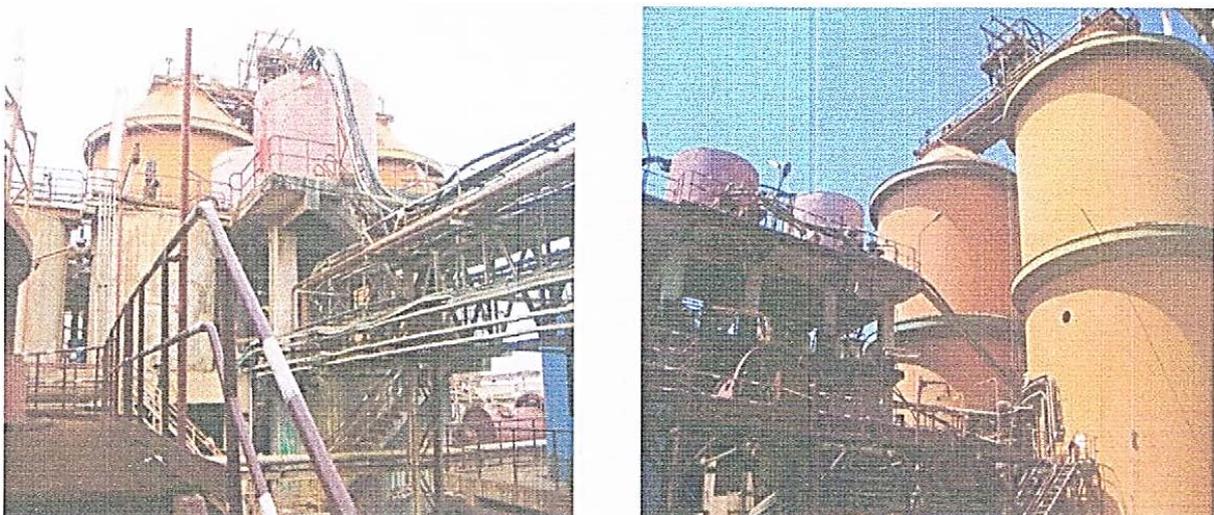


Photo 6. 3 Atelier de lixiviation

Dans l'atelier de purification, le processus consiste à éliminer les impuretés dans la solution provenant des décanteurs de la lixiviation.

**c) Atelier de purification**



**Photo 6.4** Atelier de Purification

Le but principal de l'atelier d'électrolyse est la transformation de zinc de la forme sulfate à la forme métallique en appliquant une différence de potentiel entre les anodes et cathodes immergés dans les cellules des solutions de purification.

**d) Atelier d'électrolyse**



**Photo 6.5** Atelier d'électrolyse

L'atelier de fonte et alliage quant à lui, a pour but de transformer le zinc cathodique en une forme commerciale.

**e) Atelier de refonte et alliages**



**Photo 6. 6** Atelier de refonte et alliages

**6.1.4 Gamme de produits**

Nous distinguons les produits suivants:

1	Zinc lingots de 25 kg
3	Zinc Jumbo de 02 Tonnes
4	Alliages de zinc (zamak 3 et zamak 5)
5	Anodes pour protection cathodique
6	Acide sulfurique concentré à 96% 98%
7	Cadmium en baguettes de haute pureté
8	Cuivre électrolytique en cathodes de 100 à 160 kg, teneur 99.98% minimum.
9	Poudre de zinc

**Tableau 6. 1** Gamme de produits de l'entreprise.

**6.1.5 Politique qualité de l'entreprise**

L'amélioration continue de la qualité des produits dans le domaine de production du zinc et ses dérivés est un des principaux piliers de la stratégie de l'entreprise . Le système du management de la qualité développé à dans l'entreprise Alzinc conformément à la norme ISO9001 version 2008 est un élément de cette stratégie. Cette politique qualité se traduit par une mobilisation de toutes les compétences et de toutes les énergies à l'entière satisfaction des clients ; elle est déclinée en cinq axes :

- accroitre la satisfaction des clients ;
- assurer la conformité des produits ;

- maîtriser les processus de réalisation ;
- valoriser les ressources humaines ;
- s'améliorer en continu.

### 6.1.6 Processus codifiés de l'entreprise

A travers les documents recueillis, les figures qui vont suivre nous montrent que l'entreprise pratique un management selon les 5M (Méthode ou Méthodologie, Moyens, Milieu, Main d'œuvre, Matériels), conformément à l'ISO 9000 :2008.

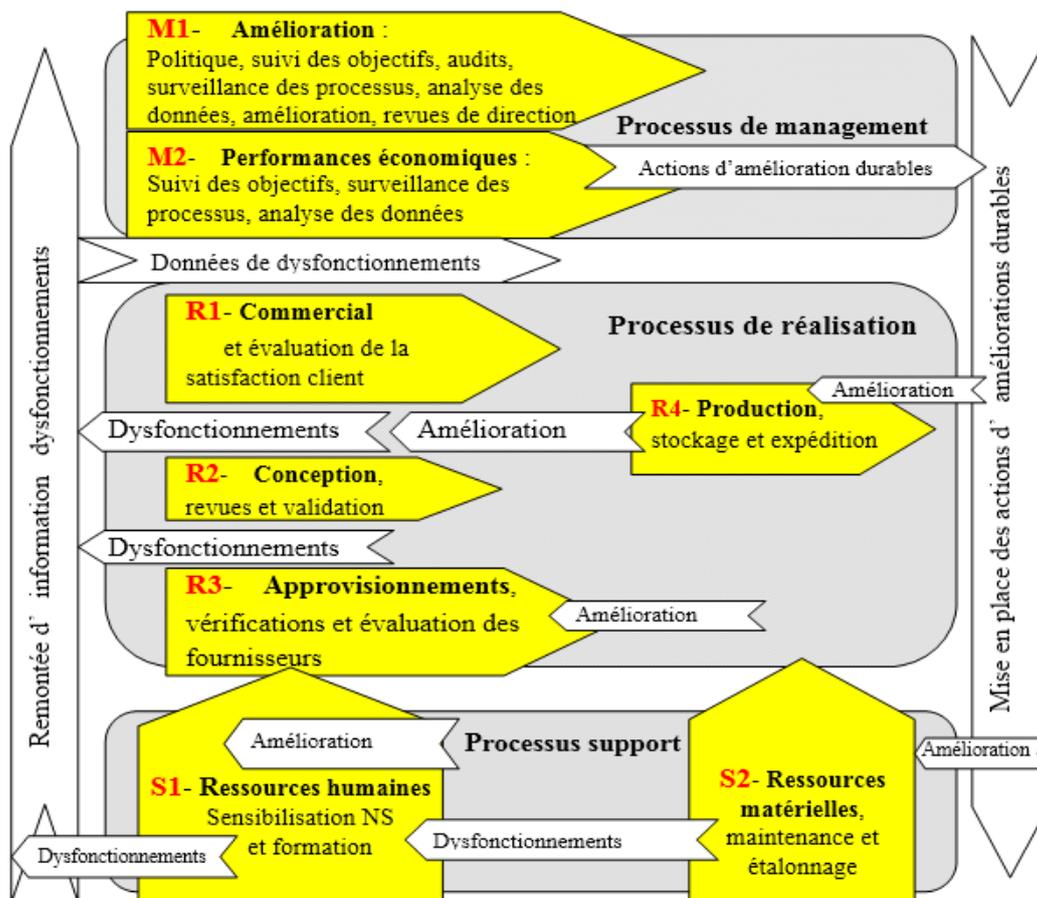


Figure 6. 4 Cartographie des processus

Source : document entreprise

Nature ou type d'interrelation (interaction)	Graphisme utilisé
Inter relations matérialisées par des informations verbales ou par réseau informatique ne faisant- pas l'objet d'enregistrements	
Inter relations matérialisées par des informations transmises via des enregistrements en support papier	
Inter relations matérialisées par des informations transmises via enregistrements en-supports- informatiques	
Inter relations matérialisées par des flux matières (MP, composants, produit semi-fini, produit fini)	
Inter relations matérialisées par la mise à disposition de ressources (machines ; équipements, outillages, moyens logistiques, ressources financières, affectations de ressources humaines)	Humaines/Matérielles 
Interrelations entre les différents processus Interrelations à l'intérieur du processus	Flèches pleines → Flèches pointillées - - - ->

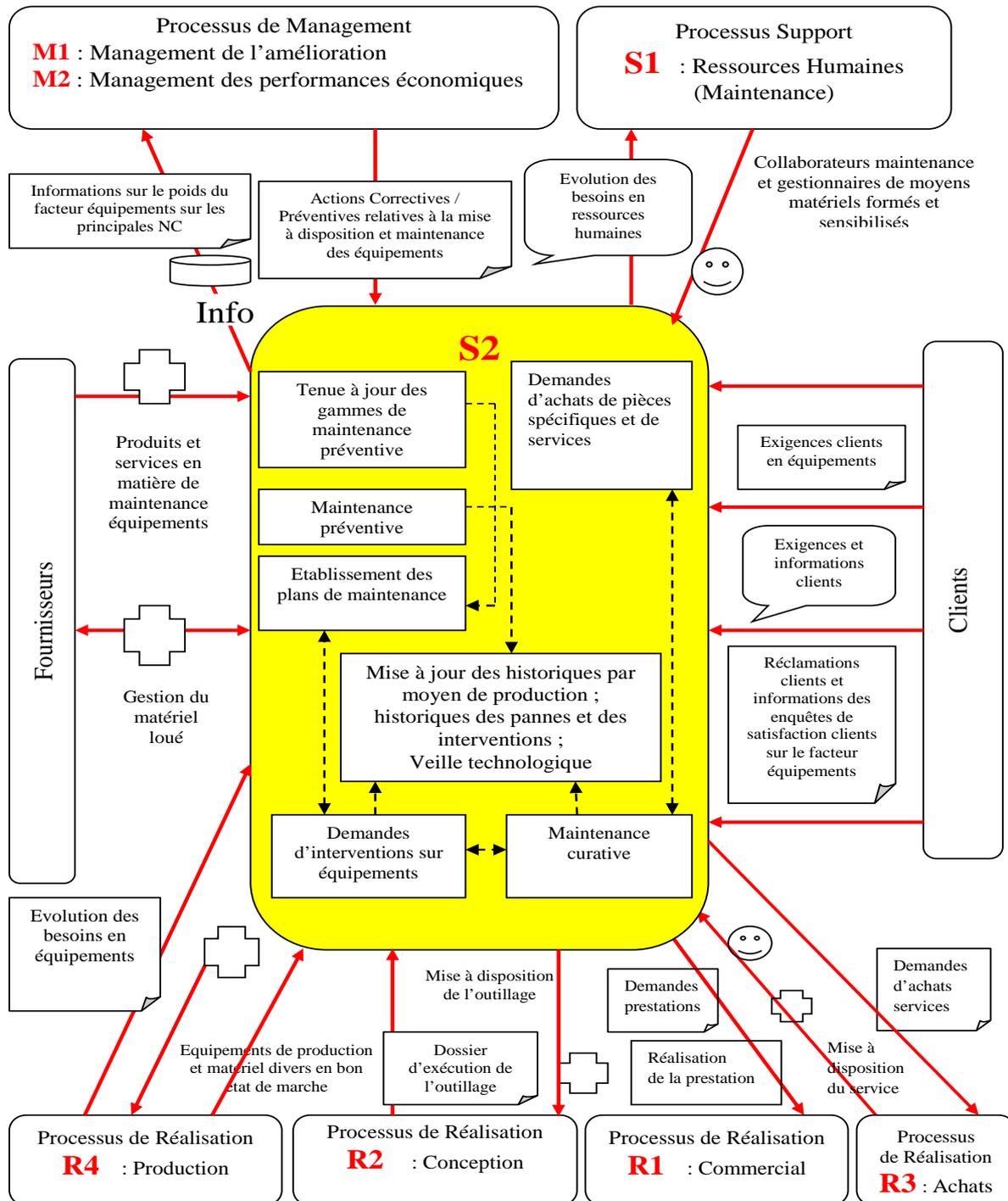
**Tableau 6. 2** Nature d'inter relation et graphisme utilisé dans les schémas de l'entreprise

Source : document entreprise

Finalité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapter en permanence le niveau de la performance des équipements, selon l'évolution des besoins</li> <li>• Eviter que la cause des NC et dysfonctionnements soit le taux de marche des équipements</li> <li>• Améliorer l'apport des équipements à l'efficacité des processus de production</li> </ul>	
Données d'entrée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besoins insatisfaits en équipements (manquants)</li> <li>• Données des taux de marche des équipements</li> <li>• Infos/équipements en pannes</li> <li>• Info/équipements défaillants (incidents sur produits)</li> <li>• Données sur l'évolution du volume d'activité</li> </ul>	
Données de sortie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipements en état de marche</li> <li>• Actions de maintenance</li> <li>• Coûts de maintenance</li> </ul>	
Pilote	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chefs départements maintenance électrique, instrumentation et mécanique</li> </ul>	
Points sensibles à surveiller ou auditer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PQ-6.300 et PQ-6.310</li> </ul>	
Nature objectifs	Unité	Valeurs cibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts de maintenance</li> <li>- Taux d'arrêt maintenance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDA / semestre Surveillance directe interne</li> <li>- % / semestre Surveillance directe interne</li> </ul>	Voir DG2 en vigueur

**Tableau 6. 3** Fiche processus S2 : Ressources matérielles

Source : document entreprise



**Figure 6. 5** Interaction entre le processus maintenance S2 et les autres processus de l'entreprise

Source : document entreprise

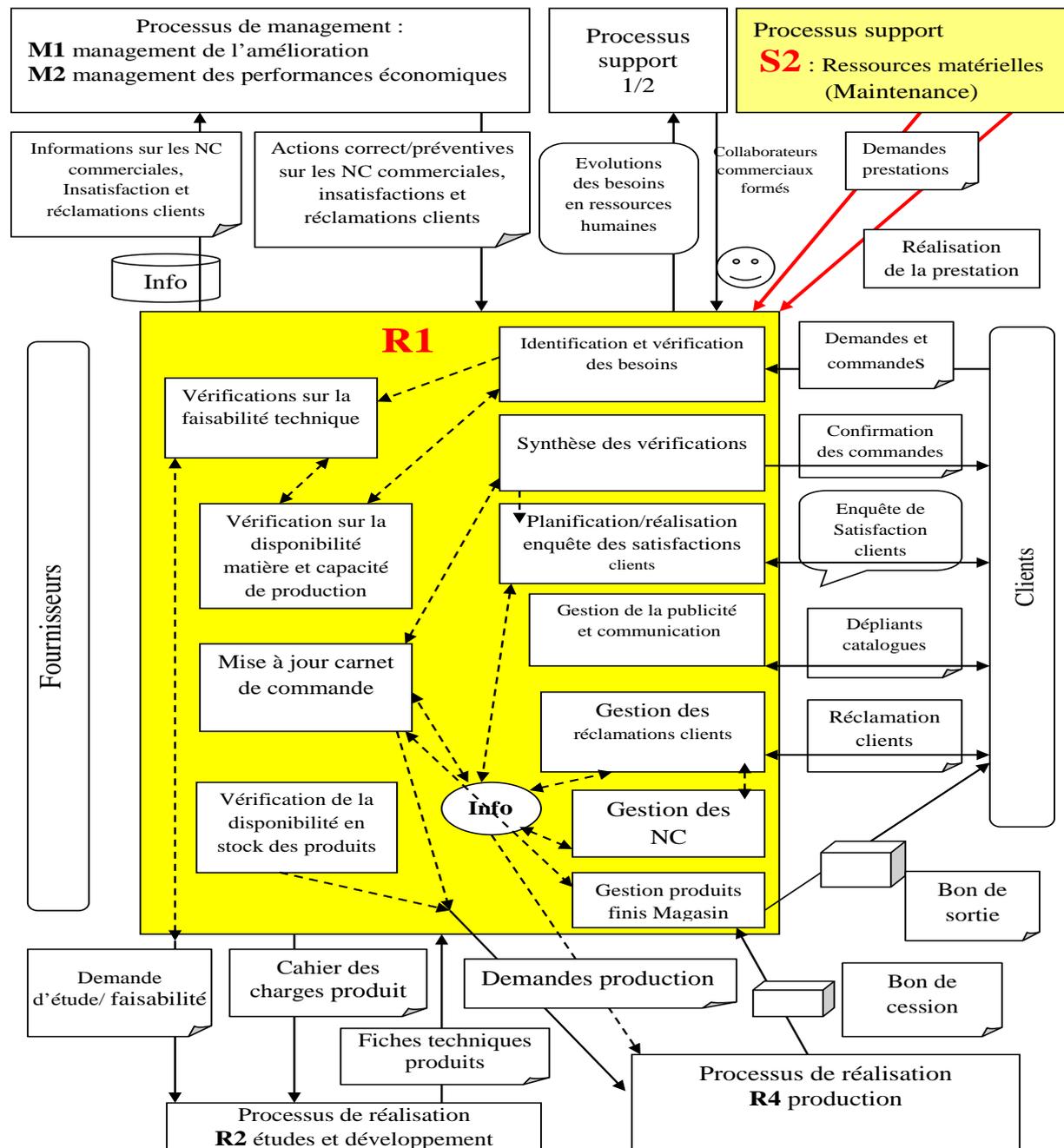


Figure 6. 6 Interaction du processus Commercial R1 avec le processus maintenance S2

Source : document entreprise

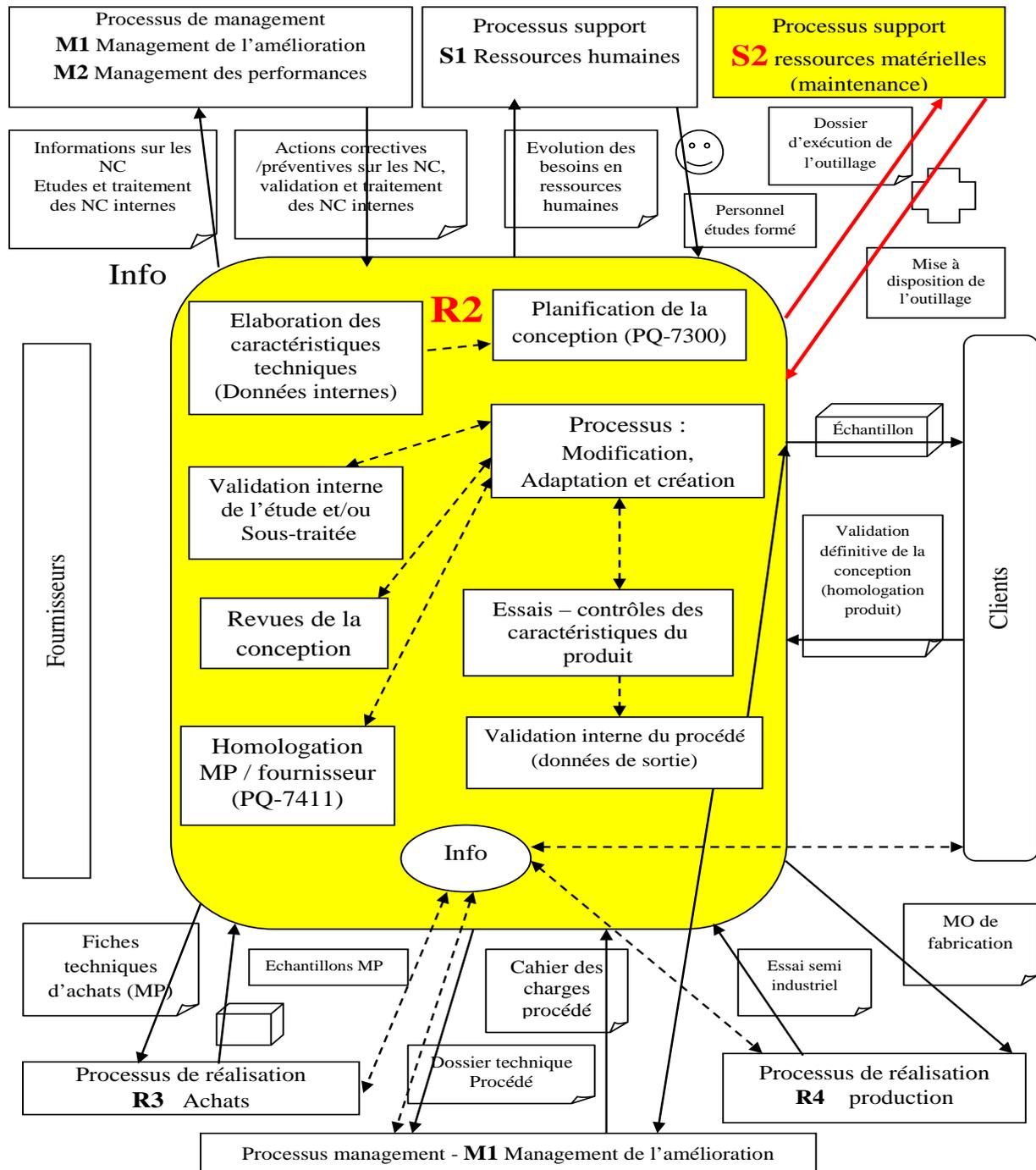


Figure 6. 7 Interaction du processus conception R2 avec le processus maintenance S2

Source :document entreprise

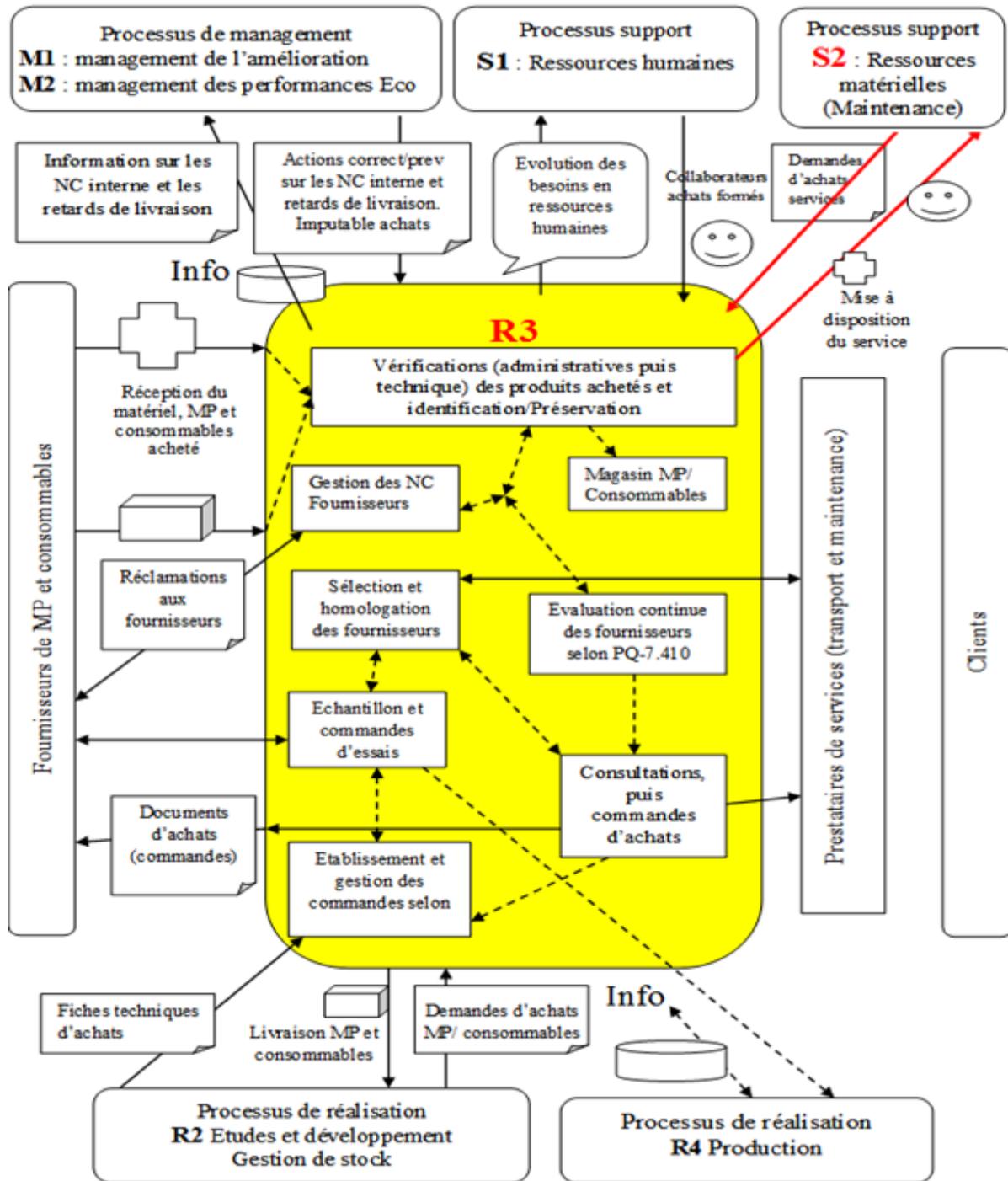


Figure 6. 8 Interaction du processus Achat/Approvisionnement R3 avec le processus maintenance S2

Source : document entreprise

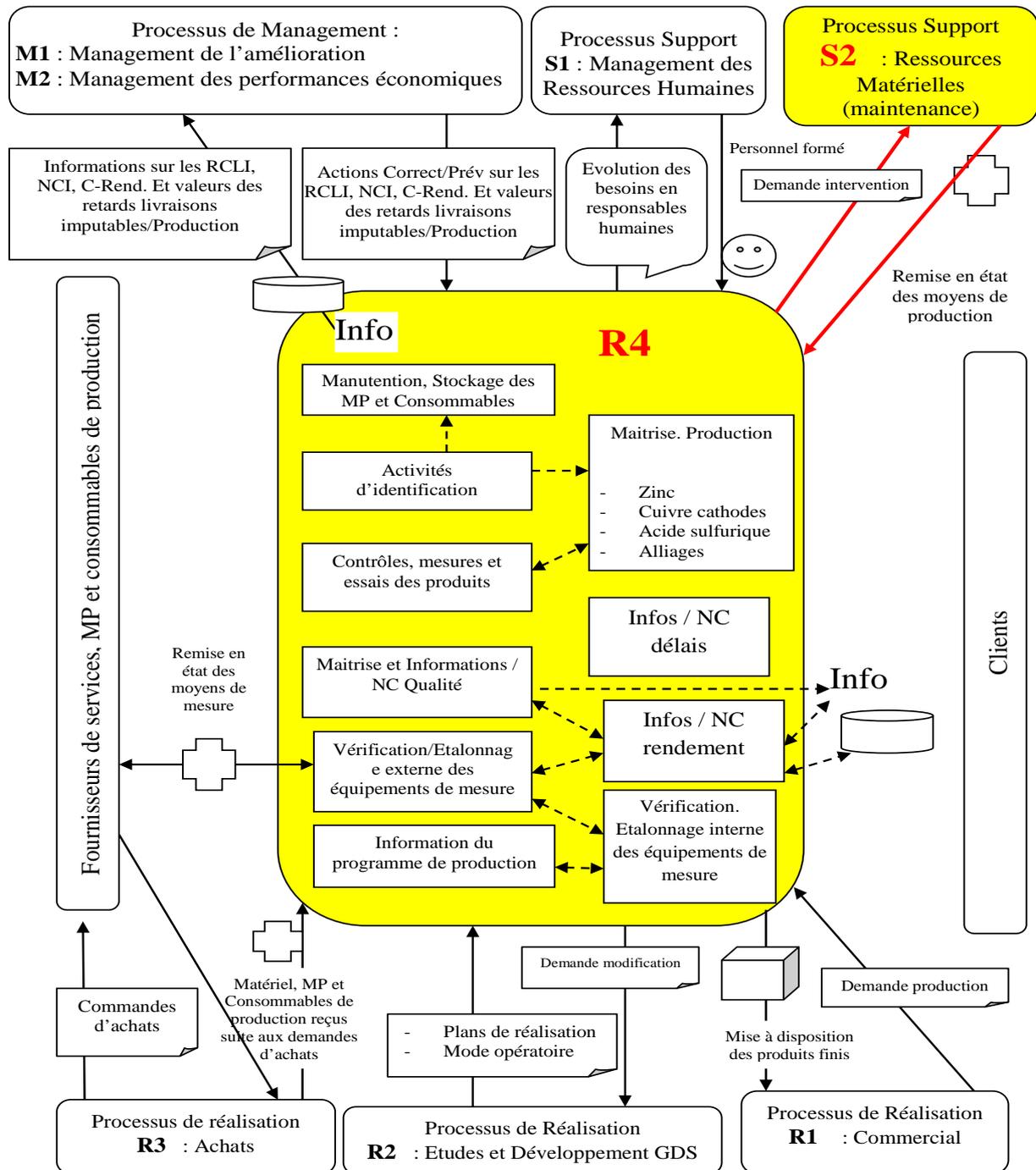
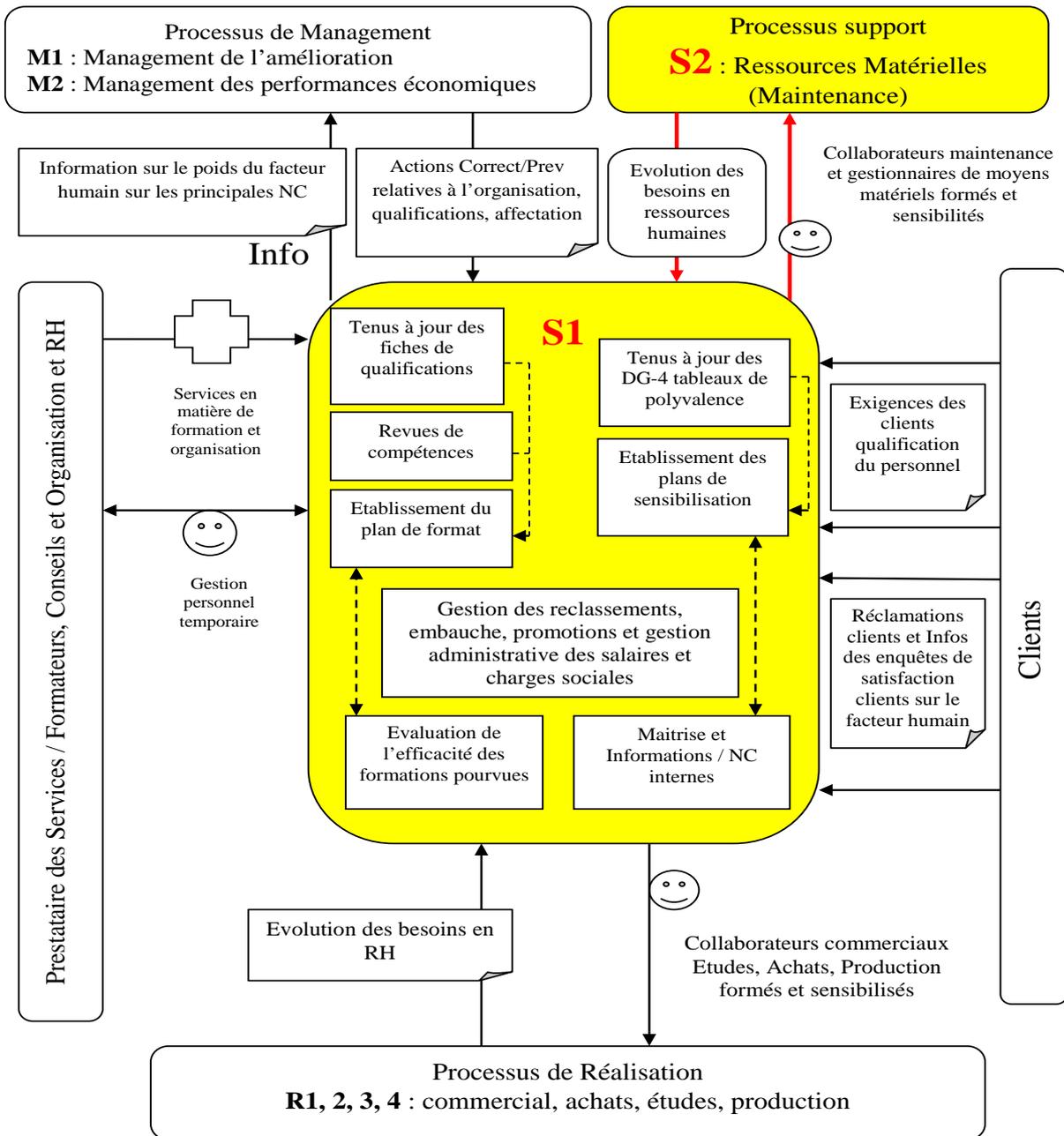


Figure 6. 9 Interaction du processus production R4 avec le processus maintenance S2

Source : document entreprise



**Figure 6. 10** Interaction du processus Ressources Humaines S1 avec le processus maintenance S2

Source : document entreprise

Nous pouvons alors , classer les processus de l'entreprise Alzinc selon les 5 M

5M	Processus de l'entreprise Alzinc
Méthodologie	<b>M1</b> : processus de management de l'amélioration <b>M2</b> : processus de management des performances économiques <b>R2</b> : processus de conception <b>R4</b> : processus de production
Moyens	<b>R3</b> : processus achat / approvisionnement <b>R1</b> : processus commercial
Milieu	Environnement de l'entreprise
Main d'œuvre	<b>S1</b> : processus des ressources humaines
Matériel	<b>S2</b> : processus des ressources matériels

**Tableau 6. 4. Classement des** processus de l'entreprise Alzinc selon les 5M

### 6.1.7 Présentation de la structure maintenance de l'entreprise

L'organigramme qui suit nous donne un aperçu d'organisation de la structure maintenance de l'entreprise

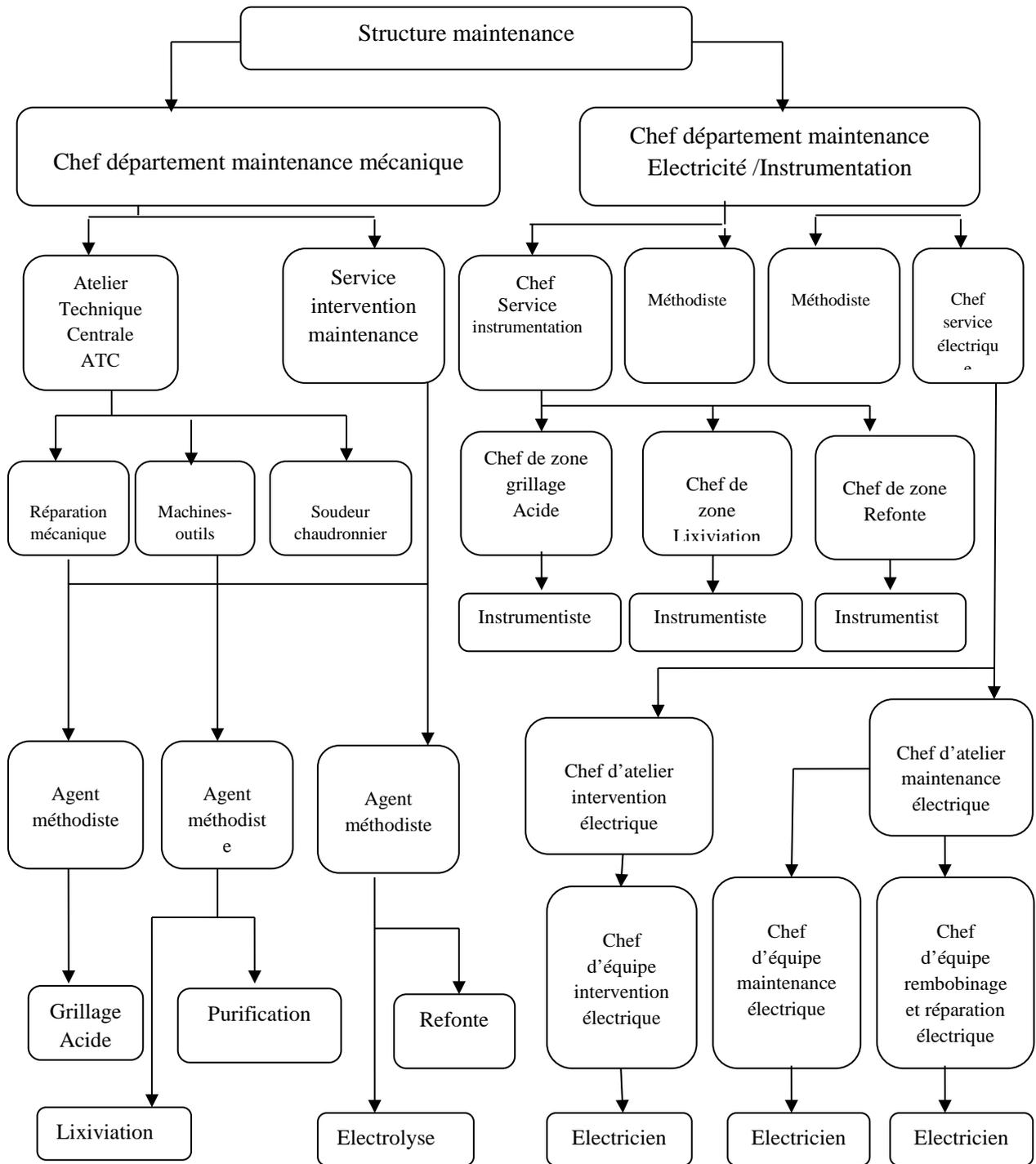


Figure 6. 11 . Organigramme du service maintenance

Source : document d'entreprise

### 6.1.8 Choix et présentation de l'atelier pilote, lieu d'expérimentation

Le choix de l'atelier du grillage comme terrain d'étude et d'expérimentation nous a été proposé par la direction générale de l'entreprise. Ce choix, a été basé également sur l'importance de cet atelier dans le processus général de production et le degré élevé de la criticité de ses équipements qui nécessitent une maintenance particulière afin d'assurer la continuité de la production.

Dès l'autorisation qui nous a été accordée par l'entreprise pour commencer notre travail d'investigation, nous nous sommes engagé à sensibiliser les responsables de la production et de l'atelier du grillage à la méthode TPM entre 2007 et 2008.

### 6.1.9 Principaux équipements et agrégats de l'atelier de grillage

Les machines et équipements nécessaires au processus du grillage sont schématisés sur la figure 6.2, représentés dans le tableau, regroupés en agrégats dans le tableau 6.5.

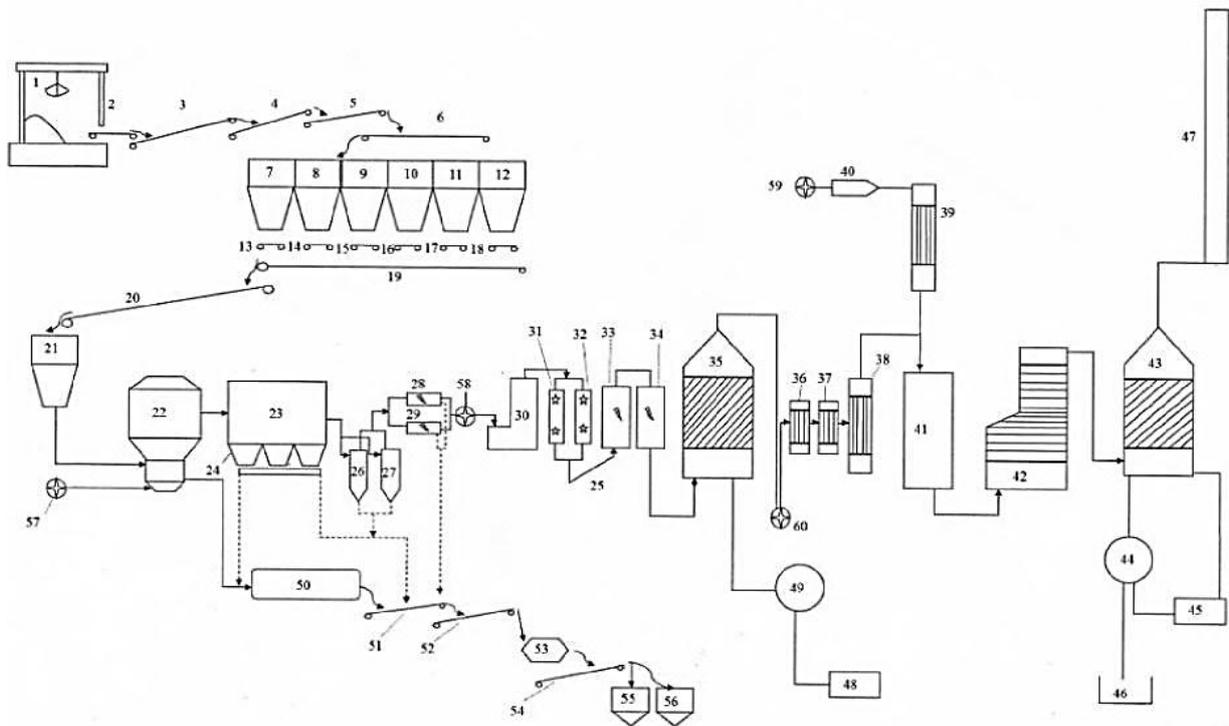


Figure 6. 12 . Schématisation des équipements pour le processus du grillage

Source : document entreprise

Machines / Equipements	Repères
Bandes transporteuses	2-3-4-5-6-19-20
Trémies de stockage et d'alimentation	7-8-9-10-11-12-21
Four de grillage	22
Refroidisseur « Trommel »	50
Broyeur	53
Chaines « Redlers »	51-52-54
Chaudière de récupération	23
Cyclones	26
Electro-filtres secs	28-29
Tour de lavage	30
Electro-filtres humides	33-34
Tour de séchage	35
Soufflante	59
Tour de catalyse	41
Tour d'absorption	43

**Tableau 6. 5** .Liste des équipements pour le processus du grillage.

Désignation de la partie agrégats	Liste des machines
Transport et stockage blende	Tapis, Trémies, Vibreurs, Grue.
Chargement four	Moteurs, Four.
Transport grille ZnO	Refroidisseur, Broyeur (M65), Dépoussiéreur.
Epuration sèche	Chaudière, Electro filtre sec, Cyclones.
Epuration humide	Tour de lavage, Refroidisseurs, Electro, filtre humide
Soufflantes	Ventilateurs (M26, M30, K102).
Contact acide	Pompes de circulation, de transfert et de chargement.

**Tableau 6. 6** . Désignation des agrégats et équipements de l'atelier grillage

## **6.2 Procédures et interventions de maintenance dans le cadre du système qualité de l'entreprise.**

Les procédures spécifient qui fait quoi et comment en matière de maintenance, et ce :

- pour s'assurer du maintien en état des différents moyens de production, de contrôle et moyens de support aux activités de l'entreprise.

- pour s'assurer que les divers facteurs d'impacts environnementaux de la maintenance soient maîtrisés.

### **6.2.1 Interventions de maintenance**

Deux types de maintenance coexistent au niveau de l'usine:

- la maintenance curative (corrective)
- la maintenance préventive

La circulation des documents obéit à des procédures conformément à l'ISO 9001 et suit les étapes indiquées dans le tableau (6.7).

Responsable de la Structure Méthodes SM	<p><b>Cas d'intervention programmée</b> directement par S.M.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emet un B.T en (01) exemplaire</li> <li>• Remet l'exemplaire du B.T à la S.E.</li> </ul>	
Structure exécute S.E (L'intervenant)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Après réalisation (ou non) du travail, retourne l'exemplaire du B.T au S.M dûment renseigné (durée de l'intervention, PR remplacée n° B.S.)</li> </ul>	
Responsable de la Structure Méthodes SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Après retour du B.T. (réalisé), contrôle de la bonne exécution des travaux.</li> <li>- Exploite le B.T et calcule le coût de l'intervention.</li> <li>- Conserve et classe le B.T.</li> </ul>	

Responsable ou structure	Activité	Document
Service demandeur SD (Production ou autres structures)	<p><b>Cas de panne</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emet une demande de travail DT en (03) exemplaires.</li> <li>• Remet le plus rapidement possible (2 ex) à la structure concernée (méthodes ou autres SC</li> </ul>	
Responsable de la Structure Concernée SC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reçoit et examine la Demande de Travail après visite sur site (si nécessaire).</li> <li>• Emet un bon de travail BT à la Structure Exécutante SE en (01) exemplaire.</li> </ul>	
Structure Exécutante S.E (l'intervenant)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrepren la réparation.</li> <li>• Effectue éventuellement des changements de PR (voir n° de Bon de Sortie Magasin de PR).</li> <li>• Après exécution des travaux, la S.E retourne à la Structure Méthode l'exemplaire du BT dûment renseigné ;</li> <li>- Nature de la panne, Durée d'intervention, Pièces remplacées.</li> </ul>	
Responsable de la Structure Méthodes SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enregistre le B.T, calcule le coût de l'intervention et :</li> <li>- Renseigne la fiche historique</li> <li>- Classe l'exemplaire</li> </ul>	

Tableau 6. 7 . Diagramme de circulation des documents

Source : document entreprise

Avec :

SD : Service Demandeur

SE : Structure Exécutante

DT : Demande de Travail

BT : Bon de Travail

SC : Structure Concernée

SM : Structure Méthodes

## **6.2.2 Sélection, vérification et étalonnage des appareils de mesure de l'entreprise Alzinc**

### **a) Maîtrise des instruments**

Une procédure documentée (PQE-4.540) définit les processus permettant de s'assurer que les activités de surveillance et de mesure peuvent être effectuées de manière cohérente par rapport aux exigences de surveillance et de mesure. La procédure traite des aspects techniques et organisationnels liés à cette cohérence.

### **b) Sélection et identification**

La sélection et le choix des instruments de mesure et de contrôle sont effectués sous la responsabilité du laboratoire en concertation avec les services utilisateurs. La nomenclature des appareils de mesure est établie par le laboratoire qui est chargé de son suivi et de sa mise à jour. Les instruments de mesure et de contrôle sont identifiés par un numéro inscrit à l'encre indélébile sur une étiquette collée sur le matériel. Tous les instruments de mesure et de contrôle portent une étiquette lisible permettant de connaître la situation de cet instrument vis-à-vis de sa date de vérification.

### **c) Etalonnage et vérification**

Le programme d'étalonnage et de vérification des instruments de mesure et de contrôle est établi annuellement par les responsables du laboratoire. Les appareils de mesure, de contrôle et d'essai mis à la disposition des différentes structures (laboratoires, qualité, fabrication...) font l'objet au moins d'un étalonnage par an. Les équipements sont étalonnés ou vérifiés selon un mode opératoire de l'entreprise. Le responsable de la structure concernée est chargé du suivi de cet étalonnage ou de cette vérification.

### **d) Etalonnage ou vérification externe (sous-traitance)**

Pour étalonner les appareils de mesure et de contrôle ne pouvant être réalisés en interne, le laboratoire procède, dans la limite des possibilités du marché national, à la sous-traitance des opérations auprès d'un organisme externe. Cet organisme délivre un certificat de conformité, un procès-verbal d'étalonnage ou un P.V. de vérification qui est enregistré.

Pour certains équipements d'essais, la vérification s'effectue par comparaison des résultats d'essais croisés avec d'autres laboratoires.

### **e) Etalonnage ou vérification interne**

La vérification interne des équipements de contrôle ou de masse est réalisée par le responsable du laboratoire.

### **f) Enregistrements**

Le laboratoire enregistre les résultats sur la fiche de vie qui est archivée à son niveau.

### 6.2.3 Maitrise de la qualité dans le processus grillage

Les mécanismes permettant de maîtriser ces processus pour obtenir du premier couples caractéristiques souhaitées pour les produits sortant pour cette étape, sont listées dans le tableau 6.8, et ce, par nature de non-conformités à éviter.

Caractéristiques à obtenir en sortie de cette phase	Non conformités à éviter				Code SP	Documentation sur le produit
-Soufre sulfure <math>2.5 \pm 0.2\%</math> -Soufresulfure $\leq 0.3 + 0.1\%$	Taux de soufre sulfate ou de soufre sulfure élevé :				01	Documentation complémentaire
Paramètre sur lequel agir	Pilotage	Réglage	Consigne	Activités	Documentation complémentaire	
Taux d'humidité blende			x	Vérifier le taux d'humidité : -Taux est élevé ; augmenter graduellement la cadence de production jusqu'à stabilisation de la température du bain (900-950°C). -Taux est faible : augmenter le taux d'humidité en arrosant la blende au niveau du M21 (goutte à goutte) ou au niveau des longues avec un camion-citerne jusqu'à obtention du pourcentage d'humidité voulue. Une analyse du laboratoire est nécessaire.	Néant	
Tonnage de la blende			x	Vérifier le tonnage de blende injecté à l'intérieur du four et ce, en fonction du débit d'air. Ce tonnage doit être en parfaite concordance avec le débit d'air.	Néant	
Composition de la charge			x	Procéder à la modification de la charge constituée des différentes blends et ce, en fonction des résultats des souffres obtenus	MO-7511.01	

Caractéristique à obtenir en sortie de cette phase	Non conformités à éviter			Code SP	Documentation sur le produit
90% du ZnO < 74 µ	Granulométrie non conforme			02	
Paramètre sur lequel agir	Pilotage	Réglage	Consigne	Activités	Documentation complémentaire
Rapport 90/10			X	Vérifier le by pass pour s'assurer que la qualité voulue est envoyée vers le broyeur dans le rapport 90/10.	Néant
Nombre de boulets	X			Ajouter une quantité de boulets en fonction de résultats d'analyses du laboratoire. Cette opération doit être renouvelée jusqu'à obtention de la finesse voulue	Néant
Ampérage	X			Surveiller l'ampérage du broyeur qui doit varier de 28 à 32 A. -Si la valeur affichée est inférieure à 28A; rajouts de boulets de Ø80 jusqu'à obtention de l'ampérage nominal. -Si valeur affichée est supérieure à 32A ; le moteur doit déclencher (broyeur obturé).	Voir spécification technique
Débit de la blende			X	Vérifier le débit de la blende s'il ne dépasse de loin les capacités du broyeur (10t/h du grillé).	Néant

Caractéristique à obtenir en sortie de cette phase	Non conformités à éviter			Code SP	Documentation sur le produit
ZnO : 87%	Mauvais grillage de la blende (ZnO<87%)			03	
Paramètre sur lequel agir	Pilotage	Réglage	Consigne	Activités	Documentation complémentaire
Taux d'humidité blende			X	Vérifier le taux d'humidité : -Taux élevé ; Augmenter graduellement la cadence de production jusqu'à stabilisation de la température du bain (900-950°C). -Taux faible : Augmenter le taux de l'humidité en arrosant la blende au niveau du M21 (goutte à goutte) ou à niveau des loges avec un camion citerne jusqu'à obtention du pourcentage d'humidité voulue. Une analyse par le laboratoire est nécessaire.	Néant
Composition de la charge			X	Procéder à la modification de la charge constituée des différentes blendes et ce, en fonction des résultats des souffres obtenus.	MO-7511.01
% de soufre dans la blende			X	Vérifier le taux de soufre dans la blende. Si le taux est inférieur à 32%, il y a au lieu d'augmenter la cadence de production afin d'obtenir le combustible nécessaire permettant d'avoir les températures du grillé variant de 900 à 950°C.	Néant
Débit d'air			X	Vérifier le débit d'air s'il est en adéquation avec la pression du bain four.	Néant

Caractéristiques à obtenir en sortie de cette phase	Non conformités à éviter			Code SP	Documentation sur le produit
Température du four : 900 à 950 °C	Présence de ferrite			04	
Paramètres sur lequel agir	Pilotage	Réglage	Consigne	Activités	Documentation complémentaire
Température			X	Vérifier la température de fours .Si elle est très élevée (sup .à 950°C), elle favorise la création de ferrite qui est nuisible à la lixiviation. Réduire la température du four pour être dans les limites fixées.	Néant

**Tableau 6. 8.** Maitrise des paramètres de fabrication dans le processus de grillage

Source : document entreprise

### 6.3 Audit de la fonction maintenance de l'entreprise

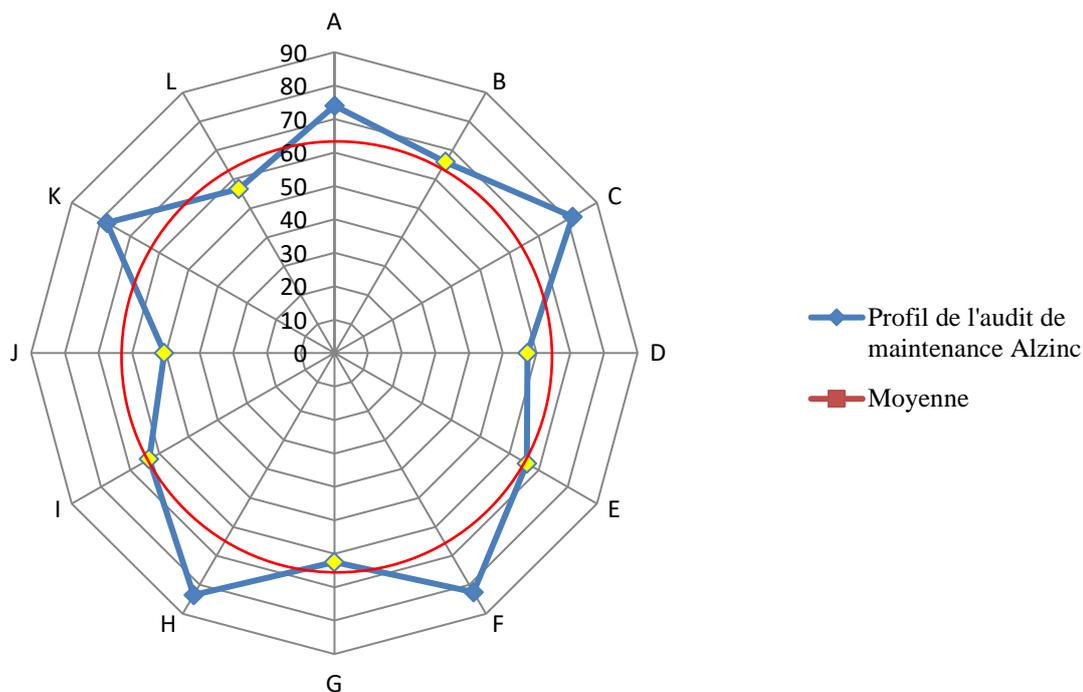
Un questionnaire d'audit comportant 12 rubriques et 120 questions a été utilisé pour évaluer le fonctionnement de la maintenance dans l'entreprise Alzinc. (Annexe2).

Rubriques	Scores	Max possible	Pourcentage %
A - Organisation générale	185	250	74
B - Métho de travail	165	250	66
C - Suivi technique des équipements	204	250	81,6
D - Gestion du portefeuille de travaux	172	300	57,33
E - Stock pièces de rechanges	132	200	66
F - Achats et approvisionnement des pièces	165	200	82,5
G - Organisation matérielle	125	200	62,5
H - Outillages	167	200	83,5
I - Documentation technique	127	200	63,5
J - Personnel et formation	202	400	50,5
K - Sous-traitance	195	250	78
L - Contrôle d'activité	170	300	56,66
Score total	2009	3000	<b>66,96</b>

**Tableau 6. 9** Détermination du score total et pourcentage moyen pour la fonction maintenance de l'entreprise Alzinc

En se basant sur le questionnaire d'audit de la fonction maintenance [4], nous avons évalué le score dans chaque rubrique et mis en évidence les axes à améliorer (Axes de progrès)

en maintenance de l'entreprise Alzinc, le niveau global de performance selon les 12 axes de progrès (Rubriques) obtenu est de 66,96%. Pour identifier les points sur lesquels une amélioration devait être engagée, nous avons tracé un cercle de rayon égal au pourcentage moyen calculé.



**Figure 6. 13 .** Profil et moyenne du score du questionnaire de l'audit de maintenance de l'entreprise Alzinc

Tous les sept points à l'intérieur du cercle sont des points où des progrès peuvent être réalisés suivant l'ordre établi dans le tableau suivant :

Niveau de priorité	Axes de progrès	Niveau de performance
1	J- Personnel et formation	50.5
2	I- Contrôle d'activité	56.66
3	D- Gestion du portefeuille de travaux	57.33
4	G- Organisation matérielle	62.5
5	I- Documentation technique	63.5
6	B - Métho de de travail	66
7	E - Stock pièces de rechanges	66

**Tableau 6. 10** Axes d'amélioration en maintenance pour Alzinc

## **6.4 Méthodologie**

### **6.4.1 Identification des équipements critiques de l'atelier du grillage**

La criticité mesure les conséquences des dysfonctionnements de l'équipement sur le fonctionnement général de l'atelier. Elle est mesurée selon la méthode PIEU à partir des quatre critères suivants : 1) Incidence des **P**annes (**P**), 2) **I**mportance des l'équipement (**I**),3) **E**tat de l'équipement (**E**) et 4) Taux d'**U**tilisation (**U**).

Sur cette base, la criticité CR se calcule, équipement par équipement, en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère :

$$CR= P \times I \times E \times U \quad (6.1)$$

Avec ce principe de notation, plus la valeur de CR est faible, plus la criticité est importante. Un équipement avec une criticité égale à zéro est supercritique. L'évaluation de la criticité de tous les équipements de l'atelier de grillage nous a permis d'identifier les équipements les plus critiques à savoir, les quatre ventilateurs représentés dans le tableau 6.12.

Nous avons retenu le ventilateur principal K102 pour une application AMDEC et dont le nombre de défaillances est le plus important

Poids		0	1	2	3
P	Incidence des Pannes	Répercussions graves sur qualité et/ou environnement	Répercussions sur qualité avec génération de rebuts	Retouches possibles	Aucune répercussion sur la qualité
I	Importance	Stratégique Pas de délestage sur autre machine Sous-traitance	Important Pas de délestage sur autre machine Sous-traitance possible	Secondaire délestage possible	Equipement de secours
E	Etat	A rénover ou à réformer	A réviser	A surveiller	A l'état spécifié
U	Taux d'Utilisation	Saturé	Elevé	Moyen	Faible

**Tableau 6. 11 .** Table d'évaluation de la criticité. [85]

Désignation	Codes internes	Criticité de l'équipement				
		P	I	E	U	CR
Ventilateur d'air de grillage M 26	320001	2	0	2	1	0
Ventilateur intermédiaire M 30	32VCO2	2	0	2	1	0
Ventilateur de soufflage	32VC01	2	0	2	1	0
Ventilateur principal K 102	37VC 102	1	0	0	0	0

**Tableau 6. 12 .** Equipements supercritiques de l'atelier du grillage.

#### 6.4.2 Utilisation de la complémentarité MBF/TPM

L'optimisation de la maintenance par le management de la qualité consiste à utiliser la complémentarité MBF/TPM. La méthode MBF est considérée comme une première marche de progression technique et organisationnelle vers la mise en place de la TPM [129] et comme un outil privilégié sur lequel les quatre premiers piliers de la TPM viennent s'appuyer, tout en tenant compte du contexte socioculturel de l'entreprise.

Le gain de temps étant une priorité, cette structuration permet d'aboutir au mieux et dans les plus brefs délais aux résultats escomptés. Les conditions de succès techniques et

économiques de l'implémentation de la MBF (approche structurale) et des piliers de la TPM (approche structurante) reposent sur la mutation la plus difficile à accomplir au sein de l'entreprise, à savoir, le changement de culture. Pour réussir ce changement, l'implication du personnel à tous les niveaux de l'organisation est primordiale.

Par ailleurs, et afin d'essayer de sensibiliser les entreprises algériennes de production et l'entreprise Alzinc en particulier, sur l'importance de la relation entre la qualité et la fonction maintenance, nous avons déjà pensé à organiser un symposium international (Qualima01) du 11 au 23 novembre 2004 au sein de l'université de Tlemcen. Le but de cette manifestation dont le thème général était « Qualité et Maintenance au service de l'entreprise », était d'explorer d'une part, les voies et méthodes pour impliquer la fonction maintenance dans l'assurance qualité et d'autre part, d'étudier et de mesurer l'impact du management de la qualité sur cette fonction. D'autre part, à partir de l'année 2007 et après accord de la direction générale pour notre projet, nous avons entamé plusieurs visites de l'entreprise Alzinc afin de sensibiliser les intervenants directs dans l'atelier de grillage, à la TPM, à la fiabilité et l'AMDEC et à la criticité des équipements. De même, nous avons recommandé aux décideurs de l'entreprise de faire bénéficier les travailleurs concernés à suivre une formation à l'extérieur de l'usine sur les méthodes contemporaines de la maintenance ; ce qui a été concrétisé entre 2009 et 2011 à l'institut «ISEC » de Tlemcen.

#### **6.4.3 Mise en œuvre de la méthode MBF**

Quatre étapes ont été nécessaires pour sa mise en place :

1) la première étape a été consacrée à l'étude des équipements de production de l'entreprise et à la validation du choix de l'atelier du grillage comme site d'étude en collaboration avec la direction.

2) la seconde étape a permis l'analyse des équipements étudiés grâce à la méthode PIEU

3) la troisième étape a consisté à définir les actions et tâches pour améliorer la maintenance préventive des équipements super-critiques de l'atelier du grillage, en menant une étude AMDEC

4) la quatrième étape a pris en compte le retour de l'expérience pour affiner la maintenance.

Différents acteurs ont été impliqués pour la mise en œuvre de cette méthode. L'ensemble des services production, qualité et maintenance a été sollicité. Dans cette démarche participative, trois groupes de travail ont été créés :

- le groupe « management de la MBF », composé par les responsables des services Maintenance, Production, Qualité et environnement.

- le groupe « pilote de la MBF » chargé de la partie la plus importante du travail lié à la MBF formé par le chef de service de l'atelier grillage et moi-même comme intervenant extérieur.
- et le « groupe équipement de la MBF », des travailleurs venant des services de production et maintenance pour le recueil de données sur le terrain. Ce groupe a permis d'améliorer les actions préventives.

Plusieurs réunions ont été organisées régulièrement durant lesquelles tous les avis exprimés ont été pris en compte afin de favoriser une démarche constructive et participative.

#### 6.4.4 Démarche d'implantation de la TPM au sein de l'entreprise Alzinc

La démarche TPM s'appuie sur huit piliers (tableau 6.13). Afin d'atteindre dans un premier temps, l'efficacité maximale du système de production, nous mettons en œuvre les quatre premiers piliers. (Axe n° 1)

<p><b>Axe n° 1</b> : Atteindre l'efficacité maximale du système de production</p>	<p><b>Axe n° 2</b> : Améliorer le système pour obtenir les conditions idéales de la performance industrielle et les améliorer</p>
<p>Pilier 1 – Chasse aux pertes ou amélioration au cas par cas.</p> <p>Pilier 2 – Maintenance autonome ou gestion autonome des équipements.</p> <p>Pilier 3 – Maintenance planifiée.</p> <p>Pilier 4 – Amélioration des connaissances et du savoir-faire.</p>	<p>Pilier 5 – Conception nouveaux produits nouveaux équipements</p> <p>Pilier 6 – Maintenance de la qualité.</p> <p>Pilier 7 – Application de la TPM dans les services fonctionnels</p> <p>Pilier 8 – Sécurité, conditions de travail et environnement.</p>

**Tableau 6. 13 .** Axes d'efficacité maximale et conditions idéales du système de production

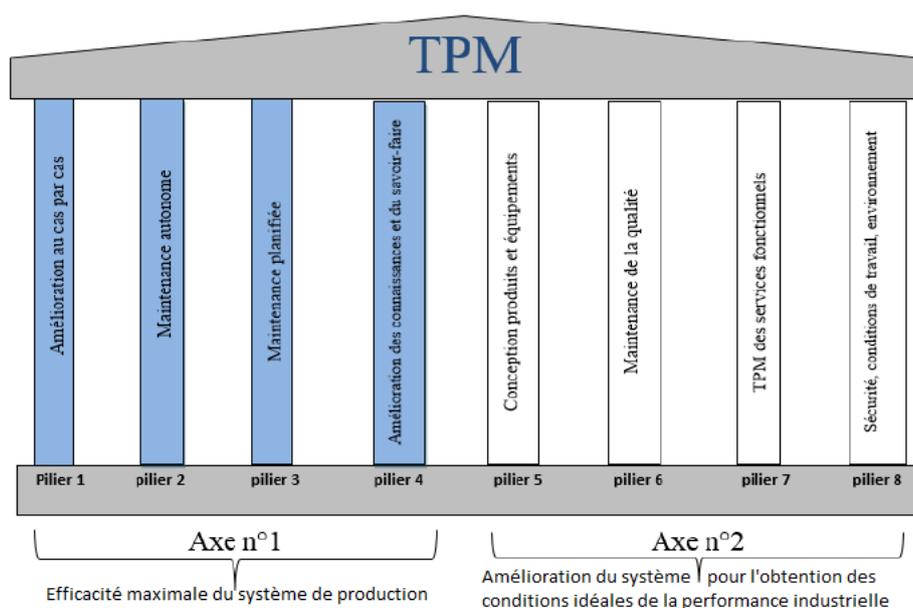


Figure 6. 14 . Piliers de la TPM

#### 6.4.5 Engagement de l'entreprise Alzinc dans la formation

Dans le cadre de la procédure de management, l'entreprise Alzinc dispose d'un plan annuel de formation (stages externes ou internes acquisition des connaissances par une activité sur le poste de travail. Toutes les actions de formation et d'expériences guidées, font l'objet d'enregistrement individuels sur des formulaires codifiés « Fiche historique individuelle ». Toute formation fait l'objet d'une évaluation postérieure, enregistrée dans des formulaires codifiés.

Lors de l'engagement de l'entreprise Alzinc dans les diverses certifications, la Direction Générale a organisé des actions de formation appropriées au management de la qualité pour l'ensemble du personnel. Nous avons constaté que cette formation a eu un bon effet sur le personnel concerné et lui a permis d'acquérir une culture qualité. D'autres formations en maintenance ont été programmées à l'extérieur de l'entreprise durant lesquelles les stagiaires ont eu l'occasion de familiariser avec la MBF et la TPM. Ces formations ont eu lieu à l'Institut Supérieur d'Enseignement Commercial (ISEC) de Tlemcen entre 2009 et 2011 et ont été utiles pour l'implantation de la complémentarité MBF / TPM par la suite.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise Alzinc, le lieu d'étude et d'expérimentation, son organisation et ses spécificités. Nous y avons ciblé un atelier pilote et critique (atelier du grillage), et cela après une concertation avec la direction générale.

L'analyse et l'exploitation des documents codifiés de l'entreprise nous permet d'affirmer que le management de la maintenance est en accord avec la certification ISO 9001 de l'entreprise. En effet, nous avons pu mettre en évidence que la maintenance est structurée et gérée selon la norme ISO 9001 version 2008, conformément au 5 M. De même, l'exploitation de ces documents, nous a renseigné sur la maîtrise de la qualité dans le processus du grillage.

Les procédures (vérifications, non conformités à éviter, consignes...) et les interventions de maintenance (diagramme de circulation des documents) dans le cadre du système qualité de l'entreprise y ont été détaillées. Par ailleurs et à travers l'examen d'une procédure documentée du service instrumentation, nous avons constaté aussi que ce dernier dispose d'un programme minutieux d'étalonnage et de vérification des instruments de mesure de tous les services utilisateurs de l'entreprise, ce qui contribue à la qualité des interventions en maintenance.

Pour cerner éventuellement les lacunes et identifier les points sur lesquels des améliorations étaient encore possibles, nous avons procédé à un audit de la fonction maintenance. D'autre part, après avoir exposé les démarches de mise en œuvre de la MBF et de la TPM, nous avons montré comment utiliser leur complémentarité. Enfin, à l'aide de la méthode PIEU, nous avons pu identifier les équipements critiques de l'atelier du grillage, mener une étude AMDEC et dégager l'équipement le plus critique, en l'occurrence le ventilateur K102 qui a été modifié en 2010.

## **Chapitre 7**

# **Apports et impact du management de la qualité sur la fonction maintenance de l'entreprise**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous montrons l'impact du management de la qualité sur la maintenance, c'est-à-dire l'apport de la combinaison de la MBF/TPM dans notre contexte socioculturel et ce grâce à l'évaluation positive et à la détermination des critères technique, économique et de performance (de 2008 à 2014), avec le concours des responsables et cadres de l'entreprise.

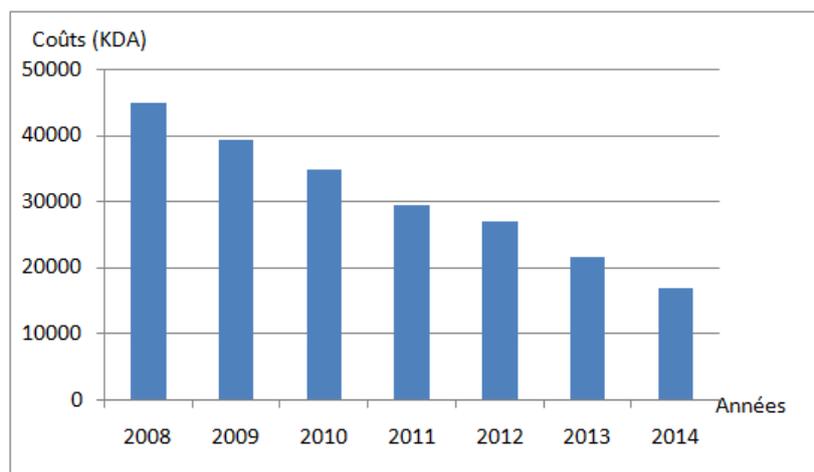
Pour cette même période, le TRS a été évalué et suivi mensuellement ainsi que sa moyenne annuelle. En matière de sécurité, d'environnement et d'efficacité énergétique, nous avons montré également, grâce à la collecte des données en entreprise, la diminution des différents rejets, de l'absentéisme, du nombre d'accidents et de la consommation énergétique.

### 7.1 Amélioration des critères techniques et économiques

Dans le tableau 7.1, nous avons reporté les coûts de maintenance des équipements de l'atelier « grillage » durant sept années consécutives, à savoir de 2008 à 2014.

	Années	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Coûts de maintenance par agrégat (KDA)	Transport et stockage de la blende	2941,372	3643,695	942,900	768,125	1980,800	2879,800	850,300
	Chargement du four	4710,00	4649,733	3800,933	3116,335	540,000	3397,400	3260,100
	Transport grille ZnO	2133,933	2777,161	3149,982	2089,360	9187,700	6698,300	5050,900
	Epuration sèche	11203,868	17983,488	7052,334	6587,720	11687,600	5777,700	5160,700
	Epuration humide	621,901	528,345	591,213	548,568	148,400	587,700	556,400
	Soufflantes	6289,941	3588,626	460,154	460,154	39,200	19,400	15,600
	Contact acide	16891,620	6017,079	15782,510	15782,510	3471,400	2285,900	2038,600
	Total coûts	44792,435	39301,527	34718,123	29352,770	27055,100	21646,200	16932,600

**Tableau 7.1 .** Évolution des coûts de maintenance de l'atelier « Grillage »

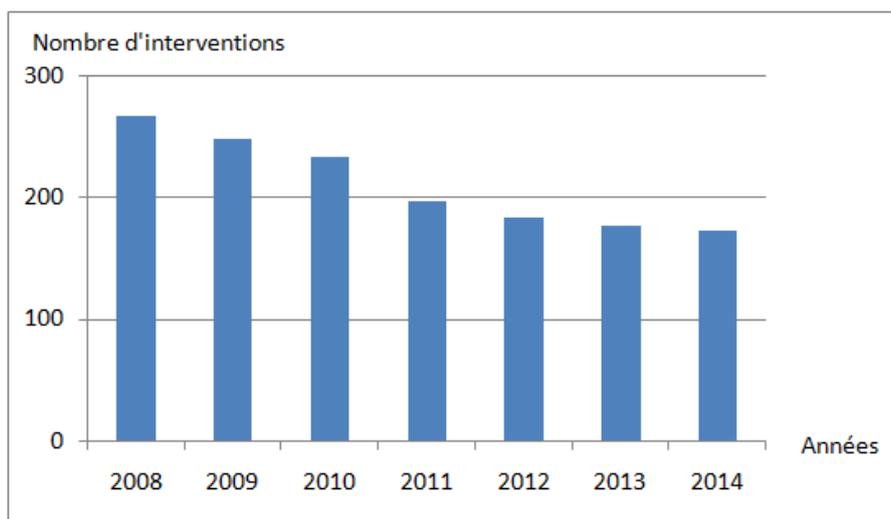


**Figure 7.1 .** Evolution des coûts de maintenance des équipements de l'atelier grillage

Nous avons regroupé le nombre d'interventions sur les équipements, par agrégats, dans le tableau 7.2 et la figure 7.2.

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Transport et stockage de la blende	53	49	29	31	27	29	27
Chargement four	8	9	12	11	10	7	8
Transport grille ZnO	13	8	7	5	4	5	6
Epuration sèche	89	89	81	78	74	71	69
Epuration humide	46	41	39	31	29	26	25
Soufflantes	35	33	32	21	19	18	20
Contact acide	23	19	23	20	20	21	18
Nombre d'interventions	267	248	233	197	183	177	173

**Tableau 7.2 .** Interventions sur les équipements de l'atelier « Grillage »

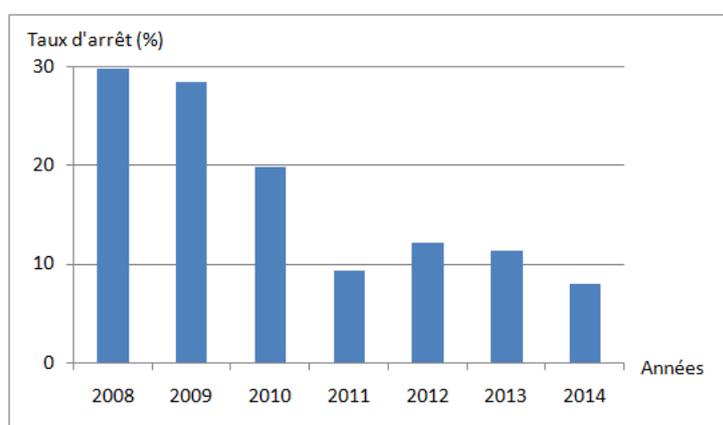


**Figure 7. 2 .** Évolution des interventions sur les équipements de l'atelier « Grillage »

Le tableau 7.3 montre la diminution de taux d'arrêt des équipements durant la période d'étude sauf pour les années 2012 et 2013.

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Temps total (Heures)	8784	8760	8760	8760	8784	8760	8760
Temps d'arrêt (Heures)	2617.632	2493.972	1739,736	813.804	1067	994	697,8
Taux d'arrêt %	29,8	28,47	19,86	9,29	12,14	11,34	7,96

**Tableau 7. 3 .** Taux d'arrêt des équipements de l'atelier du grillage



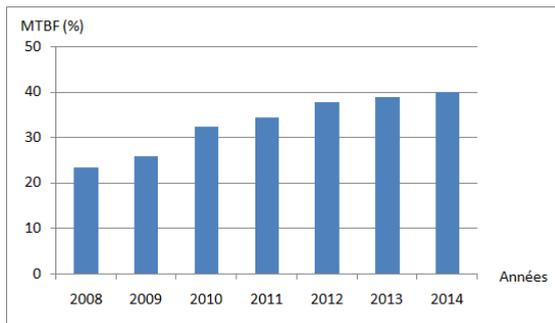
**Figure 7. 3 .** Evolution du taux d'arrêt des équipements

## 7.2 Critères de performance

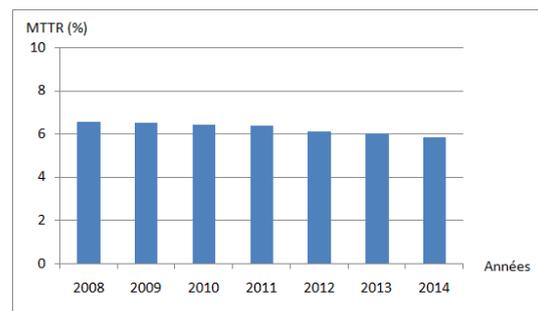
Les figures 7.4 et 7.5 ainsi que le tableau 7.4 montrent l'évolution des MTBF et MTTR des équipements de l'atelier grillage.

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Temps de fonctionnement	8016	8016	8016	8016	8016	8016	8016
Temps de pannes	1750	1614	1435	1256	1123	1075	1023
Nombre de pannes	267	248	223	197	183	179	175
MTBF %	23,46	25,81	32,42	34,31	37,66	38,77	39,96
MTTR%	6,55	6,50	6,43	6,37	6,13	6	5,84
Taux de défaillance $\lambda$	0,042	0,038	0,030	0,029	0,027	0,026	0,025

**Tableau 7.4 . MTBF et MTTR des équipements de l'atelier grillage**



**Figure 7.4 . Evolution des MTBF des équipements de l'atelier grillage**



**Figure 7.5 . Evolution des MTTR des équipements de l'atelier grillage**

### 7.2.1 Évaluation du Taux de Rendement Synthétique (TRS)

$$\text{TRS} = \text{TD} \times \text{TP} \times \text{TQ} \quad (7.1)$$

Avec :

TD = Taux de Disponibilité ou Taux brut de fonctionnement

TD = (Temps requis - Temps d'arrêt curative) / Temps requis

Temps requis : Temps d'ouverture- temps d'arrêt préventive (planifié)

TP : Taux de Performance ou Taux net de fonctionnement

TP= (Temps de cycle théorique X Production réelle) / Temps de production réelle

TQ : Taux de Qualité

TQ = (Production réelle - Production rejetée) / Production réelle

-Taux de disponibilité

Les temps d'arrêts durant les années 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 et 2014 sont évalués d'après les fiches historiques de maintenance.

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TD (%)	88.14	91.61	93.75	88.59	91.79	92.26	94.93

**Tableau 7.5 . Évolution du Taux de Disponibilité des équipements**

-Taux de performance

TP = (temps de cycle × Production réelle) / temps de production réel. (Formule 4.2)

Temps de cycle= 1 / capacité de production maximum [Qté / heure]

Capacité de production maximum = 260 tonnes/24 heures = 10,83tonnes /heure

Temps de cycle = 1 / 10,83 = 0,092

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TP (%)	81.90	83.48	81.87	81.45	80.82	84.29	85.34

**Tableau 7.6 . Évolution du Taux de Performance des équipements**

-Taux de qualité

TQ = (production réelle-production rejetée) / production réelle

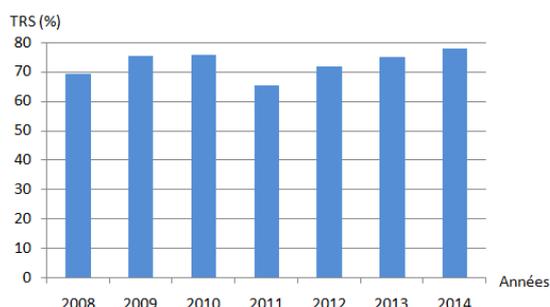
Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TQ (%)	95.89	98.87	98.87	98.08	96.82	96.45	95.99

**Tableau 7.7 . Évolution du Taux de Qualité des équipements**

- Taux de rendement synthétique

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TRS (%)	69,21	75,47	75,88	65,51	71,82	75,04	77,76

**Tableau 7.8 . Évolution du Taux de Rendement Synthétique (TRS) de l'atelier « Grillage »**



**Figure 7.6 . Evolution des TRS**

### 7.3 Evolution des coûts de maintenance dans l'atelier du grillage

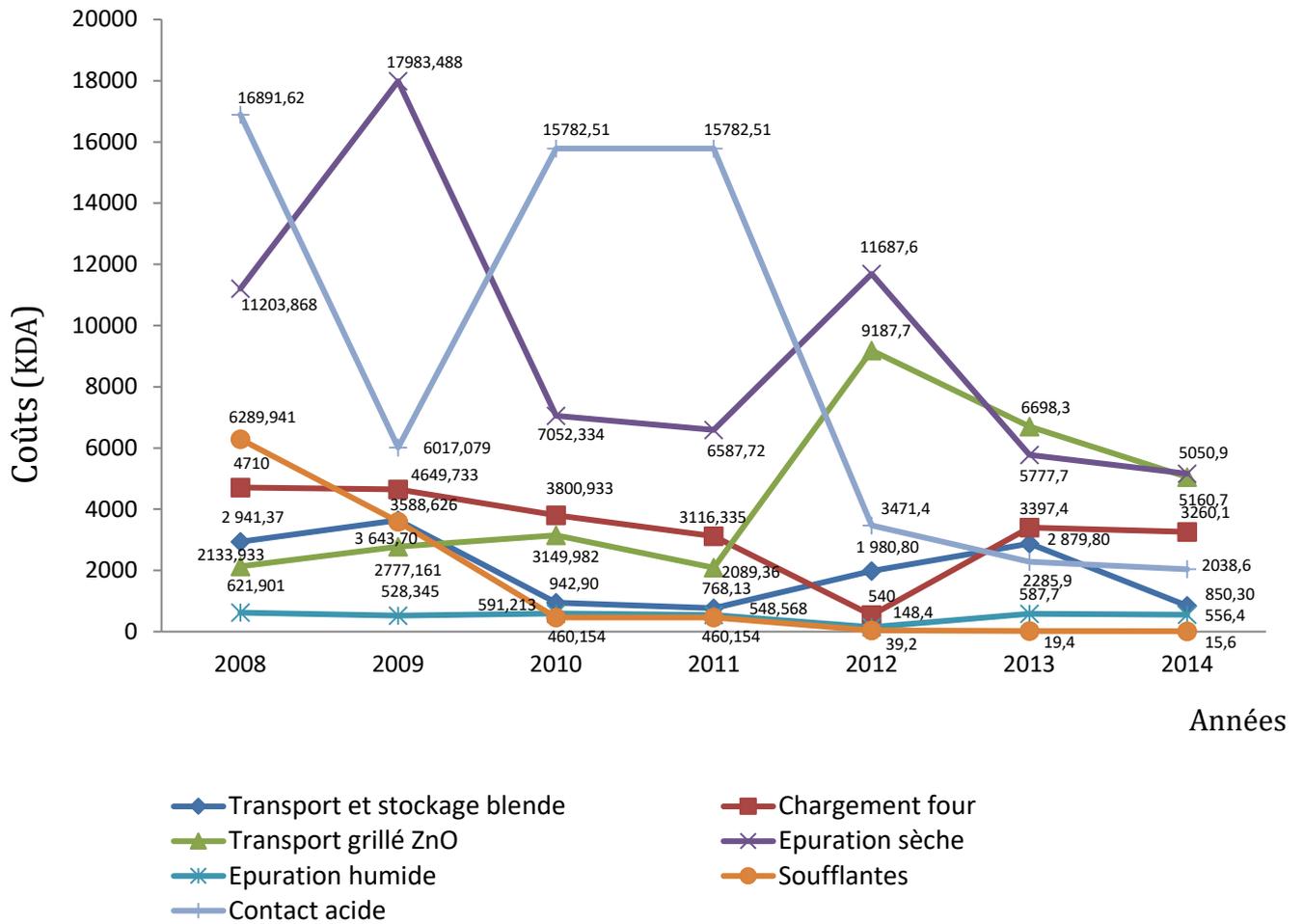


Figure 7.7. Coûts de maintenance par agrégats

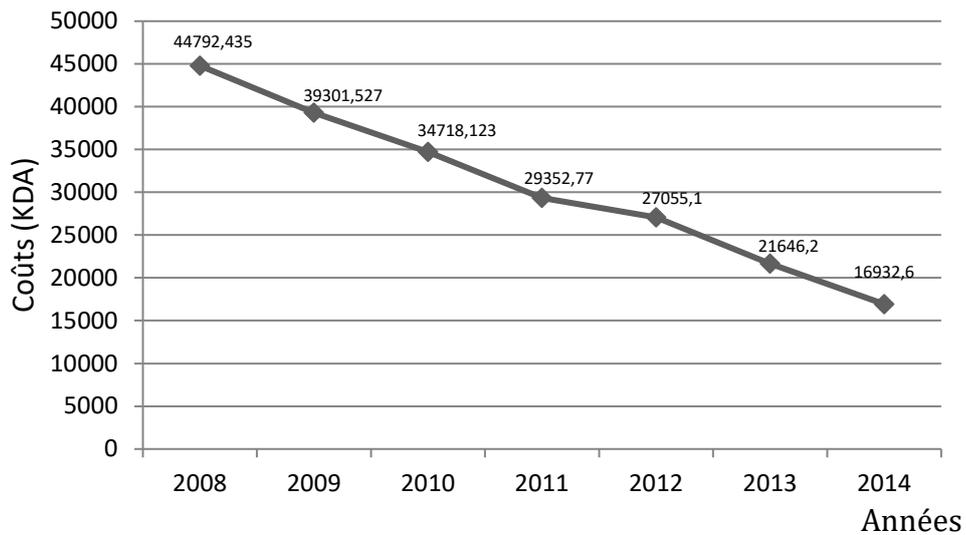


Figure 7.8. Total des coûts de maintenance

#### 7.4 Sécurité, environnement et efficacité énergétique

En matière de sécurité et de protection de l'environnement, la stratégie et la politique environnementale de l'entreprise ont été bénéfiques. En effet, nous avons pu observer la stabilisation des différents rejets de l'entreprise (SO<sub>2</sub>, Ni, Pb, Cr et Zn) grâce à des travaux de rénovation, en particulier ceux des cheminées de l'usine. Les tableaux 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 et 7.13 illustrent la stabilisation de ces différents rejets.

##### 7.4.1 Rejets et protection de l'environnement

Rejets du SO<sub>2</sub>

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Rejet SO <sub>2</sub> %	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,23	0,22

**Tableau 7. 9 .** Stabilisation du SO<sub>2</sub>

Rejets du Ni

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ni (mg/l)	0.040	0.039	0.038	0.038	0.037	0.034	0.032

**Tableau 7. 10 .** Stabilisation du Ni

Rejets de Pb

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pb (mg/l)	0.65	0.64	0.63	0.56	0.56	0.52	0.50

**Tableau 7. 11 .** Stabilisation du Pb

Rejets de Cr

Année	2008	2009	2010	2011
Cr (mg/l)	0.55	0.54	0.53	0.51

**Tableau 7. 12 .** Stabilisation du Cr

A partir de la fin de l'année 2011, le suivi de la stabilisation du Cr a été mis en veilleuse au profit du suivi de la stabilisation du Zn.

Rejets de Zn

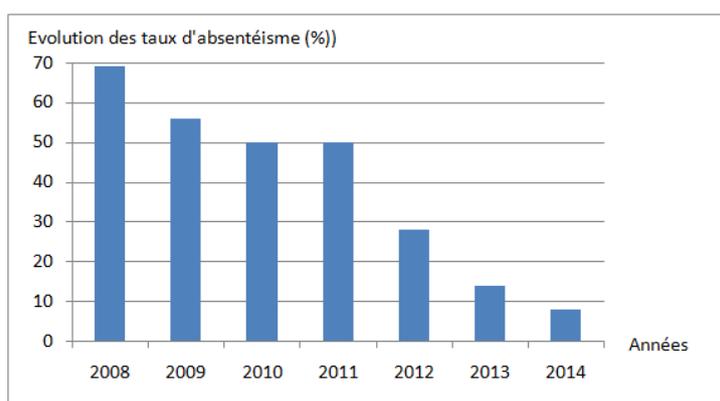
Année	2012	2013	2014
Zn (mg/l)	2.04	2.03	2.01

**Tableau 7. 13 .** Stabilisation du Zn

Nous avons pu également observer une diminution progressive du taux d'absentéisme de l'entreprise (avec cependant, une légère hausse en 2011 et 2012).

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Taux d'absentéisme (%)	5,6	4	3,8	4	4	3,6	3,3

**Tableau 7. 14 .**Evolution du taux d'absentéisme de l'entreprise

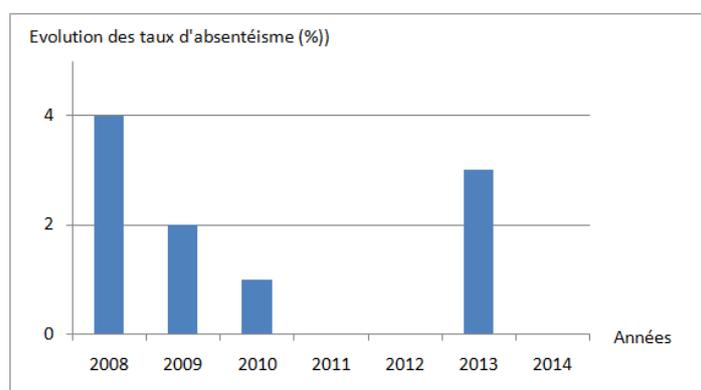


**Figure 7. 9 .** Evolution du taux d'absentéisme de l'entreprise

Le tableau 7.15 montre la diminution du nombre d'accidents au sein de l'entreprise et dans l'atelier du grillage (nette à partir de 2011).

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Entreprise	69	56	50	-	28	14	08
Atelier du grillage	4	2	1	0	0	3 (Mineurs)	0

**Tableau 7. 15 .**Evolution du nombre d'accidents dans l'entreprise et l'atelier de grillage



**Figure 7. 10 .** Evolution du taux d'absentéisme de l'atelier du grillage

### 7.4.2 Consommation énergétique

Dans le cadre de sa politique environnementale et en collaboration avec l'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), l'entreprise a réussi à diminuer sa consommation d'énergie entre les années 2008 et 2014. Les résultats dans ce domaine de projet d'efficacité énergétique sont très encourageants, comme le montrent le tableau (7.16) et la figure (7.11)

Année	Consommation d'énergie (KWh)
2008	175340012
2009	167398071
2010	142836210
2011	135859400
2012	122376500
2013	96816200
2014	72681600

Tableau 7. 16 . Consommation d'énergie de l'entreprise

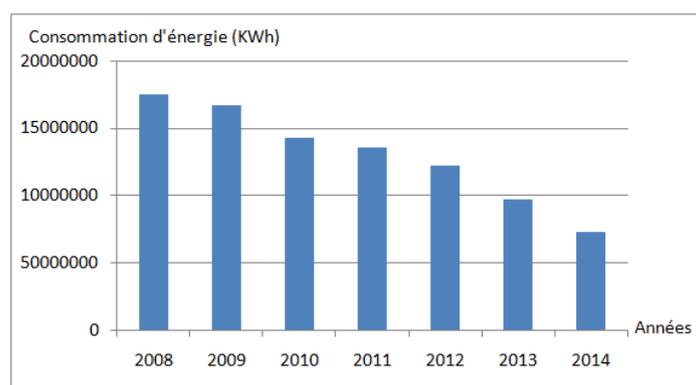


Figure 7. 11 . Evolution de la consommation d'énergie de l'entreprise.

L'étude AMDEC réalisée sur l'équipement ventilateur K102 a confirmé son état de dégradation, ce qui a conduit à procéder à son remplacement au mois de janvier 2010.

### **Conclusion**

Comme le montrent les résultats, un management judicieux de la maintenance intégrant la combinaison de la MBF et la TPM par la mise en œuvre d'une politique qualité en maintenance, améliore les critères de performance, notamment par la diminution des coûts de maintenance, des Moyennes des Temps de Réparation (MTTR) et par l'amélioration des Moyennes des Temps de Bon Fonctionnement (MTBF) et le Taux de Rendement Synthétique (TRS). D'autre part, nous remarquons également, que la politique environnementale de l'entreprise Alzinc a été positive en matière de sécurité et de protection de l'environnement.

# **Chapitre 8**

## **Etude empirique , résultats et discussion générale**

## Introduction

Dans le présent chapitre, nous menons l'étude empirique qui porte sur la vérification de la relation existante entre les différentes variables de notre modèle conceptuel et sur les principaux facteurs susceptibles d'avoir une influence sur l'optimisation de la maintenance. Nous partons du principe que le fait d'étudier les liens entre les variables qui sont la MBF, la TPM, la dimension socioculturelle et l'optimisation de la maintenance, cela permettrait de mieux comprendre notre processus d'optimisation.

### 8.1 Intérêt de l'étude empirique et collecte des données

L'originalité de l'étude empirique (détermination du critère socioculturel) réside dans le fait qu'elle étudie les relations instantanées entre plusieurs variables, à savoir la MBF, la TPM, les dimensions culturelles (DC) et l'optimisation de la maintenance (OM).

La recherche nous a permis d'une part, de mettre en évidence l'influence des dimensions culturelles sur la MBF et la TPM ainsi que leur impact sur le processus d'optimisation de la maintenance. Ceci nous a conduit à utiliser la méthode des équations structurelles qui permet de mesurer les influences instantanées entre les variables.

### 8.2 Structuration du questionnaire de l'étude empirique

Le questionnaire utilisé est l'outil principal de la collecte de données pour notre recherche. Nous avons distribué 200 questionnaires et nous avons pu récolter 159. Lors de l'administration du questionnaire, nous avons veillé à respecter certaines règles. Des entretiens ont été organisés auprès des responsables de l'entreprise qui avaient déjà connaissance de notre projet dans le passé. Au cours de ces rencontres, le questionnaire élaboré par nos soins, a été présenté, expliqué et discuté. Les questions ont été judicieusement choisies en s'appuyant sur une lecture approfondie de la littérature dans le domaine de la sociologie et la psychologie des organisations.

#### 8.2.1 Echelle de mesure

Nous avons retenu l'échelle métrique de « Likert » qui est compatible avec les traitements statistiques, facilitant ainsi l'analyse des données. Nous avons choisi de l'appliquer sur 7 échelons afin d'élargir le choix des réponses pour les répondants

Pas du tout d'accord (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	Tout à fait d'accord (7)
-----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----------------------------

**Tableau 8.1 .** Tableau Echelle de Likert

### 8.2.2 Corps du questionnaire

Des items ont été conçus après une lecture approfondie de la littérature scientifique relative à nos variables qui sont : la MBF, la TPM, les Dimensions Culturelles (DC) et l'Optimisation de la Maintenance (OM). Ainsi, 15 items ont été proposés pour mesurer la variable MBF, 08 pour la TPM, 15 pour les dimensions culturelles (DC) et 10 pour l'optimisation de la maintenance (OM).

#### Données descriptives

Ancienneté	Moins d'un an	Entre 1 – 5 ans	Entre 5 – 10 ans	Plus de 10ans
Fréquence	3	22	47	87

Niveau académique	Fondamentale	Moyen/Lycée	Baccalauréat	Universitaire
Fréquence	17	52	26	63

Salaire	Moins de 18000 (DA)	Entre 18000 – 30000	Entre 30000- 50000	Plus de 50000
Fréquence	6	53	91	9

Genre	M	F
Fréquence	157	2

Ville de résidence	Ghazaouet	Tlemcen	Souahlia	Autres
Fréquence	142	9	4	5

Age	20-25	26-29	30-35	36-39	40-45	46 et plus
Fréquence	6	15	31	31	55	21

### 8.3 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse des données et la technique de base de l'Analyse Factorielle (AF). Elle recherche une solution à l'ensemble de la variance des variables mesurées. Elle tente d'expliquer seulement la variance qui est commune à au moins deux variables et présume que chaque variable possède aussi une variance

unique représentant son apport propre. Elle tente de trouver une solution où les composantes sont indépendantes entre elles.

Les techniques d'analyse factorielle, telles que l'ACP, visent trois objectifs principaux :

- comprendre la structure d'un ensemble de variables ( voir quelles sont les variables qui sont associées dans un questionnaire)
- concevoir et raffiner des instruments de mesure comme des tests et des questionnaires basés sur des échelles de type Likert , permettant de mesurer des construits latents .
- condenser l'information continue à l'intérieur d'un grand nombre de variables (items d'un questionnaire ou d'un test, par exemple) en un ensemble restreint de nouvelles dimensions composites, tout en assurant une perte minimale d'information .

### **8.3.1 Analyse Factorielle (AF)**

L'analyse factorielle (AF) fait la même chose que l'ACP mais tient compte uniquement de la variance commune à l'ensemble des items. Elle extrait des facteurs qui peuvent être indépendants ou corrélés entre eux. Son but est de reproduire le plus fidèlement possible la matrice de corrélation .Comme l'ACP, elle permet de déterminer des sous-ensembles plus fortement corrélés entre eux [22].

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC) ont été réalisées respectivement à l'aide des logiciels SPSS.22 et Statistica version 08.

#### **8.3.1.1 Test de Kaizer Meyer Olkin (KMO)**

Le test KMO est un indice qui indique l'adéquation de la taille de l'échantillon pour procéder à l'analyse factorielle, il permet donc, d'examiner la faisabilité d'une analyse factorielle.. Il indique jusqu'à quel point l'ensemble de variables retenu est un ensemble cohérent, autrement dit, il renseigne sur la qualité de la corrélation inter-items .Cet indice doit être supérieur à 0,50 et tendre vers 1 [22].

#### **8.3.1.2 Test de sphéricité de Bartlett**

Le test de sphéricité révèle s'il est pertinent de faire une analyse factorielle Ce test permet de vérifier si toutes les corrélations sont égal à zéro ou non. Il doit être acceptable dans le cas où toutes les corrélations ne soient pas égales à zéro et que le test doit être significatif (p inférieur à 0,05 et la signification Sig. tend vers 0,000)). Autrement dit, il faut vérifier que les corrélations entre les variables sont statistiquement significatives[22].

### 8.3.1.3 Matrice de corrélation

Il faut savoir que la présence d'un lien les items qui nous permet d'extraire les composantes principales, donc il est nécessaire que les coefficients de corrélation traduisent l'existence de ce lien, dans cette étape, il convient d'observer la matrice des corrélations. si plusieurs variables sont corrélées (coefficient de corrélation > 0.5), la factorisation est possible [78].

### 8.3.1.4 Variance totale expliquée

La valeur de la variance totale expliquée doit être  $\geq$  à 50%.

Les variables latentes sont expliquées par 50% par le modèle structurel.

### 8.3.1.5 Analyse exploratoire

L'analyse habituellement effectuée par les logiciels courants (SPSS, BMDP, SAS) est une analyse de type exploratoire puisqu'elle ne permet pas la détermination préalable du type de variables à quels facteurs elles devaient être liées. Lorsque la solution factorielle proposée par le logiciel

(Solution statistique) confirme les hypothèses de départ, c'est bon signe. Lorsque ce n'est pas le cas, ceci n'infirme pas nécessairement les hypothèses et ce, parce qu'une multitude de solutions sont possibles pour chaque analyse et que le logiciel ne peut en proposer qu'une seule, la plus appropriée statistiquement [22].

## 8.3.2 Analyse de la validité et de la fiabilité des facteurs et des variables du modèle

Pour vérifier la validité des mesures, on procède au Test de Normalité des distributions puis à l'analyse factorielle (exploratoire en composante principale), ensuite à la vérification de la fiabilité à travers l'indice alpha de Cronbach. L'analyse factorielle est utilisée pour identifier un petit nombre de facteurs ou de dimension qui expliquent les corrélations observées parmi les variables.

### 8.3.2.1 Test de fiabilité Alpha de Cronbach

Le coefficient Alpha de Cronbach permet de mesurer la fiabilité des différents items censés contribuer à la mesure d'un phénomène. Il est utilisé pour déterminer la cohérence de l'ensemble des questions composant un test. Il élimine les items qui corrélaient faiblement avec tous les facteurs ou qui corrélaient fortement avec plus d'un seul facteur. Sa valeur est comprise entre 0 et +1. Le seuil d'acceptation de ce coefficient varie selon l'objectif de recherche. Pour une étude exploratoire, un coefficient inférieur à 0,7 est acceptable alors que dans le cadre d'une recherche fondamentale, il doit être supérieur à 0,8.

### 8.3.2.2 Moyenne de réponses

Les répondants doivent répondre en exprimant leur degré d'accord en utilisant l'échelle de Likert allant de 1 (tout à fait d'accord) à 7 (pas du tout d'accord), sachant que la valeur 4 indique une réponse neutre. Si la moyenne des réponses est  $>$  à 4, cela signifie que les répondants sont majoritairement d'accord.

### 8.3.2.3 Ecart type

L'écart type doit être  $<$  à 1.5 pour la prise en compte de la représentativité de la moyenne. La moyenne toute seule ne peut suffire :

- les réponses ne doivent pas être dispersées
- l'écart type nous indique si les réponses sont rapprochées ( $<$  à 1.5) ou dispersées ( $>$  à 1.5)

## 8.4 Test de Normalité

Une distribution normale des variables se présente généralement comme un histogramme symétrique sous forme de cloche dont les proportions types sont : la symétrie mesurée par le coefficient d'asymétrie « Skewness » et le coefficient d'aplatissement « Kurtosis »

### 8.4.1 Coefficient de symétrie (Skewness)

Afin de vérifier la distribution des réponses, il est recommandé de commencer par analyser le coefficient de symétrie (Skewness) permettant de vérifier si les observations sont réparties équitablement autour de la moyenne (le coefficient est alors nul) ou si elles sont plutôt concentrées vers les valeurs les plus faibles (coefficient positif) ou vers les valeurs les plus élevées (coefficient négatif). Il est admis que ce coefficient de symétrie doit être inférieur à 1.

### 8.4.2 Coefficient d'aplatissement (Kurtosis)

Le coefficient d'aplatissement (Kurtosis) compare la forme de la courbe de distribution des observations à celle de la loi normale. Un coefficient positif indique une plus forte concentration des observations, tandis qu'un coefficient négatif indique une courbe plus « aplatie ». Il est admis que ce coefficient d'aplatissement doit être inférieur à 1,5.

## 8.5 Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC)

L'Analyse Factorielle Confirmatoire (AFC) est une technique statistique qui se situe dans le prolongement de l'analyse factorielle exploratoire. Son but est de tester la solidité du modèle

théorique que l'on a réussi à faire émerger dans l'analyse exploratoire. Le principe de l'analyse confirmatoire est de vérifier si le modèle théorique n'est pas différent du modèle observé. L'AFC est utile pour mesurer le poids factoriel sur les variables latentes, en se basant sur les contributions factorielles. Pour la validation des relations énoncées dans les hypothèses, il est recommandé de se référer à deux indicateurs : le test T de Student et les coefficients de régression standardisés ( $\beta$ ). La valeur de T doit être supérieure à 1,96, les coefficients de régression doivent être compris entre -1 et +1. Les résultats de la régression peuvent être lus grâce aux indices suivants [22] :

$\beta$  (le bêta) : Coefficient de régression ramené sur une échelle standard variant de -1 à +1. Coefficient standardisé permettant la comparaison de la contribution de chaque variable.

Test F (de Fisher) : la valeur indique si la variance est significative.

Test T (de Student) : la valeur doit être supérieure à 1,96 pour être significative (notée  $p < 0,05$ ). Elle indique si chacun des coefficients des variables présentées dans l'équation est significatif.

$\lambda$  doit être  $> 0.3$

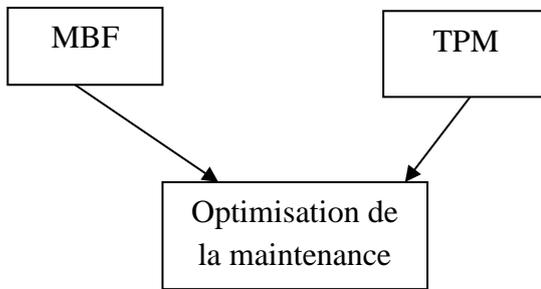
## **8.6 Modélisation par les équations structurelles**

### **8.6.1 Modèle des équations structurelles**

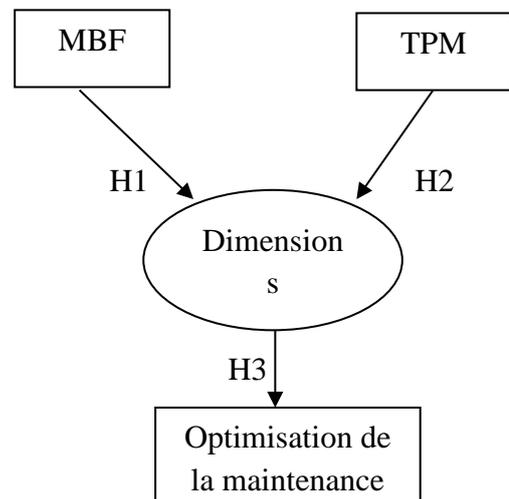
Le modèle d'équations structurelles s'inscrit dans une catégorie de modèles statistiques complexes permettant de mettre en relation des concepts non observables. Son apport réside dans la possibilité d'une part, de traiter les estimations simultanées de plusieurs relations de dépendances inter-reliées, d'autre part, d'incorporer des erreurs de mesure. Le modèle d'équations structurelles introduit aussi la notion de variables latentes qui ne sont pas directement observables. Elles sont représentatives de concepts qui ne peuvent être mesurés directement. Les variables manifestes (observées) sont des variables pour lesquelles on dispose de mesure expérimentales. Le modèle des équations structurelles est basé sur l'articulation d'analyses factorielles et de régressions. L'analyse factorielle sert à la détermination et à la mesure des variables latentes. Les régressions sont destinées à tester les effets supposés entre les variables. Le modèle global d'équations structurelles englobe deux sous-modèles tels que le modèle de mesure et le modèle structurel. Le modèle de mesure précise les indicateurs ou variables observées (mbf1, tpm1...) de chaque variable latente (MBF, TPM...) de notre recherche. Le modèle structurel concerne les hypothèses de relations linéaires entre les variables latentes et correspond aux relations définies à prévoir par le concepteur du modèle d'analyse. Il représente généralement le réseau de relations de causalité que souhaite établir le chercheur [78].

**8.6.2 Présentation du modèle conceptuel**

Le choix de notre modèle a été développé après une lecture approfondie de la littérature scientifique en matière d’optimisation de la maintenance et sociologie des organisations. En tenant compte des différentes théories dans le domaine, nous proposons un modèle de recherche qui retrace respectivement la relation de la MBF et de la TPM avec les dimensions culturelles ainsi que l’influence de ces dernières sur le processus d’optimisation de la maintenance. Le modèle classique ainsi que notre modèle conceptuel proposé, sont schématisés sur les figures suivantes :



**Figure 8. 1.** Modèle de l’approche classique



**Figure 8. 2.** Modèle conceptuel proposé

Source : notre élaboration

**8.6.3 Forme générale des équations structurelles**

Chacun des modèles doit être traduit en équations dont la forme générale est

Modèle de mesure :

$$V_i = \lambda_i \times F_a + E_i \tag{8.1}$$

Modèle structurel :

$$F_a = \beta_{ab} \times F_b + \beta_{ac} \times F + \dots + \beta_{ap} \times F_p + D_a \tag{8.2}$$

Avec :  $V_i$  : variable dépendante observée (indicateur ou item)

$F_a$  : variable latente A

$E_i$  : erreur de mesure

$D_a$  : perturbation de A (erreur de mesure de la variable latente)

$\lambda_i$  : contribution factorielle à estimer sur la variable latente A

$\beta_{ab}$  : coefficient de régression à estimer indiquant la force de l'influence de la variable latente b sur la variable latente indépendante A

Test de Student  $T \geq 1,96$

Probabilité d'erreur  $P \leq 0,05$  [22]

## 8.7 Résultats de l'étude empirique

### 8.7.1 Estimation de la contribution factorielle $\lambda_i$ et erreur de mesure E du modèle structurel

Variables manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(MBF)-1->[mbf1]	0,464	0,069	6,705	0,000	0,784
(MBF)-2->[mbf3]	0,459	0,070	6,598	0,000	0,789
(MBF)-3->[mbf4]	0,899	0,042	21,302	0,000	0,192
(MBF)-4->[mbf5]	0,765	0,048	16,021	0,000	0,415
(MBF)-5->[mbf6]	0,451	0,070	6,423	0,000	0,797

**Tableau 8. 2 .** Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  erreur E du modèle structurel de la variable MBF

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=15)

Variables manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(TPM)-6->[tpm4]	0,569	0,059	9,686	0,000	0,677
(TPM)-7->[tpm5]	0,704	0,046	15,454	0,000	0,505
(TPM)-8->[tpm6]	0,609	0,055	11,086	0,000	0,629
(TPM)-9->[tpm7]	0,678	0,048	14,069	0,000	0,540
(TPM)-10->[tpm8]	0,803	0,035	23,015	0,000	0,355

**Tableau 8. 3 .** l'estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  du modèle structurel de la variable TPM

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

Variabes manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(DC)-21->[dc1]	0,591	0,055	10,711	0,000	0,651
(DC)-22->[dc2]	0,706	0,043	16,251	0,000	0,501
(DC)-23->[dc4]	0,390	0,071	5,517	0,000	0,848
(DC)-24->[dc5]	0,599	0,054	11,017	0,000	0,641
(DC)-25->[dc6]	0,644	0,050	12,880	0,000	0,585
(DC)-26->[dc7]	0,341	0,074	4,641	0,000	0,883
(DC)-27->[dc8]	0,492	0,064	7,731	0,000	0,758
(DC)-28->[dc9]	0,499	0,063	7,909	0,000	0,751
(DC)- 29>[dc10]	0,566	0,057	9,850	0,000	0,680
(DC)- 30>[dc11]	0,607	0,054	11,312	0,000	0,631
(DC)- 31>[dc12]	0,761	0,037	20,464	0,000	0,420
(DC)- 32>[dc13]	0,548	0,059	9,279	0,000	0,700
(DC)- 33>[dc14]	0,622	0,052	11,907	0,000	0,613
(DC)- 34>[dc15]	0,645	0,050	12,912	0,000	0,584

**Tableau 8.4 .** Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  du modèle structurel de la variable DC

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

Variabiles manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(OM)-35->[om1]	0,566	0,060	9,494	0,000	0,680
(OM)-36->[om2]	0,643	0,052	12,280	0,000	0,586
(OM)-37->[om3]	0,740	0,042	17,448	0,000	0,453
(OM)-38->[om4]	0,575	0,059	9,767	0,000	0,670
(OM)-39->[om5]	0,536	0,062	8,632	0,000	0,712
(OM)-40->[om6]	0,556	0,060	9,209	0,000	0,690
(OM)-41->[om7]	0,752	0,041	18,313	0,000	0,435
(OM)-42->[om8]	0,496	0,065	7,591	0,000	0,754
(OM)-43->[om9]	0,508	0,064	7,897	0,000	0,741
(OM)-44->[om10]	0,590	0,057	10,275	0,000	0,652

**Tableau 8.5** . Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  du modèle structurel  
de la variable OM

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

## 8.7.2 Indices de forme

Variables manifestes	Skewness	Corrected Skewness	Normalized Skewness	Variables manifestes	Skewness	Corrected Skewness	Normalized Skewness
MBF1	-2,045	-2,064	-10,527	DC9	-2,398	-2,421	-12,344
MBF3	-1,560	-1,575	-8,032	DC10	-1,642	-1,658	-8,453
MBF4	-1,677	-1,693	-8,633	DC11	-1,636	-1,652	-8,421
MBF5	-2,484	-2,507	-12,785	DC12	-1,201	-1,212	-6,181
MBF6	-1,714	-1,731	-8,825	DC13	-1,609	-1,625	-8,285
TPM4	-1,841	-1,859	-9,480	DC14	-2,036	-2,056	-10,483
TPM5	-1,963	-1,982	-10,107	DC15	-1,822	-1,840	-9,381
TPM6	-1,728	-1,745	-8,897	OM1	-2,271	-2,293	-11,691
TPM7	-1,803	-1,820	-9,280	OM2	-1,081	-1,092	-5,566
TPM8	-1,629	-1,644	-8,385	OM3	-2,197	-2,217	-11,307
DC1	-0,598	-0,603	-3,077	OM4	-2,032	-2,051	-10,459
DC2	-1,180	-1,192	-6,076	OM5	-2,582	-2,607	-13,293
DC4	-2,515	-2,539	-12,945	OM6	-1,080	-1,091	-5,561
DC5	-1,715	-1,732	-8,831	OM7	-0,834	-0,842	-4,296
DC6	-0,961	-0,971	-4,949	OM8	-0,925	-0,934	-4,764
DC7	-2,731	-2,757	-14,058	OM9	-1,542	-1,557	-7,938
DC8	-1,685	-1,701	-8,676	OM10	-2,435	-2,458	-12,533

Tableau 8.6 . indice d'asymétrie (Skewness)

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

Variabes manifestes	Kurtosis	Corrected Kurtosis	Normalized Kurtosis	Variabes manifestes	Kurtosis	Corrected Kurtosis	Normalized Kurtosis
MBF1	6,939	7,201	17,860	DC9	6,997	7,261	18,010
MBF3	2,969	3,104	7,643	DC10	1,753	1,848	4,511
MBF4	2,325	2,438	5,983	DC11	2,412	2,528	6,207
MBF5	6,314	6,556	16,252	DC12	1,500	1,587	3,861
MBF6	4,385	4,565	11,286	DC13	3,806	3,967	9,797
TPM4	3,271	3,415	8,419	DC14	4,754	4,946	12,237
TPM5	4,261	4,437	10,968	DC15	2,893	3,025	7,446
TPM6	3,670	3,827	9,446	OM1	8,748	9,068	22,517
TPM7	4,444	4,626	11,438	OM2	0,420	0,472	1,081
TPM8	3,114	3,253	8,016	OM3	6,249	6,489	16,084
DC1	-1,296	-1,299	-3,336	OM4	6,848	7,107	17,625
DC2	1,153	1,229	2,967	OM5	8,540	8,853	21,981
DC4	8,318	8,625	21,411	OM6	0,816	0,881	2,102
DC5	3,684	3,842	9,484	OM7	-0,018	0,021	-0,045
DC6	-0,157	-0,123	-0,404	OM8	0,799	0,864	2,058
DC7	10,607	10,987	27,301	OM9	3,156	3,296	8,123
DC8	2,688	2,814	6,920	OM10	9,908	10,265	25,501

**Tableau 8.7.** indice d'asymétrie (Kurtosis)

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

### 8.7.3 Equations structurelles avec prise en compte des dimensions culturelles

Variabes latentes	Parameter Estimate $\beta_i$	Standars error	Statistic T	Prob Level P
(MBF)-71->(DC)	0,110	0,052	2,092	0,036
(TPM)-72->(DC)	0,938	0,026	35,777	0,000
(DC)-73->(OM)	0,789	0,041	19,244	0,000

Coefficient de régression et erreurs de mesure des relations structurelles

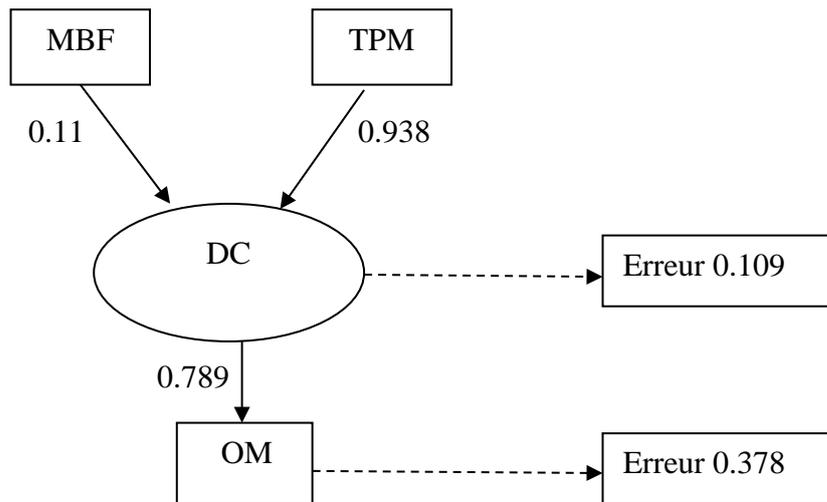
**Tableau 8.8.** Coefficients de corrélations

Variabiles latentes	Parameter Estimate Ei	Standars error	Statistic T	Prob Level P
(ZETA1)-->(DC)	0,109	0,048	2,260	0,024
(ZETA2)-->(OM)	0,378	0,065	5,851	0,000

**Tableau 8.9 . Erreurs de mesure**

Variable. dépendante	Equations
DC	$DC = 0,110.MBF + 0,938.TPM + 0.109$
OM	$OM = 0,789.DC + 0.378$

**Tableau 8.10 . Equations du modèle**



**Figure 8.3.** Équations structurelles de notre modèle conceptuel avec coefficients de corrélation et erreurs de

$$DC = 0.110 MBF + 0.938 TPM + 0.109$$

$$OM = 0.789 DC + 0.378$$

Nous remarquons qu'en tenant compte des dimensions culturelles, l'influence de la TPM sur l'Optimisation de la Maintenance (OM) a augmenté par rapport à l'influence dans le modèle classique.

**8.7.4 Equations structurelles sans prise en compte des dimensions culturelles**

**8.7.4.1 Coefficient de régression et erreurs de mesure des relations structurelles**

Variables latentes	Parameter Estimate $\beta_i$	Standars error	Statistic T	Prob Level P
(MBF)-41->(OM)	0,109	0,035	3,095	0,002
(TPM)-42->(OM)	0,359	0,059	6,042	0,000

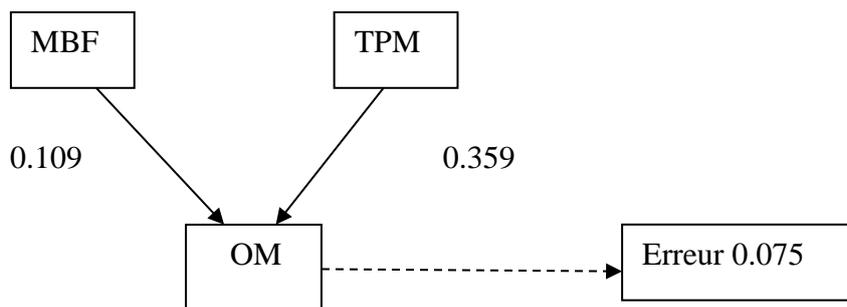
**Tableau 8.11** .Coefficients de corrélation

Variables latentes	Parameter Estimate $E_i$	Standars error	Statistic T	Prob Level P
(ZETA1)-->(OM)	0,075	0,025	2,959	0,003

**Tableau 8.12** . Erreurs de mesure

Variable. dépendante	Equation
OM	$OM = 0,109.MBF + 0,359.TPM + 0.075$

**Tableau 8.13** . Equations du modèle



$$OM = 0.109 MBF + 0.359 TPM + 0.075$$

**Figure 8.4.** Équation structurelle du modèle théorique avec coefficients de corrélation et erreurs ( sans D.C.)

Source : notre élaboration par le biais du logiciel Statistica 08 (N=159)

## 8.7.4.2 Récapitulatif de l'Analyse en Composantes Principales

Variabes latentes	N° d'item	Moyenne	Ecart type	F de Fisher	Cronbach's Alpha	KMO	Bartlett's Test of Sphericity	Total Variance Explained %
Maintenance basée sur la fiabilité MBF	5	6,235	1.09	6,658	,752	,678	225,506	51,325
Satisfaction TPM	5	6,172	1.097	4,830	,808	,748	268,337	57,053
Dimension Culturelle DC	14	5,876	1.4	20,545	,880	,848	988,329	67,714
Optimisation de la maintenance OM	10	6,228	0.933	3,503	,854	,860	554,219	55,809
TOTAL	34	6.075	/	/	/	/	/	/

**Tableau 8. 14.** Tableau récapitulatif de l'Analyse en Composantes Principales

Source : Logiciel SPSS 22. (N=159)

Nous remarquons dans le tableau 8.14 que :

- la moyennes est  $> 4$  .
- la valeur de l'écart type est  $< 1,5$ .
- le test de Fisher est significatif.
- l'Alpha de Cronbach est bon.
- le KMO est  $> 0,5$ .
- le test Sphéricité est significatif.
- la variance totale expliquée est  $> 50\%$ .

Ce qui montre un bon résultat.

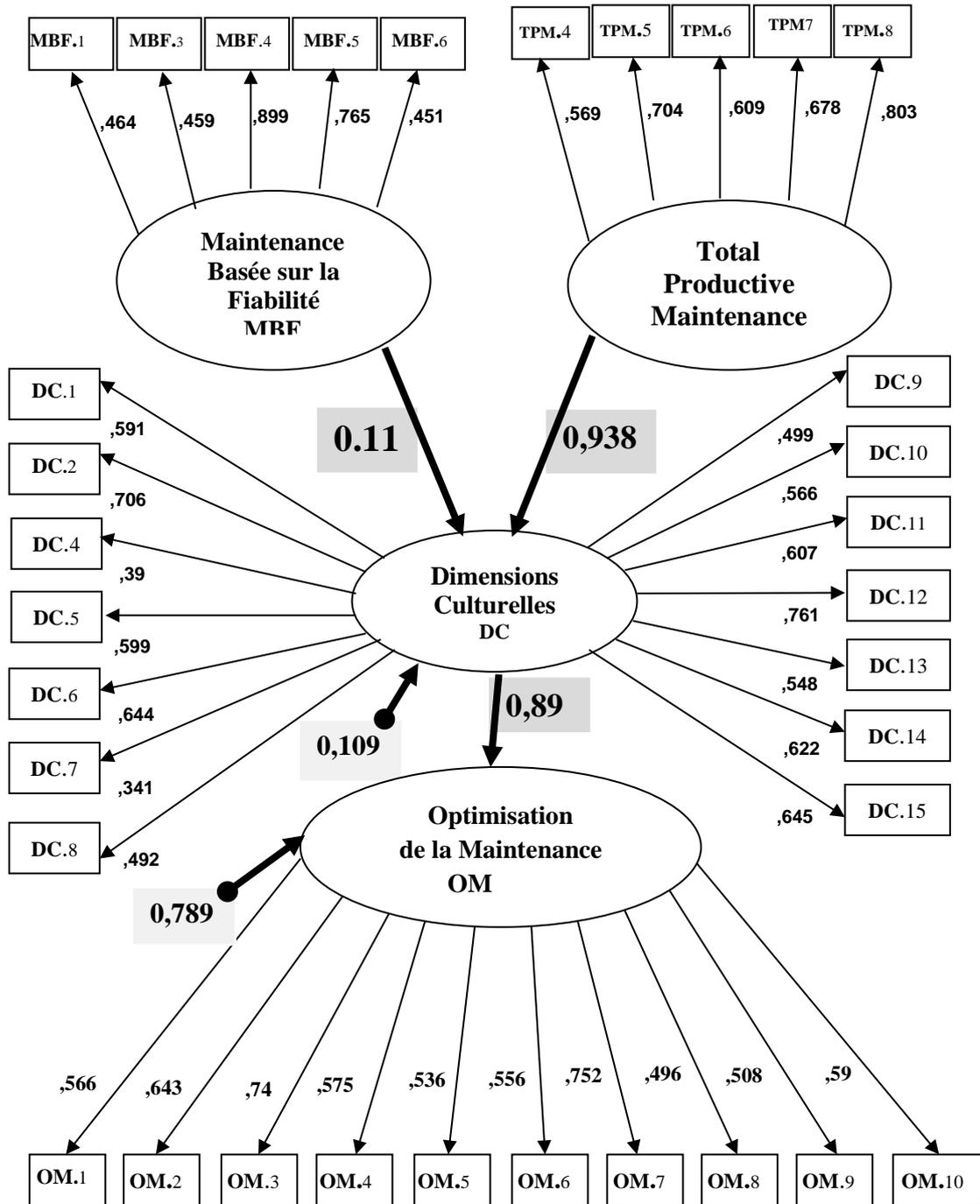


Figure 8. 5. Modèle global ( résultats)

### 8.8 Discussion générale sur l'ensemble des résultats

Dans le cadre de la certification ISO 9001 version 2008, la mise en œuvre de la démarche qualité au sein de l'entreprise, en particulier dans le processus maintenance, a facilité l'implémentation des quatre premiers piliers de la TPM. De plus, des tâches de contrôle et de

surveillance ainsi que des opérations du premier niveau de maintenance (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> piliers de la TPM) avaient été déjà prévus au départ par le constructeur de l'usine et figurent dans les process et les instructions de fabrication. Grâce à la certification ISO 14001 version 2004, l'entreprise a pu contrôler ses rejets solides et gazeux comme le montrent les tableaux 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 et 7.13. D'autre part et comme nous le montre le tableau 7.14, nous observons également une diminution progressive du taux d'absentéisme de l'entreprise (avec cependant une légère hausse en 2011 et 2012) ainsi que du nombre d'accidents dans l'usine et l'atelier de grillage, ce qui révèle un sentiment de sécurité chez les travailleurs et une bonne ambiance de travail.

Comme précisé précédemment, l'entreprise est spécialisée dans la production de zinc de grande pureté de type Special High Grad (SHG), côté en bourse de Londres. Elle défend sa part de marché dans le secteur et n'est pas concernée par le volet de conception de nouveaux produits. (Pilier n° 5 de la TPM). En matière de maîtrise de la qualité et des procédures (pilier n° 6 de la TPM), l'entreprise dispose de procédures et d'exigences pour la maîtrise des paramètres de fabrication dans tous les processus. L'application de la TPM dans les services fonctionnels peut être assurée grâce à des documents et des modes opératoires existants.

Dans le cadre de sa politique environnementale et l'amélioration de ses performances l'entreprise respecte scrupuleusement les différentes lois et décrets relatifs à la sécurité et à la protection de l'environnement. Elle gère l'environnement de travail nécessaire pour obtenir la conformité du produit conformément à des procédures prévues. Outre ces procédures, elle s'est dotée d'exigences légales donnant des consignes et des seuils pour lutter contre les éléments polluants et maîtriser la sécurité ainsi que les conditions de travail (Pilier n° 8 de la TPM). Ainsi, nous pouvons avancer que le contexte est favorable pour l'implantation des quatre autres piliers de la TPM (axe n° 2) et la généralisation de la méthode à tous les ateliers de l'entreprise. En matière d'efficacité énergétique, l'entreprise a diminué sa consommation d'énergie de 14,13 % de 2008 à 2014. De même, les tableaux 7.1 et 7.4 montrent respectivement une nette diminution des coûts de maintenance ainsi qu'une amélioration des MTBF et une diminution des MTTR. D'autre part, les valeurs obtenues du TRS sont indiquées dans le tableau 7.8 où nous remarquons une progression générale, sauf pour l'année 2011. Cette diminution est due à des perturbations liées à la mise en norme du ventilateur principal K102 (modifié en 2010), avant d'atteindre la phase de stabilisation.

Dans le cadre de notre étude empirique, et afin de tester les effets des variables « Maintenance Basée sur la Fiabilité » (MBF), « la Total Productive Maintenance » (TPM) et les « Dimensions Culturelles » (DC) sur l'Optimisation de la Maintenance « OM »,

une analyse de régression multiple a été effectuée à l'aide de la méthode des équations structurelles (logiciel Statistica.08). Nous avons obtenu les résultats suivants :

Dans le résultat du test statistique de la première hypothèse H1 , nous avons constaté que les dimensions culturelles (DC) sont significativement liées à la MBF dans le processus d'optimisation de la maintenance et que le test de Student T est supérieur à 1,96 et significatif ( $P < 0.05$ ) avec  $\beta_1 = 0,110$ . Ce résultat confirme la première hypothèse du test.

Le résultat du test de la seconde hypothèse qui montrent que les dimensions culturelles exercent une influence sur l'application de la TPM dans le processus d'optimisation de la maintenance est également significatif. ( $H2 : \beta_2 = 0,938$ ,  $T > 1,96$ ,  $P < 0,05$ ), ce qui nous permet de valider cette deuxième hypothèse.

Conformément à la troisième hypothèse, nous avons examiné l'impact des dimensions culturelles sur l'optimisation de la maintenance. Après le test statistique de cette hypothèse, les résultats obtenus sont également significatifs ( $H3 : \beta_3 = 0,789$ ,  $T > 1,96$ ,  $P < 0,05$ ) et permettent de valider cette dernière hypothèse.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons montré qu'il existe un impact indirect de la MBF et la TPM sur l'optimisation de la maintenance par la médiation des dimensions culturelles. Nous avons montré aussi que les équations structurelles constituent un outil très intéressant pour notre cas puisqu'il permet de vérifier un ensemble de relations. Cet outil permet, entre autres, la validation de notre modèle d'analyse factorielle avec la présence de plusieurs variables latentes.

# **Conclusion générale**

Cette thèse constitue une nouvelle contribution dans le domaine d'optimisation de la maintenance. En effet, nous avons montré qu'il était possible de l'optimiser par la complémentarité MBF/TPM dans un contexte industriel algérien. En tenant compte des dimensions culturelles, la combinaison de ces deux méthodes permet d'améliorer davantage les performances et les critères d'optimisation de la maintenance. Ce qui nous conduit à attirer l'attention et à rappeler que la mondialisation et la concurrence internationale exigent aux entreprises algériennes une adaptation et un changement radical de leurs systèmes de gestion ainsi que leurs processus de production. Pour atteindre le niveau de compétitivité internationale, toutes les anciennes méthodes doivent être modifiées à travers l'implantation d'un système de management de la qualité au sein de toute l'entreprise, notamment dans la structure maintenance en vue de son optimisation. D'autre part, le management de la qualité ne pouvant ignorer la diversité des cultures, l'adaptation de la méthode combinant la MBF à la TPM à l'entreprise algérienne de production, doit prendre en compte la dimension socioculturelle. Comme nous l'avons constaté, ce système de management de la qualité ainsi que les différentes certifications obtenues par l'entreprise, permettent un gain considérable de temps dans la mise en œuvre de ce projet. Le service de maintenance interne s'est intéressé davantage à la qualité quand l'entreprise s'était lancée dans la démarche de certification ISO 9001. C'est à cet instant qu'il a commencé à en être sensibilisé. Ce projet a permis de créer une nouvelle ambiance de travail au sein de l'atelier du grillage et a modifié positivement le comportement du personnel. Aussi, la complémentarité MBF/TPM a renforcé le dialogue entre les différents acteurs des départements de production et de maintenance. D'autre part, la prise en compte de la dimension socioculturelle de l'entreprise, la mise en évidence des valeurs essentielles sur lesquelles tous les salariés étaient d'accord, ont entraîné une meilleure cohésion du personnel, améliorant ainsi son efficacité. Les ouvriers sont passés d'une logique d'obéissance à une logique de responsabilité. Un autre facteur de performance généré par la nouvelle culture d'entreprise provient essentiellement de la simplification des structures, des consignes et des notes de service qui ont amélioré considérablement la communication interne.

Finalement, nous avons pu confirmer qu'à travers notre étude empirique, les dimensions culturelles jouent un rôle important et influant sur l'optimisation de la maintenance par la MBF et la TPM. Enfin, l'apport principal de notre étude nous semble être la prise en compte du critère socioculturel (Dimensions Culturelles ,DC). Les contributions de cette recherche quant à elles, peuvent être présentées essentiellement sur deux niveaux à savoir, théorique et managérial :

### **Contributions théoriques**

Certes de nombreuses recherches ont traité des sujets d'optimisation de la maintenance, mais à notre connaissance, les travaux dans ce domaine impliquant les dimensions culturelles sont pratiquement inexistantes, d'où l'originalité de ce travail. Notre recherche constitue une contribution empirique sur l'optimisation de la maintenance. Pour cela, nous avons proposé un modèle intégrant un ensemble de variables ( MBF, TPM, DC, OM). Nous avons également constaté à travers les équations structurelles obtenues que lorsque les Dimensions Culturelles DC ne figurent pas dans le modèle, l'impact de la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) et la TPM (Total Productive Maintenance) sur l'Optimisation de la Maintenance ( OM) a un moindre effet.

### **Contributions managériales**

L'optimisation de la maintenance par le management de la qualité est devenue un nouveau défi. En conséquence, il semble nécessaire pour les chefs d'entreprises et en particulier pour les responsables de maintenance de prendre en considération l'aspect socioculturel dans leur management. En effet, l'effet de médiation et l'influence des dimensions culturelles sont significatifs dans un processus d'optimisation de la maintenance.

### **Limites et difficultés rencontrées durant la recherche**

Malgré l'intérêt des résultats mis en évidence, notre étude comprend des limites :

la première limite est liée à la taille de l'échantillon pour l'étude empirique. Il serait intéressant d'augmenter la taille de l'échantillon (supérieur à 200) et le nombre d'items dans le questionnaire, toujours selon le niveau et les compétences des travailleurs et cela ; pour une meilleure fiabilité et diminution des erreurs.

L'expérimentation nous a permis de révéler également certaines difficultés. Elles sont principalement dues au fait qu'il s'agit d'une démarche pluridisciplinaire faisant fortement appel à la dimension psychosociale liée au personnel et dont la formation initiale est à dominance technique. La mise en œuvre de la méthode proposée a connu aussi d'autres obstacles parmi lesquels nous pouvons citer :

- le manque de motivation des opérateurs au début du projet ;
- la surcharge de travail du personnel dans l'atelier de grillage, lieu d'étude et d'expérimentation ;
- l'insuffisance au départ de formation des travailleurs sur les méthodes contemporaines de maintenance ;
- les difficultés à maintenir la démarche dans le temps ;

- la lourdeur dans la collecte des données et résultats de l'application de la méthode MBF/TPM ainsi que la durée de récupération des recueils du questionnaire pour exploitation.

### **Voies et perspectives de la recherche**

Les limites que nous avons soulignées vont ouvrir largement des réflexions et des axes de recherche très prometteurs dans le domaine d'optimisation de la maintenance. Ce travail comme toute recherche doctorale, demeure perfectible. Ainsi, Il nous semble intéressant :

- d'étendre l'application de la méthode adoptée à tous les ateliers de l'entreprise,
- d'appliquer la totalité des huit piliers de la TPM. Cette opération peut être facilitée par un système GMAO moderne que nous recommandons aux décideurs de l'entreprise. En effet, les entreprises qui en disposent peuvent entreprendre cette démarche avec confiance, car les résultats apparaîtront rapidement et cela est motivant pour la direction comme pour le personnel,
- d'expérimenter et de prendre en considération d'autres variables (sécurité, motivation, type de management, gestion de pièces de rechange... ) dans le modèle,
- de généraliser la méthode à d'autres entreprises similaires.

## **Références Bibliographiques**

1. Aarab S., El Barkany A. and El Khalfi A., (2017) ‘‘The integration of maintenance plans and production scheduling taking account of outsourcing: a literature review’, *International Journal of Productivity and Quality Management*, vol. 21, N°1, pp. 1-19.
2. Abhishek J., Rajbir S. B., Harwinder S., (2017) ‘An ISM approach to indentify key success factors behind the TPM implementation in Indian SMEs’, *International Journal of productivity and Quality management*, vol.22, N°1, pp.42-59.
3. Achermann D., (2008), ‘Modelling, simulation and optimization of maintenance strategies under consideration of logistic processes’ PhD thesis, Swiss federal institute of technology, Zurich, Switzerland.
4. Akiner I. and Tjihuis, W. (2008) ‘Cultural variables and the link between managerial characteristics in construction industry: reflections from Turkish and Dutch examples, International Conference on Multi-national Construction Projects, November 21-23, Shanghai, China’
5. Al Refaie A., Hanayneh B., (2014), ‘Influences of TPM, TQM, six sigma – practices on firms performance in Jordan’, *International Journal of Productivity and Quality Management*. Vol; 13, N° 12, pp. 219-234.
6. Albarkoly K. M., Park K. S; (2015), ‘Implementing a strategy of Rehalibity Centered Maintenance (RCM) in the Libyan Cement industry’, *International Journal of Economics and Management Engineering*, vol. 9, N°6.
7. Alrabghi A., Tiwari A; (2015), ‘State of the art in simulation – baset optimization for maintenance systems’, *Computers and Indistrial Engineering*. Vol. 82, pp; 167-182.
8. Ananth G., Vinayagam B. K., (2015), ‘Effectiveness improvement through total productive maintenance using particle swarm optimisation model for small and micro manufacturing enterprises’, *International Journal of Productivity and Quality Management*, Vol. 6, N°4, DOI: 10.1504/IJPQM.2015.072415
9. Andrillon Jean –Yves, Cantat Gilles, Frederic Marc, Gabriel Marc Gonon Thierry, Pimor Yves, Richet Daniel, Souris Jean – Paul, « Pratique de la maintenance industrielle, Méthodes, Outils, Applications », Dunod, Paris, 1999.
10. Angelova R. A., (2017) ‘National cultural differences and the management of textile and clothing companies in Bulgaria: three examples’, *Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)*, Vol.21, N°8 Ver.4, pp.29-36
11. Ashok Kumar Sharma, (2012), «Manufacturing performance and evolution of TPM», *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)* Vol.4 N°03 March 2012.
12. Auberville Jean – Marie, ‘‘ Maintenance industrielle – De l’entretien de base à l’optimisation de la sûreté », Ellipes Editions marketing S.A., Paris,2004.
13. Backlund F., (2003), ‘Managing the introduction of Reliability Centred Maintenance (RCM), PhD thesis, Lulea university of Technology.
14. Badli Shah, M. Y., (2012), ‘Total Productive Maintenance: A study of Malaysian Automotive SME’, *Proceedings of the world Congress on Engineering*. Vol. III, WCE, London, UK, 2012.
15. Bajwa G. S., (2017), ‘Implementation and effects of Total Productive Maintenance (TPM)’, *Proceedings*

- of ISER, 77th International Conference, Toronto, Canada, pp. 29-39.
16. Ben Daya M. and Duffuaa S. (1995) "Maintenance and Quality: the missing link". *Journal of Quality in maintenance Engineering*. 1, pp. 20-26.
  17. Ben Daya M., (2000), 'You may need RCM to enhance TPM implementation', *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol.6, n°2, pp.82-85
  18. Benali L., "Maintenance industrielle", Office des publications universitaires Alger,2006.
  19. Benisaad S., « Cours de maintenance industrielles TEC336 », édition de l'université Mentouri de constantine, 2004/2005.
  20. Bensaada S., Feliachi D., « La maintenance industrielle », Office de publications universitaires, Alger,2002.
  21. Bernoux Philippe, « La sociologie des organisations » éditions du Seuil octobre 1985
  22. Berrached Amina « La décision d'achat d'un médicament à prescription obligatoire ou facultative », Thèse de Doctorat, Faculté des sciences économiques, de gestion et sciences commerciales , université A.B. de Tlemcen 2018.
  23. Berrahma C.H. « Contribution à l'implantation de la TPM dans une entreprise algérienne de production », Master université de Tlemcen, 2015/2016.
  24. Blondel François, Aide-mémoire-Gestion industrielle , 2<sup>ème</sup> édition , Dunod, Paris, 2006.
  25. Boucly François, " Le management de la maintenance- Evolution et mutation » AFNOR, Paris, 1998.
  26. Bram D. J., (2017), 'Maintenance optimization based on mathematical modeling', PhD thesis, university of Groningen SOM Research School.
  27. Brouwers, Cornet, Gutierrez, Pichault, Rousseau, Warnotte, « Management humain et contexte de changement- Pour une approche constructiviste », De Boeck Université, Bruxelles, 1996.
  28. Bufferne Jean « Le guide la TPM- Total Productive Maintenance » Edition d'Organisation, Groupe Eyrolles, Paris, 2006.
  29. Chaib Rachid, « La maintenance et la sécurité industrielle dans l'entreprise », édition Dar el Houda , Ain Mlila, 2007.
  30. Chaib Rachid, « La maintenance industrielle », Editions université Mentouri de Constantine,2004.
  31. Chan F.T.S, Lau H.C.W., IP R.W. L., Chan H. K., Kong S., « Implementation of total productive maintenance: A case study", *International Journal of Production Economics* 95 (2005) P 71-94
  32. Charles A.S., Floru I.R., Pantel C.A., Pibouteau L., Domench S., (2003), "Optimisation of preventive maintenance strategies in a multipurpose batch plant: application to semiconductor manufacturing", *Computers and Chemical Engineering*. 27. pp. 449-467.
  33. Chatelet Jean-Marie, « Méthodes productique et qualité », Ellipses / édition marketing S.A., Paris,1996.
  34. Chlebus E., Helman J., Olejarczyk M. and Rosienkiewicz M. (2015) "A new approach on implementing TPM in a mine – A case study" *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 15, pp. 873-884.
  35. Chopra A., Sachdeva A., Bhardwa A., (2016), "Productivity enhancement using reliability centred maintenance in process industry", *International Journal and Systems Engineering*, vol. 23, N°2, pp.155-165.
  36. Chouikhi H., (2012), 'Optimisation des stratégies de maintenance verte pour les systèmes de production

- de biens et de service’, PhD thesis, university of Lorraine.
37. Christie Olivier, « A proposed strategy for the implementation of Total Productive Maintenance at continental tyre South Africa », South Africa, November 2007.
  38. Cooke Fang Lee, « Implementing TPM in plant maintenance: some organisational barriers », *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 17 N°9, 2000, pp. 1003-1016.
  39. Cuignet Renaud, « Management de la maintenance- Améliorez les performances opérationnelles et financières de votre maintenance », Dunod, Paris,2002.
  40. Darbelet Michel, Izard Laurent, Scaramuzza Michel, « Notions fondamentales de management », Editions Foucher, Vanves,2006.
  41. Darwish Kodmani Bassma , Dubarry Chartouni May , “ Maghreb: les années de transition”, Masson , Paris , Milan , Barcelone , Mexico , 1990 .
  42. Dawane A. P., Karwande R; L., Irfan M., (2017),’’Study and investigations of RCM methodology in manufacturing industry to minimize breakdown maintenance’’, *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, vol. 4, N°12, pp. 787-801.
  43. Dawid R. McMillan D. and Revie M.,’ (2015),’Review of Markov Models for Maintenance Optimization in the Context of Offshore Wind’,*Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society* , Glasgow , United Kingdom
  44. Dekker R. (1996), ‘Applications of maintenance optimisation models: a review and analysis’, *Reliability Engineering System Safety*. Vol. 51, N° 3, pp. 229-240.
  45. Dekker R. and Scarf P.A (1998)., ‘On the impact of optimization models in maintenance decision making: the state of the art’ *Reliability Engineering and System Safety* Vol. 60 pp.111-119
  46. Despujols A. (2006), “Méthodes d’optimisation des stratégies de maintenance, *Techniques de l’Ingénieur*, Doc MT 9050- 2, Paris
  47. Devaray N.B. and Fradeep K.S., (2016),’Research review on Reliability Centred Maintenance ‘, *International Journal of innovative Research in Science Engineering and Technology*, vol.5, N°6, pp.9605-9612
  48. Dingh Ranteshwar, GOHIL Ashish M., SHAH Dhaval B., DESAI Sanjay, “Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study” , *Procedia Engineering* 51 2013 p.592 – 599
  49. Doganay K. (2014) ‘Applications of optimization methods in industrial maintenance scheduling and software testing’, PhD thesis, N° 180 Mälardalen university, Sweden.
  50. Duret Daniel, Pillet Maurice, « Qualité en production – De l’ISO 9000 à Six Sigma », Deuxième édition, Deuxième tirage, Paris,2002.
  51. Dutoit C., Equerer L., Dehombreux P., (2017), “Utilisation du contrôle qualité dans l’optimisation de la maintenance”, Conférence : 12ème Congrès International Pluridisciplinaire en Qualité. Sécurité de fonctionnement et développement durable : Qualita 2017 at Bouges – France.
  52. Efaga Eugène Désiré, « Utilisation de la démarche MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) pour l’optimisation de la maintenance préventive des outils de production dans les PME et PMI. Application à la cotonnière industrielle du Cameroun (CICAM) », Actes de conférences du colloque international,

- CPI 99 – Tanger Maroc, 25, 26 Novembre 1999.
53. Efaga Eugène Désiré, « Analyse des données du retour d'expérience pour l'organisation de la maintenance des équipements de production des PME/PMI dans le cadre de la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) », thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2004.
  54. Eti M.C., Ogaji S.O.T. and Probert S.D., (2006) « Strategic maintenance–management in Nigerian industries », *Applied Energy* 83 p211-227
  55. Eti M.C., Ogaji S.O.T. and Probert S.D., (2006)'Development and implementation of preventive maintenance practices in Nigerian industries' *Applied Energy* 83 pp.299-310
  56. Faucher Jean, « Pratique de l'AMDEC », Dunod, Paris ,2004.
  57. Ferroui Z., « Approche de développement du management de la qualité dans le processus maintenance », Master université de Tlemcen, 2015/2016.
  58. Fiori De Castro Kélio, Lucchesi Cavalca Katia, « Maintenance resources optimization applied to a manufacturing system" *Reliability Engineering and System Safety* 91( 2006) 413 – 420
  59. Francastel Jean Claude, « Ingénierie de La Maintenance- De la conception à l'exploitation d'un bien », Dunod, Paris, 2003.
  60. Gabbar Hossam A., Yamashita Hiroyuki, Suzuki Kazuhiko, Shimada Yukiyasu, « Computer – aided RCM – based plant maintenance management system », *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 19 (2003) 449-458.
  61. Gard, A. and Deshmukh, S.G. (2006), "Maintenance management : literature review and directions", *journal of quality in maintenance engineering*, Vol. 12, N°03, pp. 205-238.
  62. Gatti Tito, « Total productive management », *Techniques de l'ingénieur*, Doc AG 4 840, Paris, 2006
  63. Ghomari S., Mami E. F., « Qualité et norme ISO », *Actes du Symposium International sur la Qualité et Maintenance au Service de l'entreprise*, Tome 01, Qualima01 , Université de Tlemcen , 21et 22 Novembre 2004.
  64. Ghomari S., Mami E. F., « Impératif du management de la qualité pour les entreprises Algérienne face aux défis de la mondialisation », *Séminaire international sur les technologies Mécaniques, SITEM 2009* Université A.B. de Tlemcen, 2009.
  65. Gogue Jean Marie, « Management de la qualité » 3<sup>ème</sup> édition, éditions Economica, Paris 2001.
  66. Gómez De León Hijes Félix C., Cartagena José javier Ruiz, « Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments », *Reliability Engineering and System Safety* 91 (2006) 444-451
  67. Görantiwar V., S. and Shrivastava R. L., (2014), "Identification of critical success factors for quality – productivity management approach in different industries," *International Journal of Productivity and Quality Management (IJPQM)*. vol. 14, N°1, pp. 66-106
  68. Gurvinder S.B., (2017), 'Implementation and effects of Total Productive Maintenance (TPM)', *Proceedings of ISER 77th International Conference Toronto, Canada,28th- 29 september*.
  69. Haileluel M., Mammo M. (2016),'Equipment maintenance policies from two different perspectives', *Ethiopian e-Journal For Research and Innovation Foresight*, vol.8, N°1, pp.38-58
  70. Hemlata Sahu , Btham J.M., Bangar A. «Implementing Total Productive Maintenance In Jamna Auto

- Industry Malanpur » .International of Engineering Research & Technology ( IJERT) Vol. 1 Issue 9. November 2012.
71. Heng Jean, « Pratique de la maintenance préventive », Dunod, Paris,2002.
72. Henni Ahmed, « Le cheikh et le patron, usages de la modernité dans la reproduction de la tradition » OPU Alger 04-1993
73. Hofstede G. « Vivre un monde multiculturel- comprendre nos programmations mentales », Editions organisation Paris 1994.
74. Ishihara. K. « Maîtriser la qualité », Editions MARE NOSTRUM,1996.
75. Igba, J., Alemzedah, K., Ebo, I.A. Gibbons, P. and Friis, J. (2013) ‘A systems approach towards reliability-centered maintenance (RCM) of wind turbines’, Procedia computer science, Vol.16, pp. 814-823.
76. Jambart Claude, « l’assurance qualité – La nouvelle version 2000 de la norme ISO en pratique », 3<sup>ème</sup> édition, éditions Economica, Paris, 2001.
77. Kadri Djamila, « Evaluation intelligent de la satisfaction des clients et hiérarchisation des dimensions de service contribuant à cette satisfaction : cas d’Air Algérie, Thèse de Doctorat , Faculté des sciences économiques, de gestion et sciences commerciales,, université A.B. de Tlemcen 2017
78. Kessas Zahia, « Etude de la confiance des patients par le biais du modèle des équations structurelles- Etude empirique dans une clinique privée », Thèse de Doctorat, Faculté des sciences économiques, de gestion et sciences commerciales, université A.B. de Tlemcen, 2017.
79. Kothamasu R., Huang S.H., and Verduin W.H., (2009), ‘System Health monitoring and prognostics. A review of current paradigms and practices. Handbook of Maintenance Management and Engineering, pp.337-362.Doi:10.1007/978-1-84882-472-0\_14
80. Labronne Daniel, Mezrain Mustapha ,” Traits culturels, système de management de la qualité et performances en Algérie.Etude de cas de deux PME (publique et privée) algériennes, Management Prospective Ed. Management &Avenir 2010/ 7 n° 37 pp 34-52
81. Laloux Guillaume, management de la maintenance selon l’ISO 9001 :2008, Editions Afrnor , Paris, 2009.
82. Laine S’, Management de la différence’, AFNOR Paris., (2004),.
83. Lair William, « Modélisation dynamique de systèmes complexes pour le calcul de grandeurs fiabilistes et l’optimisation de la maintenance », thèse de doctorat, Université de Pau et des pays de l’ADOUR, Novembre 2011
84. Laudoyer Guy, « La certification ISO 9000 un moteur pour la qualité », édition d’organisation deuxième édition Paris 2000.
85. Lavina Y., Perruche E., (2000), “Maintenance et assurance de la qualité”, Guide Pratique, édition d’organisation, Paris 2000.
86. Lavina Yves « Amélioration continue en maintenance – Techniques d’audit et plan de progrès » Dunod, Paris, 2005.
87. Lavina Yves, « Audit de la maintenance », Les éditions d’organisation, Paris,1992.
88. Lesage A and Dehombreux P., (2015), ‘Optimisation conjointe des stratégies de maintenance et de

- contrôle qualité : modèle intégrant la maintenance imparfaite', 11ème congrès international de génie industriel- GIGI 2015 26-28 octobre Quebec Canada.
89. Lesage A. and Dehombreux P., (2012), 'Maintenance and Quality Control: A First Methodological Approach for Maintenance Policy Optimization', 14th IFAC Symposium on information Control Problems in manufacturing-ICOM'12, Bucarest Romania, 23-25 may
  90. Lesage A., Dehombreux P., (2015), 'Simulation of manufacturing process subject to maintenance and quality control: Sensivity Analysis and Numerical Example. ', International Journal of Mechanical Engineering and Automation, vol. 2, N°3, pp. 119-126.
  91. Lesobre Romain, Modélisation et optimisation de la maintenance et de la surveillance des systèmes multi-composants, thèse de doctorat, université de Grenoble France 26 mars 2015.
  92. Lyonnet Patrick, « Optimisation d'une politique de maintenance », Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, 1993.
  93. Lyonnet Patrick, « La maintenance - mathématiques et méthodes » 3<sup>ème</sup> édition Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, 1992.
  94. Maletic D., Maletic M. and Gomiscek B., (2014), 'The impact of quality management orientation on maintenance performance', International Journal of Production Research, vol.52, N°6, pp.1744-1754
  95. Mami E. F., Ghernaout M.E.A. « implication de la qualité en maintenance industrielle », Séminaire Euro Méditerranéen sur l'environnement et la sécurité de l'industrielle, le 24 et 25 Avril 2011, ENSET Oran.
  96. Mami E. F. Ghernaout M.E.A, « Amélioration de la maintenance industrielle par l'intégration de la démarche qualité », Forum international Afim, Paris Villepinte, 16 Novembre 2011.
  97. Mami E. F., « Industrial maintenance in Algeria », 3<sup>ème</sup> congrès mondial de maintenance 22-22 juin 2006, Bâle, Suisse.
  98. Mami E. F., Ghernaout M.E.A « Intégration de la qualité dans la fonction maintenance industrielle », Colloque international MADEV 2011, EPSECSGT Tlemcen 29, 30 Octobre 2011.
  99. Mami E. F., « Les coûts de non qualité », Actes du Symposium International sur la Qualité et Maintenance au Service de l'entreprise, Tome 01, Qualima 01, Université de Tlemcen, 21 et 22 Novembre 2004.
  100. Mami E. F., « Elaboration et adaptation d'un projet TPM au contexte industriel Algérien », Séminaire international sur les Technologies Mécaniques SITEM 2009 Université A.B. de Tlemcen, les 05 et 06 décembre 2009.
  101. Mami E. F., « Optimisation de la maintenance par le management de la qualité », Forum international Afim, Paris Villepinte, 19 Novembre 2013.
  102. Mami E. F., « Maintenance des structures dans le domaine des constructions industrielles », Annales du bâtiment et des travaux publics, Editions ESKA, Paris, Avril, 2008- N°2.
  103. Marquez A.C., Heguedas A.S., (2001), 'Models for maintenance optimization for repairable systems and finite periods', Reliability Engineering and System Safety. 75, pp. 367-377.
  104. Méndez J.D.M. and Rodriguez R.S., (2017), 'Total Productive Maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the battlnect of an auto-parts machining line ',

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.1013-1026
105. Monchy François, « Maintenance méthodes et organisation », 2<sup>ème</sup> édition Dunod, Paris, 2003.
106. Monchy François, « La fonction maintenance- Formation à la gestion de la maintenance industrielle », Masson, Paris, 1996.
107. Moubray J. (1997), 'Reliability Centred Maintenance', Second edition, International Press Inc, New York
108. Muchiri Peter, Pintelon Liliane, Gelders Ludo, Martin Harry, « Development of maintenance function performance measurement framework and indicators », International journal of Production Economics 2010
109. Muganyi, P. and Mbohwa, C. (2017), 'Comparative aspects between TPM and world class maintenance literature review', proceedings of the international conference on Industrial Engineering and Operations Management, 25-26 October, Bogota, Colombia.
110. Naik, B.D. and soni, P.K. (2016) 'research review on reliability centred maintenance' international journal of innovation research in science, Engineering and technology, Vol.5, N°6, pp. 9605-9612.
111. Naji A., Beidouri Z., Oumami M., Bouksour O., (2016), 'Maintenance management and innovation industries: a survey of Moroccan companies'. International Journal of Innovation, Vol. 4, N°2, pp. 188-197.
112. Nakajima S., (1986) « La maintenance productive totale – Nouvelle vague de la production industrielle ». AFNOR gestion Diffusion, Eyrolles, Paris.
113. Nakajima S., (1988), 'Introduction to Total Productive Maintenance', Productivity Press, Cambridge, MA;
114. Nouiga M., (2003), 'La conduite du changement par la qualité dans un contexte socio-culturel –Essai de modélisation systémique et application à l'entreprise marocaine. PhD thesis; ENSAM, Paris.
115. Nouiga Mohammed, « La conduite du changement par la qualité dans un contexte socioculturel. Essai de modélisation systématique et application à l'entreprise marocaine », Thèse de doctorat ENSAM, Paris, 2003.
116. Obaid A.M. (2005) 'Identifying the barriers affecting quality in maintenance within Libyan manufacturing organizations (Public sector), PhD Thesis, University of Salford, UK
117. Ollila A. and Malmipuro M. (1999), "Maintenance has a role in quality", The TQM journal 11, pp. 17-21.
118. Panagiotidou S., Nenes G., (2009), 'An economically designed, integrated quality and maintenance model using an adaptive Shewhart chart' Reliability Engineering and System Safety,94, pp.732-741
119. Panagiotis H., Tsarouhas (2015) 'Evaluation of maintenance management through the overall equipment effectiveness of a yogurt production line in a medium – sized Italian company', International Journal of Productivity and Quality Management, Vol 16, N°3. pp.298-311
120. Panneerselvam Murugadoss K., « TPM implementation to invigorate manufacturing performance: an Indian industrial rubric », International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume3, Issue 6, June – 2012
121. Parida A., Kumar U., Galar D., Stenström C., (2014), 'performance measurement and management for

- maintenance: a literature review ‘’, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 21, N°1, pp. 2-33.
122. Peczely George, « The Generations of TPM and the Change of Maintenance Role », Congress reports of 18<sup>th</sup>Euromaintenance 2006 3<sup>rd</sup> World – Congress, 20-22 June 2006, Basle / Switzerland.
123. Perotti Graziano, « Maintenance integrated system: The right Recipe of TPM and RCM” , Congress reports of 18<sup>th</sup>Euromaintenance 2006 3<sup>rd</sup> World – Congress , 20-22 June 2006 , Basle / Switzerland.
124. Pesqueux Y., (2004), « L’entreprise multidimensionnelle », Editions L’Harmattan, Paris,2004.
125. Pravin P., Tambe Makarand S.K., (2015), ‘A super imposition-based approach for maintenance and quality plan optimization with production schedule, availability repair time and detection time constraints for a single machine, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, pp. 17-32.
126. Putri N.T., Retha F. and Yusof S.M. (2016) ‘Design of quality system documentation in hydrotiller production unit as improvement of quality management system in small and medium enterprise’ *int. J. of Productivity and Quality Management?* Vol.19,N°1,pp.116-138
127. Ranteshwar S., Ashish M.G., Dhaval B.S and Sanjay D. ‘Total Productive Maintenance (TPM). Implementation in a Machine shop: a case study’, *Procedia Engineering*, 2013, N°51, pp. 592-599.
128. Reinersten R. (1996) ‘Residual life of technical systems; diagnosis, prediction and life extension, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.54, N°1, pp.23-34
129. Richet Daniel – Gabriel Marc – Malon Denis – Blaison Gaëtan, « Maintenance basé sur la fiabilité, Un outil pour la certification », Masson, Paris ,1996.
130. Rousseau W., (1996), ‘Management humain et contexte de changement – pour une approche constructiviste’, De Boeck University Bruxelles, Belgium.
131. Salim R. K., Rameschumar G; R., (2016), ‘Optimization of Overall Equipment Effectiveness Through Total Productive Maintenance Perspective – A case study’, *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*.
132. Sarnin Philippe, « Psychologie du travail et des organisations », Edition De Boeck Université, Bruxelles, 2007.
133. Shahanaghi Kamran, Yazdian Seyed Ahmad, « Analyzing the effects of implementation of Total Productive Maintenance (TPM) in the manufacturing companies: a system dynamics approach », *World Journal of Modelling and Simulation*, Vol. 5 (2009) N°2, pp.120- 129
134. Sharma Ashok Kumar, « Manufacturing performance and evolution of TPM”’, Ashok Kumar et al. / *International Journal of Engineering and Technology (IJEST)*, vol 4 N°03 March 2012.
135. Sherwin D. (2000), ‘A review of overall models for maintenance management’, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 6, N°3, pp. 138-164.
136. Shiba Shoji, Graham Alan, Walden David, « 4 Révolutions du management par la qualité totale- Manuel d’apprentissage et de mise en œuvre du système TQM », Dunod, Paris, 1997.
137. Shirose Kunio, « Le guide TPM de l’unité de travail – Conduite et maintenance de l’installation industrielle », Dunod, Paris, 1994.
138. Simieu-Abazi, Z., Iung, B., and Ly, F. (2000), ‘Maintenance in the manufacturing systems’, *IFAC management and control of production and logistics*, Grenoble, France, pp.831-836.

139. Singh N., Bhatia O.S. (2015), 'Review paper on: Total Productive Maintenance ', International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering and Technology, Vol. 1, N° 1.
140. Sivaram N.M., Devadasan S.R., Murugesh R., (2013), 'Conceptualisation For Implementing Total Productive Maintenance through the ISO 9001: 2008. Standard Based System', South African Journal of Industrial Engineering, Vol. 24, N°2, pp. 33-46.
141. Smit K., Slaterus W.H., "Gestion de l'information pour le management de la maintenance", Afnor, Paris, 1994.
142. Smit K., Slaterus W.H., « Gestion de l'information pour le management de la maintenance – Le modèle MIMM », AFNOR, Paris, 1994.
143. Souris J.P., (2010), 'le guide parfait du responsable maintenance - assurer l'efficacité, la qualité et la rentabilité de sa maintenance industrielle', Editions Lexitis, Paris.
144. Souris J.P. : « Maintenance et assurance qualité », Paris
145. Sugumaran C., Muthu S., Devadasan S.R., Srinivasan K., Sivaram N.M., Rupavathi N., (2014), "Integration of QFD and AHP with TPM: an implementation study in an automotive accessories manufacturing compagny", Int. J. of Productivity and Quality Management (IJPQM), vol. 14, N°3, pp. 263-295
146. Tejinder P., Inderpreet S.A., (2017), "Evaluating manufacturing performance through strategic total productive maintenance implementation in a food processing industry", International Journal of Productivity and Quality Management (IJPQM), vol., N°4, pp. 429-442.
147. Tounes A., assala k., " Influences culturelles sur des comportements managériaux d'entrepreneurs algériens", 5ème Congrès International de l' Académie de l'Entreprenariat", Sherbrooke Canada octobre 2007
148. Tsahouras P.H., (2015), 'Evaluation of maintenance management' through the overall equipment effectiveness of a yogurt production lines in a medium- sized Italian company, Int. J. productivity and quality management, Vol. 16, N° 3, pp. 298-311.
149. Vasloo M.M. and Visser J. K. (1999), 'The development of a maintenance philosophy', R&D Journal vol.15, N°2
150. Wafi M., "Entre la baisse d'effectifs et vétusté des équipements », le Quotidien d'Oran, 03 Août 2017.
151. Wang C.H., Sheu S.H., (2003), "Determining the optimal production – maintenance policy with inspection errors: using a Markov chain, computers and operations research. 30, pp. 1-17.
152. Xiaoyue J., (2001) 'Modeling and optimization of maintenance systems' PhD thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.
153. Yssaad B., Khiat M., Chaker A., (2012), 'Maintenance Optimization for Equipment of Pöwer Distributions System Based on FMECA method'. ACTA Electrotechnica – Mediamira Science Publischer, Vol. 53, N°3, pp. 218-223.,
154. Zio E., (2009), 'Reliability engineering: old problems and new challenges', Reliability Engineering and System Safety, Vol.94, N°2, pp.125-141
155. Zwengelstein Gilles, « La maintenance basée sur la fiabilité- guide pratique d'application de la RCM », Hermes, Paris, 1996.

**Webographie**

156. <http://www.qualitiso.com/7-principes-management-qualite/>
157. [http://www.cimi.fr/images/stories/evenement/non\\_qualite\\_interv\\_maintenance\\_moreau.pdf](http://www.cimi.fr/images/stories/evenement/non_qualite_interv_maintenance_moreau.pdf)
158. <https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/.../cours.spc.doc> consulté le  
29/05/2016
159. [http://www.utc.fr/mastermq/public/publications/travaux\\_etu/MQ\\_M2/2005-2006/proj](http://www.utc.fr/mastermq/public/publications/travaux_etu/MQ_M2/2005-2006/proj) consulté le  
14/06/2006.
- .

# **Annexes**

# Annexe 1

## A1 . Publications internationales

- Maintenance optimisation through quality management : a case study in Alzinc Plant in Algeria, Int. J.Productivity and quality management, int.journal IJPQM ,Vol 27, N° 01, 2019, p97.
- Maintenance des structures dans le domaine des constructions industrielles, Annales du bâtiment et des travaux publiques , édition ESKA, Avril 2008, N°02, Paris, ISSN : 1270-9840.

## A2 . Communications nationales et internationales.

- Stabilité dans les machines outils au cours d'usinage 25/26 Octobre 1998 4ème journée maghrébine sur la mécanique Institut de Génie Mécanique Université Liabes Sidi Belabbes (Algérie)
- Perspective de développement de la technologie de l'information dans les pays Arabes Université Al-Zeytounah Ammam Jordanie 25/03/2001
- Qualité et certification 2 juin 2003 journée d'étude Faculté des Sciences Economiques de Gestion et des Sciences Commercial Université Tlemcen
- Pilotage de la démarche et certification d'entreprise 2 juin 2003 journée d'étude Faculté de Sciences Economiques de Gestion et des sciences Commerciales Université de Tlemcen
- Qualité et assurance qualité en maintenance industrielle des équipements de production séminaire national 18-19 mai 2004 Souk Ahras Algérie
- Intégration de l'assurance qualité en maintenance industrielle des équipements de production (Symposium international Qualima 01 21/22 novembre 2004 Université ABB Tlemcen (Algérie))
- Qualité et normes ISO (Symposium international Qualima 01 21/22 novembre 2004 Université ABB Tlemcen (Algérie))
- Les coûts de la non qualité (Symposium international Qualima 01 21/22 novembre 2004 Université ABB Tlemcen (Algérie))
- Phénomène de mode ou réel apprentissage ? Cas de quelques entreprises (Symposium international Qualima 01 21/22 novembre 2004 Université ABB Tlemcen (Algérie))
- Implication de la fonction maintenance dans la démarche d'assurance de la qualité NAVTEC Tamenfoust 14 et 15 juin 2004.
- Maintenance et développement durable. Congrès international ICRESD Tlemcen 21-24 Mai 2007.
- Elaboration et adaptation de la Total Productive Maintenance (TPM) au contexte Algérien. Séminaire international sur les Technologies Mécaniques SITEM 2009 Tlemcen les 05 et 06 décembre 2009
- Impératif du management de la qualité pour les entreprises Algériennes face aux défis de la mondialisation Séminaire international sur les Technologies Mécaniques SITEM 2009 Tlemcen les 05 et 06 décembre 2009
- Outil d'aide au diagnostic pour les systèmes industriels complexes Séminaire international sur les Technologies Mécaniques SITEM 2009 Tlemcen les 05 et 06 décembre 2009
- Quantification et composition des déchets spéciaux solides du grand Tlemcen Séminaire euro-méditerranéen sur l'environnement et la sécurité industrielle les 24 et 25 avril 2011 ENSET Oran
- Maintenance Immobilière et hospitalière. deux leviers pour une meilleure qualité de vie Colloque international MADEV 2011 "Maintenance et développement durable pour une meilleure performance de l'entreprise et qualité de vie" les 29 et 30 octobre 2011
- Diagnostic et audit de la fonction maintenance : cas d'une entreprise Algérienne Colloque international MADEV 2011 "Maintenance et développement durable pour une meilleure performance de l'entreprise et qualité de vie" les 29 et 30 octobre 2011

- Intégration de la qualité dans la fonction maintenance industrielle Colloque international MADEV 2011 "Maintenance et développement durable pour une meilleure performance de l'entreprise et qualité de vie" les 29 et 30 octobre 2011
- Amélioration de la maintenance industrielle par l'intégration de la démarche qualité 12<sup>ème</sup> Forum international AFIM-Paris-Nord-Villepinte 16 novembre 2011
- Optimisation de la maintenance industrielle par le management de la qualité : Cas d'une entreprise Algérienne-Conférences AFIM-Paris-Nord-Villepinte Novembre 2013
- Optimisation de la maintenance par la maîtrise des risques : Cas d'une entreprise Algérienne de production des métaux non ferreux .Forum AFIM-Paris-Nord-Villepinte 06 novembre 2014
- La maintenance au cœur du développement durable (Poster) 3<sup>ème</sup> séminaire international sur les technologies mécaniques avancées STEMA 2014-08 et 09 Novembre 2014 université de Tlemcen
- Gestion et traitement des déchets solides ménagers : l'expérience Algérienne-symposium international 'Energétique et ville du futur' 21 mai 2015 Tétouan-(Maroc)
- Contribution de la gestion des pièces de rechanges dans la maintenance industrielle (Poster) Journée d'étude internationale GEPRO 2015- 07 Octobre 2015 Tlemcen ( Algérie)
- Gestion automatisée de la maintenance :cas d'une entreprise Algérienne ( Poster) Journée d'étude internationale GEPRO 2015- 07 Octobre 2015 Tlemcen ( Algérie)
- Approche d'implication de l'assurance qualité dans le processus maintenance- colloque national Maintenance-Qualité CNMQ'16 Institut de maintenance et de sécurité industrielle université d'Oran 2-16 et 17 mars 2016
- Codification des pièces de rechange au service de la maintenance industrielle (Poster) Séminaire international MISE 2016 02et03 novembre 2016 Parc National de Tlemcen (Algérie)
- Gestion des pièces de rechange au service de la maintenance industrielle (Poster) Séminaire international MISE 2016 02et03 novembre 2016 Parc National de Tlemcen (Algérie)
- Optimisation des pièces de rechange au service de la maintenance industrielle (Poster) Séminaire international MISE 2016 02et03 novembre 2016 Parc National de Tlemcen (Algérie)
- Démarche de mise en œuvre de la Total Productive Maintenance (Poster) Séminaire international MISE 2016 02et03 novembre 2016 Parc National de Tlemcen (Algérie)
- Sécurité et maintenance-Forum Francophone sur la maintenance AFIM Paris –Nord-villepinte-06-09 décembre 2016
- Mise en œuvre d'une politique qualité en maintenance au sein d'une entreprise algérienne de production, forum Francophone sur la maintenance AFIM Paris –Nord-villepinte 27-30 mai 2018

## Annexe 2

<b>A- ORGANISATION GENERALE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la Fonction maintenance ?	0	-	-	-	30	<b>30</b>
2- Les responsabilités et les tâches définies dans l'organisation sont-elles vérifiées périodiquement pour adaptation ?	0	-	-	-	10	<b>10</b>
3- Les responsabilités et tâches des contremaîtres ou agents de maîtrise sont-elles clairement définies ?	0	-	-	-	20	<b>20</b>
4- Le rapport personnel exécutant/agents de maîtrise d'encadrement est-il approprié ? 100 % = 10 à 13 75 % 9 à 7 ou 14 à 16 50 % = moins de 17 à 20 25 % = plus de 20	0	5	10	20	30	<b>20</b>
5- L'activité de chaque agent de maîtrise (contremaître ou responsable de section) est-elle encadrée par un budget de fonctionnement ?	0	-	5	-	10	<b>0</b>
6- Y a t-il quelqu'un désigné pour assurer la coordination des approvisionnements, des travaux, des études d'installation et de la formation ?	0	5	10	15	20	<b>10</b>
7- Existe-t-il des fichiers de fonction (domaine de responsabilité et domaine d'initiative) pour	0	-	10	-	20	<b>20</b>

chacun des postes d'exécutant ?						
8- Les agents exploitant le matériel disposent-ils de consignes écrites pour réaliser les tâches de maintenance (surveillance, contrôles de fonctionnement, ...) de premier niveau ?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
9- Vous réunissez-vous périodiquement avec l'exploitant pour examiner les travaux à effectuer ?	0	-	5	-	20	<b>20</b>
10- Est-ce que les objectifs du service sont écrits et le contrôle effectué hebdomadairement ?	0	5	10	20	30	<b>20</b>
11- Etes-vous consulté par l'exploitant ou les services d'ingénierie à l'occasion de l'étude ou de l'installation de nouveaux équipements ?	0	10	15	20	30	<b>20</b>

<b>B- METHODES DE TRAVAIL</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Pour les interventions importantes en volume d'heures et/ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail?	0	5	10	15	30	<b>30</b>
2- Utilisez-vous de supports imprimés pour préparer les travaux ou établir des devis (liche de préparation ou fiche de devis)?	0	-	10	-	20	<b>10</b>
3- Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	-	10	-	20	<b>10</b>
4.- Avez-vous une procédure écrite (et appliquée) définissant les autorisations du travail (consignation, déconsignation) pour les travaux à risques?	0	-	-	-	30	<b>0</b>

5- Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation?	0	2	5	8	10	<b>5</b>
6- A-t-on des actions visant à standardiser les organes et pièces ?	0	8	15	22	30	<b>0</b>
7- Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que l'estimation globale? (travaux types, bloc de temps, ...)	0	-	5	-	10	<b>5</b>
8- Utilisez-vous la méthode PERT (ou une démarche analogue pour la préparation des travaux longs, importants, nécessitant beaucoup de coordination ?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
9- Avez-vous recours à des méthodologies formalisées de dépannage ?	0	10	15	20	30	<b>30</b>
10- Réservez-vous les pièces en magasin, faites-vous préparer des kits (pièces, outillage) avant vos interventions ?	0	8	15	22	30	<b>30</b>
11- L'ensemble de la documentation est-elle correctement classée et facilement accessible ?	0	-	10	15	20	<b>20</b>

<b>C- SUIVI TECHNIQUE DES EQUIPEMENTS</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Disposez-vous d'une liste récapitulative (inventaire) par emplacement des équipements de votre unité ?	0	8	12	22	30	<b>30</b>
2- Est-ce chaque équipement possède un numéro d'identification unique autre que le numéro chronologique d'immobilisation ?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
3- Sur le site, tout équipement a-t-il son numéro d'identification clairement signalé ?	0	4	8	12	15	<b>12</b>
4- Les modifications, nouvelles installations ou suppressions d'équipement sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	4	8	12	15	<b>12</b>
5- Un dossier technique est-il ouvert pour chaque équipement ou installation ?	0	8	12	22	30	<b>30</b>
6- Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	8	12	22	30	<b>30</b>
7- Disposez-vous des informations concernant les heures passées, les pièces consommées et les coûts équipement par équipement ?	0	10	20	30	40	<b>30</b>
8- Y a-t-il un (ou plusieurs) responsable(s) de la tenue de l'historique des travaux ?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
9- Assurez-vous un suivi formel des informations relatives aux comptes rendus de visites ou inspections préventives ?	0	-	15	-	30	<b>15</b>
10- Les historiques sont-ils analysés une fois par an?	0	5	10	15	30	<b>10</b>

<b>D- GESTION PORTEFEUILLE DE TRAVAUX</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Avez-vous un programme établi de maintenance préventive?	0	10	20	30	40	<b>30</b>
2- Disposez-vous de fiches (ou check-lists) écrites de maintenance préventive?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
3- Existe-t-il un responsable de l'ensemble des actions de maintenance préventive (en termes de suivi et d'adaptation)?	0	-	-	-	10	<b>10</b>
4- Les utilisateurs (ou opérateurs) des équipements ont-ils des responsabilités en matière de réglage et maintenance de 'routine'?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
5- Avez-vous un système d'enregistrement des demandes de travaux?	0	10	20	30	40	<b>30</b>
6- Y a-t-il une personne particulièrement responsable de l'ordonnancement des travaux?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
7- Avez-vous défini des règles permettant d'affecter les travaux selon les priorités?	0	8	15	22	30	<b>22</b>
8- Connaissez-vous en permanence la charge de travail en portefeuille?	0	5	10	15	30	<b>05</b>
9- Existe-t-il un document bon (ou demande) de travail permettant de renseigner et de suivre toute intervention et utilisé systématiquement pour tout travail?	0	5	10	15	30	<b>15</b>
10- Les agents de maîtrise se rencontrent-ils périodiquement pour débattre des priorités, problèmes de planning, personnel, etc.?	0	8	15	22	30	<b>15</b>
11- Disposez-vous d'un planning hebdomadaire de lancement des travaux?	0	-	15	-	30	<b>15</b>

<b>E- TENUE DU STOCK DE PIÈCES DE RECHANGE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1-Disposez-vous d'un magasin fermé pour stocker les pièces de rechange ?	0	-	-	-	20	<b>20</b>
2- Disposez-vous de libre-service pour les articles de consommation courante ?	0	-	5	-	10	<b>05</b>
3- Tenez-vous à jour des fiches de stock (manuelles ou informatisées) ?	0	8	15	22	30	<b>30</b>
4- Eliminez-vous systématiquement les pièces obsolètes ?	0	-	5	-	10	<b>0</b>
5- Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	0	-	5	-	10	<b>10</b>
6- La valeur et le nombre d'articles en stock est-il facilement disponible ?	0	-	-	-	20	<b>10</b>
7- Les pièces sont-elles bien rangées et identifiées ?	0	-	-	-	20	<b>20</b>
8- A-t-on bien défini le seuil de déclenchement et les quantités à réapprovisionner pour chaque article en stock ?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
9- Les pièces interchangeables sont-elles identifiées ?	0	8	15	22	30	<b>22</b>
10- Les procédures d'approvisionnement (délai administratif interne) sont-elles suffisamment souples pour stocker au maximum chez le fournisseur ?	0	10	15	20	30	<b>0</b>

<b>F-ACHAT ET APPROVISIONNEMENT DES PIECES ET MATIERES</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- A-t-on une procédure formalisée et adaptée d'émission des demandes d'achat et de passation des commandes?	0	-	10	-	30	<b>30</b>
2- Y a-t-il une personne dans le service plus particulièrement chargée du suivi des demandes d'achat?	0	5	10	15	30	<b>0</b>
3- Toute demande de pièce à coût élevé requiert-elle l'accord du responsable du service?	0	-	15	-	20	<b>20</b>
4- Les délais d'émission d'une commande sont à votre avis, relativement courts?	0	-	15	-	10	<b>0</b>
5- A-t-on des marchés négociés pour les articles standard ou les consommables?	0	8	15	22	30	<b>15</b>
6- Pour les articles spécifiques, passez-vous généralement par les fournisseurs autres que le constructeur de l'équipement?	0	-	15	-	10	<b>10</b>
7- Disposez-vous d'un processus d'homologation des fournisseurs?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
8- Lors des différentes négociations avec les fournisseurs, y a-t-il une grande cohésion entre le service achat et le service maintenance?	0	5	10	15	20	<b>10</b>

<b>G-ORGANISATION MATERIELLE ET ATELIER DE MAINTENANCE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- L'espace atelier-maintenance est-il suffisant pour les travaux qui vous sont demandés?	0	-	10	-	30	<b>30</b>
2- Votre atelier pourrait-il être mieux situé par rapport aux équipements que vous avez à entretenir?	0	5	10	15	0	<b>0</b>
3- Les bureaux de la maîtrise d'encadrement sont de « plain-pied » sur l'atelier?	0	-	15	-	20	<b>20</b>
4- Votre atelier dispose-t-il de chauffage et d'air conditionné?	0	-	15	-	10	<b>10</b>
5- Le magasin d'outillage et de pièce de rechange est-il au voisinage de votre atelier?	0	8	15	22	20	<b>20</b>
6- Y a-t-il un responsable du magasin?	0	-	15	-	10	<b>10</b>
7- Le magasin outillages et pièces est-il affecté exclusivement à la maintenance et aux travaux neufs que vous assurez?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
8- Chaque exécutant dispose-t-il d'un poste de travail bien identifié?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
9- Les moyens de manutention d'atelier sont-ils adaptés?	0	5	10	15	20	<b>20</b>

<b>H- OUTILLAGES</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Disposez-vous d'un inventaire des outillages et équipements de tests en votre possession?	0	-	10	-	20	<b>10</b>
2- Cet inventaire est-il mis à jour régulièrement?	0	-	15	-	30	<b>10</b>
3- Disposez-vous de tous les outillages spéciaux et équipements de test dont vous avez besoin?	0	8	15	22	30	<b>22</b>
4- Exécutez-vous votre maintenance préventive à l'aide des équipements de tests en votre possession?	0	-	10	-	20	<b>18</b>
5- Les outillages et équipements de test sont-ils facilement disponibles et en quantité suffisante?	0	-	10	-	20	<b>18</b>
6- Les étalonnages des appareils de mesure sont-ils bien définis (vérifications et tolérances) et effectués?	0	-	-	-	20	<b>15</b>
7- Avez-vous défini par écrit le processus de mise à disposition et d'utilisation des outillages?	0	-	-	-	20	<b>10</b>
8- Chaque exécutant dispose-t-il d'une boîte à outils personnelle?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
9- Disposez-vous de suffisamment de moyens de manutention sur site (palans, treuil, nacelle, échelle,...)?	0	8	15	22	30	<b>30</b>

<b>I- DOCUMENTATION TECHNIQUE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Disposez-vous d'une documentation technique générale suffisante : (mécanique de construction, électricité, code environnement et nuisances, réglementations, ...) ?	0	-	10	-	20	<b>20</b>
2- Pour tout équipement (ou installation), disposez-vous des plans d'ensembles et schémas nécessaires ?	0	-	20	-	40	<b>20</b>
3- Les notices techniques d'utilisation et de maintenance ainsi que les listes de pièces détachées sont-elles disponibles pour les équipements majeurs ?	0	-	15	-	30	<b>22</b>
4- Les plans des installations sont-ils facilement accessibles et utilisables ?	0	-	15	-	30	<b>15</b>
5- Les plans et schémas sont-ils mis à jour au fur et à mesure où des modifications sont apportées ?	0	8	15	22	30	<b>10</b>
6- Enregistre-t-on les travaux de modification des équipements et classe-t-on les dossiers de préparation correspondant (préparation et mise à jour de documentation) ?	0	-	15	-	20	<b>10</b>
7- Les contrats de maintenance (constructeurs ou sous-traitants) sont-ils facilement accessibles ?	0	5	10	15	20	<b>20</b>
8- Les moyens de reprographie, classement et archivage sont-ils suffisants ?	0	-	5	-	10	<b>10</b>

<b>J- PERSONNEL ET FORMATION</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Le climat de travail est-il de manière générale positive ?	0	10	20	30	40	<b>30</b>
2- Les agents de maîtrise encadrent-ils correctement les travaux effectués par les personnels exécutants sous leur responsabilité ?	0	5	10	15	30	<b>22</b>
3- Les problèmes sont-ils souvent examinés en groupe impliquant les exécutants (cercle de qualité, groupes de progrès, ...)?	0	-	-	-	30	<b>22</b>
4- Existe-t-il des entretiens annuels d'appréciation du personnel d'encadrement et exécutant?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
5- La maîtrise et les exécutants sont-ils suffisamment disponibles? (dépassement d'horaire pour terminer un travail, travail les jeudis,...)	0	10	20	30	30	<b>15</b>
6- Considérez-vous globalement que la compétence technique de votre personnel soit satisfaisante?	0	5	10	15	50	<b>15</b>
7- Dans le travail au quotidien, estimez-vous que le personnel a l'initiative nécessaire?	0	8	15	22	30	<b>30</b>
	0	5	10	15	30	<b>15</b>
8- Les agents de maîtrise assurent-ils régulièrement le perfectionnement de leur personnel dans les domaines techniques?	0	5	10	15	30	<b>15</b>
9- Vos agents de maîtrise reçoivent-ils une formation aux nouvelles technologies par l'intermédiaire de stages, visites chez les constructeurs, à des expositions?	0	8	15	22	30	<b>0</b>

10- Votre personnel reçoit-il régulièrement une formation à la sécurité?	0	-	15	-	20	<b>0</b>
11- La formation du personnel est-elle programmée et maîtrisée par le service maintenance?	0	5	10	15	20	<b>05</b>
12- Les qualifications et habilitation du personnel sont-elles suivies rigoureusement?	30	22	15	8	0	<b>8</b>
13- Avez-vous des pertes importantes de temps productif dues à des retards, absences,... ?	0	8	15	22	10	<b>10</b>
14- Les relations de votre personnel avec les services « client » sont-elles bonnes?						
<b>K- SOUS-TRAITANCE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1- Avez-vous un processus d'évaluation formelle des sous-traitants?	0	-	-	-	10	<b>10</b>
2- Les descriptifs de travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés?	0	-	20	-	40	<b>30</b>
3- La sélection des sous-traitants s'effectue-t-elle sur des critères de technicité et de compétence?	0	8	15	22	30	<b>22</b>
4-Avez-vous localement la possibilité de recours à des multiples entreprises sous-traitantes pour les domaines qui vous concernent ?	0	-	5	-	20	<b>15</b>
5- Sous-traitez-vous les tâches pour lesquelles vous considérez ne pas disposer d'une technicité suffisante ?	0	-	5	-	30	<b>22</b>
6- Vos contrats avec les sous-traitants incluent-ils des clauses de résultat ?	0	-	-	-	20	<b>15</b>
7- Développez-vous l'assurance de la qualité et le partenariat avec vos sous-traitants ?	0	-	-	-	30	<b>22</b>
8- Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution prédéterminée ?	0	5	10	15	20	<b>15</b>
9- Le suivi des travaux du sous-traitant et la réception de ceux-ci sont-ils effectués par une	0	8	15	22	30	<b>22</b>

personne de votre service nommément désignée et selon des procédures rigoureuses ?						
10- Disposez-vous d'une documentation propre à faciliter la maintenance de vos équipements par des entreprises extérieures ?	0	10	15	20	30	<b>20</b>
<b>L- CONTROLE DE L'ACTIVITE</b>	0%	25%	50%	75%	100%	<b>Score Alzinc</b>
1-. Disposez-vous d'un tableau de bord vous permettant de décider des actions correctives à entreprendre ?	0	-	20	-	40	<b>30</b>
2- Existe-t-il des rapports réguliers de suivi des heures et coûts de main-d'œuvre et pièces?	0	-	20	-	40	<b>30</b>
3- Les performances du service sont-elles suivies (manque à gagner, sécurité d'exploitation, disponibilité des équipements et délai de réponse)?	0	8	15	22	30	<b>30</b>
4- L'efficacité de la potentielle maintenance est-elle contrôlée?	0	-	15	-	30	<b>22</b>
5- Maîtrisez-vous votre charge de travail?	0	5	10	15	30	<b>22</b>
6- Disposez-vous des coûts de maintenance équipement par équipement ?	0	5	15	22	30	<b>22</b>
7- Le service maintenance dispose-t-il d'un outil de gestion informatisé de l'activité (autre que la seule gestion des pièces de rechange)?	0	-	-	-	30	<b>0</b>
8- Disposez-vous des informations de synthèse dans un délai suffisamment court ?	0	5	10	15	30	<b>10</b>
9- Emettez-vous régulièrement (tous les mois et annuellement) un compte rendu d'activité ?	0	8	15	22	30	<b>8</b>

Questionnaires d'audit de la fonction maintenance



## Annexe 3

### Evolution du TRS durant les années de 2008 à 2014

#### Année 2008 : TRS moyenne (69.22)

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	Juill	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.8555	0.8565	0.8812	0.8805	0.8935	0.8972	0.8803	0	0.8765	0.9080	0.8768	0.8842
TP	0.6909	0.7984	0.7280	0.8655	0.9180	0.9200	0.9395	0	0.7333	0.8941	0.7730	0.7367
TQ	0.9466	0.9497	0.9501	0.9600	0.9664	0.9618	0.9623	0	0.9581	0.9671	0.9583	0.9593
TRS	0.5595	0.6494	0.6095	0.7315	0.7926	0.7938	0.7958	0	0.6158	0.7851	0.6495	0.6248
TR S %	55.95	64.94	60.95	73.15	79.26	79.38	79.58	0	61.58	78.51	64.95	62.48

#### Année 2009 : TRS moyenne (76.08)

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.8877	0.8711	0.9122	0.9222	0.9332	0.9258	0.9203	0	0.9290	0.9168	0.9195	0.9210
TP	0.9918	0.9162	0.9789	0.9587	0.9537	0.9731	0.9100	0	0.7731	0.5973	0.5614	0.6542
T Q	0.9862	0.9813	0.9869	0.9888	0.9900	0.9913	0.9925	0	0.9905	0.9888	0.9862	0.9889
TRS	0.8682	0.7831	0.8812	0.8742	0.8810	0.8930	0.8311	0	0.7113	0.5414	0.5090	0.5958
TRS %	86.82	78.31	88.12	87,42	88.10	89.30	83.11	0	71.13	54.14	50.90	59.58

#### Année 2010 : TRS moyenne (76.03)

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	o et	nov	dec
TD	0.8963	0.9032	0.9264	0.9307	0.9502	0.9506	0.9591	0	0.9447	0.9484	0.9426	0.9511
TP	0.9483	0.9760	0.9191	0.9884	0.9153	0.9578	0.8068	0	0.7821	0.6277	0.5850	0.5439
T Q <sup>1</sup>	0.9885	0.9887	0.9888	0.9907	0.9899	0.9913	0.9908	0	0.9886	0.9864	0.9842	0.9834
TRS	0.8401	0.8715	0.8419	0.9113	0.8609	0.9025	0.7666	0	0.7304	0.5872	0.5427	0.5087
TRS %	84.01	87,15	84.19	91.13	86.09	90.25	76.66	0	73.04	58.72	54.27	50.87

#### Année 2011 : TRS moyenne (70.7T)

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.8280	0.8315	0.8580	0.8015	0.9143	0.9426	0.8643	0	0.8731	0.9171	0.9425	0.9530
TP	0.7316	0.7822	0.6328	0.7798	0.8180	0.7578	0.8604	0	0.8776	0.9585	0.9070	0.8096
TQ	0.9770	0.9773	0.9747	0.9795	0.9838	0.9886	0.9837	0	0.9775	0.9836	0.9819	0.9827
TRS	0.5918	0.6356	0.5292	0.6121	0.7357	0.7018	0.7315	0	0.7489	0.8646	0.8393	0.7582
TRS %	59.18	63.56	52.92	61.21	73.57	70.18	73.15	0	74.89	86.46	83.93	75.82

**Année 2012 : TRS moyenne (71.83)**

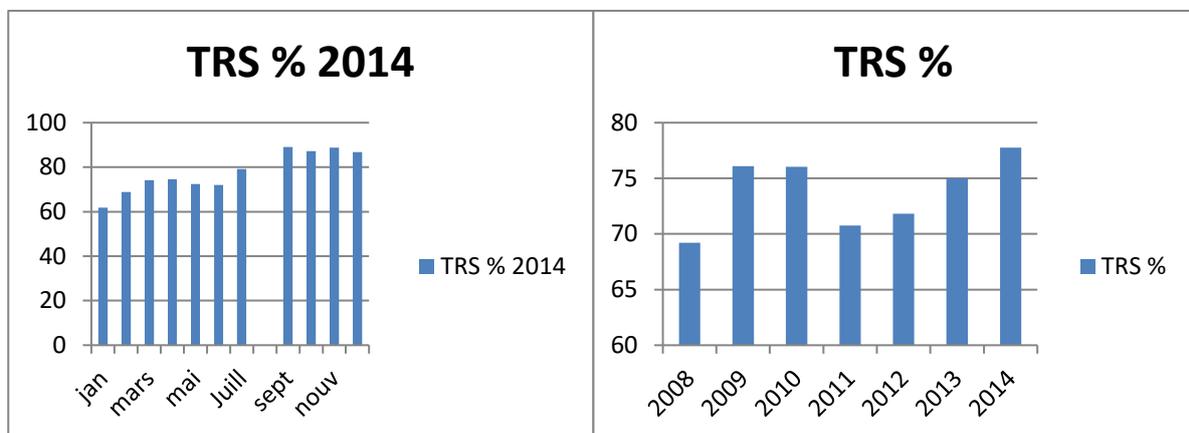
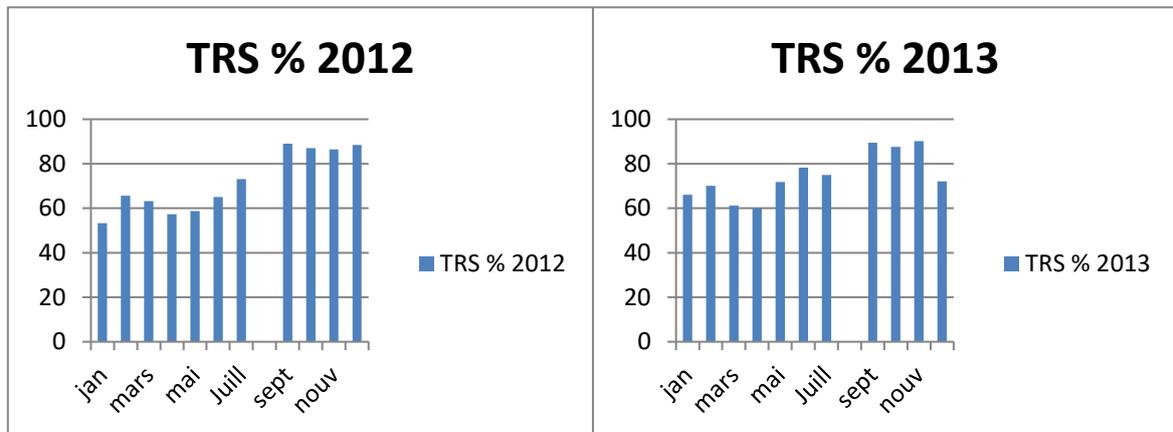
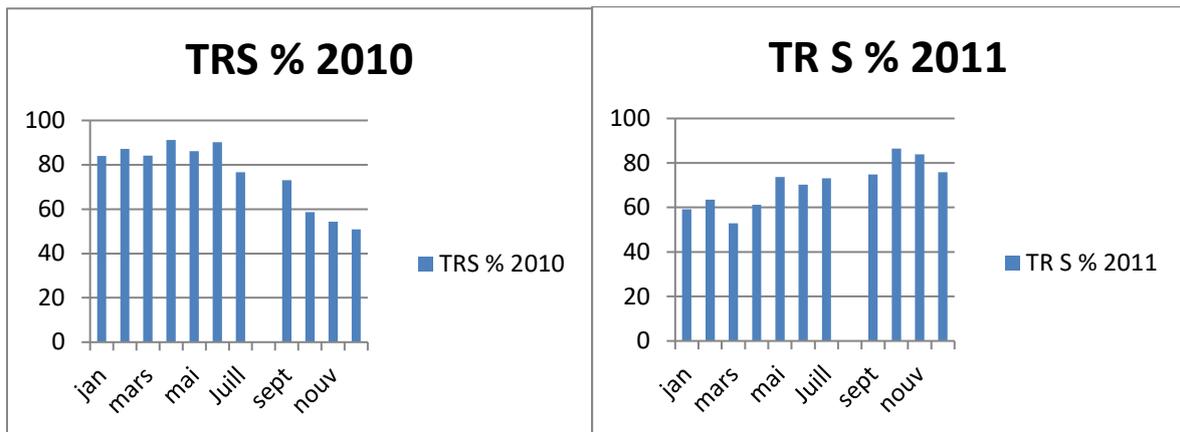
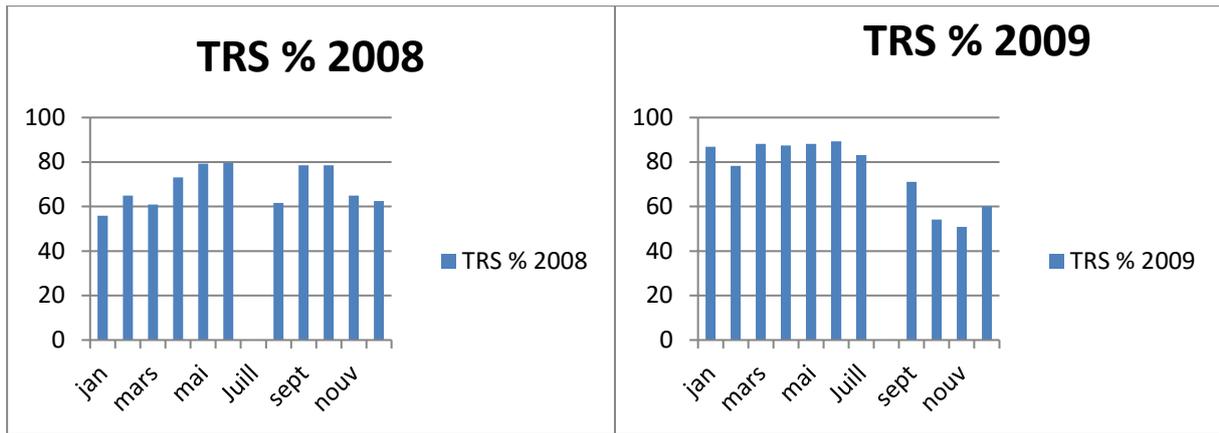
Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juin	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.8556	0.8573	0.8740	0.8822	0.9154	0.9042	0.9210	0	0.9668	0.9735	0.9555	0.9792
TP	0.6535	0.7941	0.7506	0.6760	0.6694	0.7446	0.8199	0	0.9405	0.9147	0.9324	0.9281
TQ	0.9532	0.9647	0.9632	0.9622	0.9578	0.9655	0.9680	0	0.9794	0.9782	0.9702	0.9729
TRS	0.5329	0.6567	0.6318	0.5738	0.5869	0.6500	0.7309	0	0.8905	0.8710	0.8643	0.8841
TRS %	53.29	65.67	63.18	57.38	58.69	65.00	73.09	0	89.05	87.10	86.43	88.41

**Année 2013 : TRS moyenne (75.005)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.8700	0.8695	0.8877	0.8928	0.9053	0.9056	0.9146	0	0.9650	0.9733	0.9768	0.9790
TP	0.8082	0.8407	0.7282	0.7046	0.8295	0.9023	0.8482	0	0.9546	0.9253	0.9494	0.7609
TQ	0.9475	0.9581	0.9533	0.9536	0.9562	0.9582	0.9658	0	0.9710	0.9720	0.9722	0.9672
TRS	0.6662	0.7003	0.6162	0.5998	0.7180	0.7829	0.7492	0	0.8944	0.8755	0.9015	0.7204
TRS %	66.062	70.03	61.62	59.98	71.80	78.29	74.92	0	89.44	87.55	90.15	72.04

**Année 2014 : TRS moyenne (77.76)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	dec
TD	0.9229	0.9308	0.9417	0.9435	0.9497	0.9506	0.9554	0	0.9553	0.9597	0.9613	0.9682
TP	0.7064	0.1691	0.8216	0.8281	0.7997	0.1923	0.8623	0	0.9651	0.9413	0.9555	0.9243
TQ	0.9484	0.9531	0.9581	0.9555	0.9535	0.9562	0.9615	0	0.9654	0.9661	0.9661	0.9695
TRS	0.6182	0.623	0.7412	0.7465	0.7241	0.1201	0.7921	0	0.8906	0.8727	0.8873	0.8676
TRS %	61.82	68.23	74.12	74.65	72.41	72.01	79.21	0	89.06	87.27	88.73	86.76



## Annexe 4

### Questionnaire d'enquête

#### Optimisation de la maintenance par le management de la qualité

Bonjour ,

Nous réalisons actuellement une étude( Doctorat) sur l'optimisation de la maintenance ( Item O.M.) par le management de la qualité en combinant la Maintenance Basée sur la Fiabilité ( Item MBF) avec la Total Productive Maintenance (Item TPM) , en tenant compte des dimensions culturelles (Item D.S ) au sein de l'entreprise .

Les réponses à ce questionnaire sont totalement anonymes.

Veuillez choisir et cocher la case qui indique le degré de votre accord ou désaccord suivant l'échelle ci-dessous ( de 1 à 7 ).

Merci d'avance pour votre collaboration.

Echelle de mesure	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Moyennement Pas d'accord	Neutre	Moyennement D'accord	D'accord	Tout a fait d'accord
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Items		1	2	3	4	5	6	7
<b>Variable : MBF ( Maintenance Basée sur la Fiabilité )</b>								
<b>MBF 1</b>	La MBF permet d'optimiser les coûts de maintenance.							
<b>MBF 2</b>	L'application de la MBF diminue le nombre d'accidents en entreprise.							
<b>MBF 3</b>	La fiabilité des équipements dépend de la fiabilité de ses composants.							
<b>MBF 4</b>	La fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements sont des critères sur lesquels s'appuie un service maintenance pour mesurer son efficacité.							
<b>MBF 5</b>	- L'application de la MBF est un vecteur principal d'amélioration de l'organisation de la maintenance.							
<b>MBF 6</b>	La fiabilité opérationnelle des équipements est étroitement liée à la qualité en maintenance							
<b>Variable :TPM ( Total Productive Maintenance)</b>								
<b>TPM 1</b>	La prise en compte de la culture d'entreprise favorise la réussite d'un projet TPM.							

<b>TPM 2</b>	Les opérateurs sont responsables de la qualité de leurs équipements.																			
<b>TPM 3</b>	La collaboration du personnel de la production avec celui de la maintenance permet de diminuer les pannes.																			
<b>TPM 4</b>	L'obtention de la qualité et de la productivité dépend de l'expérience et du savoir-faire des travailleurs.																			
<b>TPM 5</b>	La qualité du produit et l'état de l'équipement sont étroitement liés .																			
<b>TPM 6</b>	Le nettoyage, la propreté, le rangement, la mise en ordre, l'éducation morale et la qualité de travail sont des préalables pour un projet TPM.																			
<b>TPM 7</b>	Le succès de la TPM repose sur l'implication et la participation de tous les acteurs au processus du fonctionnement interne de l'entreprise.																			
<b>TPM 8</b>	La TPM implique l'autonomie des opérateurs en matière de maintenance de premier niveau																			
<b>Variable : D.C. ( Dimensions Culturelles )</b>																				
<b>D.C. 1</b>	<b>Dimension Temporelle :</b> Réaliser plusieurs tâches à la fois dans ses activités professionnelles permet de gagner du temps.																			
<b>D.C. 2</b>	<b>Dimension Spatiale (Proxémie) :</b> Selon le contexte et les situations, il existe une distance déterminée à respecter lors d'une rencontre ou d'une conversation avec une tierce personne.																			
<b>D.C. 3</b>	<b>Nature du contexte :</b> La qualité et la conscience professionnelle sont des priorités dans le travail .																			
<b>D.C. 4</b>	<b>Attitude vis-à-vis de l'environnement :</b> Les tâches et les devoirs professionnels sont accomplis avec réussite grâce à la volonté de Dieu.																			
<b>D.C. 5</b>	<b>Contrôle de l'incertitude :</b> L'homme est inquiet face aux situations inconnues ou incertaines .																			
<b>D.C. 6</b>	<b>Objectivité /Subjectivité:</b> Les relations de travail sont souvent accompagnées d'expression de sentiments et d'émotions .																			
<b>D.C. 7</b>	<b>Individualisme / Collectivisme :</b>																			

	la solidarité avec le groupe de travail facilite la résolution des problèmes et n'empêche pas la réussite individuelle .								
<b>D.C. 8</b>	<b>Le limité / Le diffus :</b> Souvent la vie privée est liée à la vie professionnelle .								
<b>D.C. 9</b>	<b>Niveau d'éducation et de formation :</b> Les connaissances techniques doivent être suffisantes pour maîtriser le processus maintenance .								
<b>D.C. 10</b>	<b>Masculinité /Féminité :</b> Certaines tâches et travaux dans l'entreprise industrielle ne sont destinées que pour les hommes .								
<b>D.C. 11</b>	<b>Universel /Particulier :</b> Il faut toujours aider les amis .								
<b>D.C. 12</b>	<b>Distance hiérarchique :</b> Le style du management familial évite tout conflit entre le chef et son subordonné.								
<b>D.C. 13</b>	<b>Niveau de confiance dans l'environnement :</b> La culture d'entreprise joue un rôle capital dans l'épanouissement et le bien être des salariés dans cadre de travail.								
<b>D.C. 14</b>	<b>Niveau de motivation :</b> La motivation est conditionnée par le système d'évaluation qui touche l'ensemble du personnel de l'entreprise.								
<b>D.C. 15</b>	<b>Réalisations ou positions sociales :</b> La valeur de l'homme se mesure par «l' être » et non pas par « l'avoir »								
<b>Variable: O.M. ( Optimisation de la maintenance)</b>									
<b>O.M. 1</b>	La complémentarité MBF/TPM permet d'optimiser la maintenance.								
<b>O.M. 2</b>	L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) contribue à l'optimisation de la maintenance.								
<b>O.M. 3</b>	La prise en compte des facteurs humain et organisationnel sont des éléments indispensables pour l'optimisation de la maintenance.								
<b>O.M. 4</b>	La maintenance peut être optimisée à l'aide de critères techniques . (MTBF : Moyenne de temps de bon fonctionnement, MTTR : Moyenne de temps de réparation...)								

<b>O.M. 5</b>	La maintenance peut être optimisée à l'aide de critères économiques (coûts)								
<b>O.M. 6</b>	Les bonnes pratiques techniques, organisationnelles ou managériales assurent l'efficacité de l'activité maintenance.								
<b>O.M. 7</b>	L'optimisation de la maintenance exige une démarche qualité s'inscrivant dans le processus général du management de la qualité de l'entreprise.								
<b>O.M. 8</b>	L'amélioration des programmes de maintenance préventive pour les équipements classés critiques, aide à l'optimisation de la maintenance.								
<b>O.M. 9</b>	La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) facilite l'optimisation de la maintenance.								
<b>O.M. 10</b>	L'audit de la maintenance est un outil précieux pour rechercher des axes d'amélioration de la maintenance.								

Age	Ville de résidence	Genre (M.ouF.)

Ancienneté	Moins d'un an	Entre 1 et 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Plus de 10 ans

NIVEAU ACADEMIQUE			
Fondamentale	Moyen / Lycée	Baccalauréat	Universitaire

<b>FONCTION :</b>	
-------------------	--

<b>SALAIRE MENSUEL</b> ( En milliers de dinars)	<b>Moins de 18000 DA</b>	<b>De 18000 à 30000 DA</b>	<b>De 30000 à 50000 DA</b>	<b>Plus de 50000 DA</b>
---	--------------------------------------	--	------------------------------------	-------------------------------------

### Fiabilité des échelles

Reliability: **MBF**

/Variables=mbf1 mbf3 mbf4 mbf5 mbf6

#### Récapitulatif de traitement des observations

		N	%
Observations	Valide	159	100,0
	Exclue <sup>a</sup>	0	,0
	Total	159	100,0

a. Suppression par liste basée sur toutes les variables de la procédure.

#### Statistiques de fiabilité

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments standardisés	Nombre d'éléments
,752	,759	5

#### Statistiques d'éléments

	Moyenne	Ecart type	N
mbf1	6,4465	,76843	159
mbf3	6,3774	,81659	159
mbf4	6,0189	1,36628	159
mbf5	6,1258	1,37216	159
mbf6	6,2075	,98132	159

**Matrice de corrélation inter-éléments**

	mbf1	mbf3	mbf4	mbf5	mbf6
mbf1	1,000	,466	,372	,337	,380
mbf3	,466	1,000	,391	,302	,241
mbf4	,372	,391	1,000	,708	,417
mbf5	,337	,302	,708	1,000	,248
mbf6	,380	,241	,417	,248	1,000

**Matrice de covariance inter-éléments**

	mbf1	mbf3	mbf4	mbf5	mbf6
mbf1	,590	,292	,390	,355	,286
mbf3	,292	,667	,436	,338	,193
mbf4	,390	,436	1,867	1,327	,559
mbf5	,355	,338	1,327	1,883	,334
mbf6	,286	,193	,559	,334	,963

**Statistiques récapitulatives d'éléments**

	Moyenne	Minimum	Maximum	Plage	Maximum / Minimum	Variance	Nombre d'éléments
Moyenne des éléments	6,235	6,019	6,447	,428	1,071	,031	5
Variance des éléments	1,194	,590	1,883	1,292	3,189	,406	5
Covariances inter-éléments	,451	,193	1,327	1,133	6,862	,099	5
Corrélations inter-éléments	,386	,241	,708	,466	2,933	,017	5

**Statistiques de total des éléments**

	Moyenne de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Variance de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Corrélation complète des éléments corrigés	Carré de la corrélation multiple	Alpha de Cronbach en cas de suppression de l'élément
mbf1	24,7296	11,756	,503	,318	,723
mbf3	24,7987	11,807	,449	,272	,734
mbf4	25,1572	7,703	,715	,584	,623
mbf5	25,0503	8,403	,592	,513	,685
mbf6	24,9686	11,284	,417	,242	,742

**Statistiques d'échelle**

Moyenne	Variance	Ecart type	Nombre d'éléments
31,1761	14,994	3,87222	5

**ANOVA**

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig
Entre personnes	473,814	158	2,999		
Intra- population					
Entre éléments	19,781	4	4,945	6,658	,000
Résidus	469,419	632	,743		
Total	489,200	636	,769		
Total	963,014	794	1,213		

Moyenne générale = 6,2352

**Reliability TPM**

/Variables=tpm4 tpm5 tpm6 tpm7 tpm8

**Statistiques de fiabilité**

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments standardisés	Nombre d'éléments
,808	,811	5

**Statistiques d'éléments**

	Moyenne	Ecart type	N
tpm4	6,2893	1,01474	159
tpm5	6,2013	1,13506	159
tpm6	6,1321	1,09147	159
tpm7	6,2893	,95032	159
tpm8	5,9497	1,26690	159

**Matrice de corrélation inter-éléments**

	tpm4	tpm5	tpm6	tpm7	tpm8
tpm4	1,000	,559	,257	,418	,430
tpm5	,559	1,000	,397	,392	,518
tpm6	,257	,397	1,000	,616	,458
tpm7	,418	,392	,616	1,000	,569
tpm8	,430	,518	,458	,569	1,000

**Matrice de covariance inter-éléments**

	tpm4	tpm5	tpm6	tpm7	tpm8
tpm4	1,030	,644	,284	,403	,553
tpm5	,644	1,288	,492	,422	,744
tpm6	,284	,492	1,191	,639	,633
tpm7	,403	,422	,639	,903	,686
tpm8	,553	,744	,633	,686	1,605

**Statistiques récapitulatives d'éléments**

	Moyenne	Minimum	Maximum	Plage	Maximum / Minimum	Variance	Nombre d'éléments
Moyenne des éléments	6,172	5,950	6,289	,340	1,057	,020	5
Variance des éléments	1,204	,903	1,605	,702	1,777	,072	5
Covariances inter- éléments	,550	,284	,744	,460	2,618	,020	5
Corrélations inter- éléments	,461	,257	,616	,359	2,399	,011	5

**Statistiques de total des éléments**

	Moyenne de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Variance de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Corrélation complète des éléments corrigés	Carré de la corrélation multiple	Alpha de Cronbach en cas de suppression de l'élément
tpm4	24,5723	12,221	,531	,375	,789
tpm5	24,6604	11,124	,608	,433	,767
tpm6	24,7296	11,730	,548	,423	,785
tpm7	24,5723	11,816	,658	,512	,756
tpm8	24,9119	10,182	,647	,437	,756

**Statistiques d'échelle**

Moyenne	Variance	Ecart type	Nombre d'éléments
30,8616	17,019	4,12537	5

**ANOVA**

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig	
Entre personnes	537,791	158	3,404			
Intra- population	Entre éléments	12,624	4	3,156	4,830	,001
	Résidus	412,976	632	,653		
	Total	425,600	636	,669		
Total		963,391	794	1,213		

Moyenne générale = 6,1723

**Reliability DC**

/Variables=dc1 dc2 dc4 dc5 dc6 dc7 dc8 dc9 dc10 dc11 dc12 dc13 dc14 dc15

**Statistiques de fiabilité**

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments standardisés	Nombre d'éléments
,880	,885	14

**Statistiques d'éléments**

	Moyenn e	Ecart type	N
dc1	4,7296	2,30488	159
dc2	5,8176	1,23686	159
dc4	6,2327	1,09772	159
dc5	6,0000	1,15287	159
dc6	5,3396	1,74961	159
dc7	6,2830	1,03809	159
dc8	5,8742	1,43528	159
dc9	6,1761	1,17750	159
dc10	5,9497	1,51281	159
dc11	5,9748	1,32622	159
dc12	5,7547	1,26149	159
dc13	6,1321	1,00702	159
dc14	6,1258	1,17862	159
dc15	5,8679	1,57156	159

**Matrice de corrélation inter-éléments**

	dc1	dc2	dc4	dc5	dc6	dc7	dc8	dc9	dc10	dc11	dc12	dc13	dc14	dc15
dc1	1,000	,558	,265	,281	,481	,180	,280	,244	,332	,426	,495	,501	,409	,374
dc2	,558	1,000	,246	,404	,456	,178	,244	,313	,398	,383	,584	,324	,537	,450
dc4	,265	,246	1,000	,445	,384	,203	,392	,086	,144	,187	,238	,212	,241	,212
dc5	,281	,404	,445	1,000	,568	,243	,440	,224	,552	,199	,453	,256	,177	,419
dc6	,481	,456	,384	,568	1,000	,212	,567	,170	,528	,214	,597	,352	,286	,550
dc7	,180	,178	,203	,243	,212	1,000	,151	,446	,215	,249	,227	,249	,204	,454
dc8	,280	,244	,392	,440	,567	,151	1,000	,234	,280	,361	,378	,336	,324	,453
dc9	,244	,313	,086	,224	,170	,446	,234	1,000	,204	,485	,323	,365	,408	,533
dc10	,332	,398	,144	,552	,528	,215	,280	,204	1,000	,249	,488	,179	,273	,415
dc11	,426	,383	,187	,199	,214	,249	,361	,485	,249	1,000	,541	,552	,585	,408
dc12	,495	,584	,238	,453	,597	,227	,378	,323	,488	,541	1,000	,474	,536	,491
dc13	,501	,324	,212	,256	,352	,249	,336	,365	,179	,552	,474	1,000	,359	,339
dc14	,409	,537	,241	,177	,286	,204	,324	,408	,273	,585	,536	,359	1,000	,477
dc15	,374	,450	,212	,419	,550	,454	,453	,533	,415	,408	,491	,339	,477	1,000

## Matrice de covariance inter-éléments

	dc1	dc2	dc4	dc5	dc6	dc7	dc8	dc9	dc10	dc11	dc12	dc13	dc14	dc15
dc1	5,312	1,590	,671	,747	1,941	,431	,928	,662	1,157	1,303	1,440	1,163	1,110	1,356
dc2	1,590	1,530	,334	,576	,986	,229	,433	,456	,744	,628	,911	,404	,783	,874
dc4	,671	,334	1,205	,563	,737	,231	,618	,111	,240	,272	,330	,235	,312	,366
dc5	,747	,576	,563	1,329	1,146	,291	,728	,304	,962	,304	,658	,297	,241	,759
dc6	1,941	,986	,737	1,146	3,061	,384	1,423	,351	1,397	,496	1,318	,619	,590	1,513
dc7	,431	,229	,231	,291	,384	1,078	,226	,545	,337	,343	,298	,260	,249	,740
dc8	,928	,433	,618	,728	1,423	,226	2,060	,396	,608	,687	,684	,485	,548	1,021
dc9	,662	,456	,111	,304	,351	,545	,396	1,387	,363	,758	,480	,432	,566	,985
dc10	1,157	,744	,240	,962	1,397	,337	,608	,363	2,289	,499	,931	,273	,487	,987
dc11	1,303	,628	,272	,304	,496	,343	,687	,758	,499	1,759	,905	,738	,915	,851
dc12	1,440	,911	,330	,658	1,318	,298	,684	,480	,931	,905	1,591	,602	,797	,974
dc13	1,163	,404	,235	,297	,619	,260	,485	,432	,273	,738	,602	1,014	,426	,537
dc14	1,110	,783	,312	,241	,590	,249	,548	,566	,487	,915	,797	,426	1,389	,884
dc15	1,356	,874	,366	,759	1,513	,740	1,021	,985	,987	,851	,974	,537	,884	2,470

## Statistiques récapitulatives d'éléments

	Moyenne	Minimum	Maximum	Plage	Maximum / Minimum	Variance	Nombre d'éléments
Moyenne des éléments	5,876	4,730	6,283	1,553	1,328	,166	14
Variance des éléments	1,962	1,014	5,312	4,298	5,239	1,268	14
Covariances inter-éléments	,675	,111	1,941	1,830	17,536	,139	14
Corrélations inter-éléments	,355	,086	,597	,512	6,975	,017	14

**Statistiques de total des éléments**

	Moyenne de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Variance de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Corrélation complète des éléments corrigés	Carré de la corrélacion multiple	Alpha de Cronbach en cas de suppression de l'élément
dc1	77,5283	116,099	,584	,482	,877
dc2	76,4403	130,982	,632	,528	,869
dc4	76,0252	139,164	,388	,341	,879
dc5	76,2579	133,927	,568	,544	,872
dc6	76,9182	121,544	,669	,676	,866
dc7	75,9748	140,202	,371	,306	,879
dc8	76,3836	130,782	,535	,466	,873
dc9	76,0818	136,202	,466	,450	,876
dc10	76,3082	130,151	,521	,454	,874
dc11	76,2830	131,255	,572	,581	,871
dc12	76,5031	128,163	,723	,623	,865
dc13	76,1258	136,452	,550	,447	,873
dc14	76,1321	133,204	,581	,534	,871
dc15	76,3899	124,239	,676	,584	,865

**Statistiques d'échelle**

Moyenne	Variance	Ecart type	Nombre d'éléments
82,2579	150,408	12,26408	14

**ANOVA**

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig
Entre personnes	1697,459	158	10,743		
Intra- population					
Entre éléments	343,713	13	26,439	20,545	,000
Résidus	2643,358	2054	1,287		
Total	2987,071	2067	1,445		
Total	4684,531	2225	2,105		

Moyenne générale = 5,8756

Reliability

/Variables=om1 om2 om3 om4 om5 om6 om7 om8 om9 om10

**Statistiques de fiabilité**

Alpha de Cronbach	Alpha de Cronbach basé sur des éléments standardisés	Nombre d'éléments
,854	,857	10

**Statistiques d'éléments**

	Moyenne	Ecart type	N
om1	6,2767	,88527	159
om2	6,1258	,97268	159
om3	6,1258	1,14595	159
om4	6,2138	,92343	159
om5	6,1698	1,15948	159
om6	6,3396	,76993	159
om7	6,0818	,94781	159
om8	6,3019	,72701	159
om9	6,4340	,74229	159
om10	6,2075	,95517	159

**Matrice de corrélation inter-éléments**

	om1	om2	om3	om4	om5	om6	om7	om8	om9	om10
om1	1,000	,386	,577	,337	,410	,242	,373	,233	,250	,463
om2	,386	1,000	,468	,442	,228	,306	,559	,411	,424	,292
om3	,577	,468	1,000	,405	,470	,382	,608	,266	,278	,462
om4	,337	,442	,405	1,000	,356	,369	,443	,309	,353	,322
om5	,410	,228	,470	,356	1,000	,516	,339	,134	,201	,357
om6	,242	,306	,382	,369	,516	1,000	,421	,404	,416	,385
om7	,373	,559	,608	,443	,339	,421	1,000	,405	,426	,331
om8	,233	,411	,266	,309	,134	,404	,405	1,000	,471	,319
om9	,250	,424	,278	,353	,201	,416	,426	,471	1,000	,327
om10	,463	,292	,462	,322	,357	,385	,331	,319	,327	1,000

**Matrice de covariance inter-éléments**

	om1	om2	om3	om4	om5	om6	om7	om8	om9	om10
om1	,784	,332	,585	,276	,421	,165	,313	,150	,164	,392
om2	,332	,946	,522	,397	,257	,229	,515	,291	,306	,271
om3	,585	,522	1,313	,429	,624	,337	,661	,221	,236	,505
om4	,276	,397	,429	,853	,381	,262	,387	,207	,242	,284
om5	,421	,257	,624	,381	1,344	,461	,372	,113	,173	,395
om6	,165	,229	,337	,262	,461	,593	,307	,226	,238	,283
om7	,313	,515	,661	,387	,372	,307	,898	,279	,300	,299
om8	,150	,291	,221	,207	,113	,226	,279	,529	,254	,222
om9	,164	,306	,236	,242	,173	,238	,300	,254	,551	,232
om10	,392	,271	,505	,284	,395	,283	,299	,222	,232	,912

### Statistiques récapitulatives d'éléments

	Moyenne	Minimum	Maximum	Plage	Maximum / Minimum	Variance	Nombre d'éléments
Moyenne des éléments	6,228	6,082	6,434	,352	1,058	,012	10
Variance des éléments	,872	,529	1,344	,816	2,544	,081	10
Covariances inter-éléments	,323	,113	,661	,548	5,847	,016	10
Corrélations inter-éléments	,375	,134	,608	,474	4,538	,010	10

### Statistiques de total des éléments

	Moyenne de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Variance de l'échelle en cas de suppression d'un élément	Corrélation complète des éléments corrigés	Carré de la corrélation multiple	Alpha de Cronbach en cas de suppression de l'élément
om1	56,0000	31,380	,564	,424	,840
om2	56,1509	30,572	,580	,430	,839
om3	56,1509	28,205	,677	,564	,829
om4	56,0629	31,173	,556	,323	,841
om5	56,1069	30,020	,503	,413	,848
om6	55,9371	32,148	,575	,446	,840
om7	56,1950	29,993	,661	,522	,832
om8	55,9748	33,303	,468	,348	,848
om9	55,8428	32,918	,504	,358	,846
om10	56,0692	31,077	,542	,345	,842

**Statistiques d'échelle**

Moyenne	Variance	Ecart type	Nombre d'éléments
62,2767	37,758	6,14478	10

**ANOVA**

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig
Entre personnes	596,582	158	3,776		
Intra- population					
Entre éléments	17,331	9	1,926	3,503	,000
Résidus	781,669	1422	,550		
Total	799,000	1431	,558		
Total	1395,582	1589	,878		

Moyenne générale = 6,2277

Factor **MBF**

/Variables mbf1 mbf3 mbf4 mbf5 mbf6

**Matrice de corrélation**

		mbf1	mbf3	mbf4	mbf5	mbf6
Corrélation	mbf1	1,000	,466	,372	,337	,380
	mbf3	,466	1,000	,391	,302	,241
	mbf4	,372	,391	1,000	,708	,417
	mbf5	,337	,302	,708	1,000	,248
	mbf6	,380	,241	,417	,248	1,000
	Signification (unilatéral)	mbf1		,000	,000	,000
mbf3		,000		,000	,000	,001
mbf4		,000	,000		,000	,000
mbf5		,000	,000	,000		,001
mbf6		,000	,001	,000	,001	

a. Déterminant = ,235

**Indice KMO et test de Bartlett**

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,678
Test de sphéricité de	Khi-deux approx.	225,506
Bartlett	ddl	10
	Signification	,000

**Qualités de représentation**

	Initiales	Extraction n
mbf1	1,000	,496
mbf3	1,000	,432
mbf4	1,000	,696
mbf5	1,000	,566
mbf6	1,000	,376

Méthode d'extraction :

Analyse en composantes  
principales.

**Variance totale expliquée**

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	2,566	51,325	51,325	2,566	51,325	51,325
2	,890	17,810	69,135			
3	,771	15,418	84,552			
4	,513	10,255	94,807			
5	,260	5,193	100,000			

Méthode d'extraction : Analyse en Composantes Principales.

**Matrice des composantes**

	Composante
	1
mbf1	,704
mbf3	,657
mbf4	,834
mbf5	,752
mbf6	,614

Méthode d'extraction :

Analyse en composantes  
principales.

a. 1 composantes extraites.

b.

**Analyse Factorielle**

Factor **TPM**

/Variables tpm4 tpm5 tpm6 tpm7 tpm8

**Matrice de corrélation**

		tpm4	tpm5	tpm6	tpm7	tpm8
Corrélation	tpm4	1,000	,559	,257	,418	,430
	tpm5	,559	1,000	,397	,392	,518
	tpm6	,257	,397	1,000	,616	,458
	tpm7	,418	,392	,616	1,000	,569
	tpm8	,430	,518	,458	,569	1,000
Signification (unilatéral)	tpm4		,000	,001	,000	,000
	tpm5	,000		,000	,000	,000
	tpm6	,001	,000		,000	,000
	tpm7	,000	,000	,000		,000
	tpm8	,000	,000	,000	,000	

a. Déterminant = ,178

**Indice KMO et test de Bartlett**

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,748
Test de sphéricité de Bartlett	Khi-deux approx.	268,337
	ddl	10
	Signification	,000

**Qualités de représentation**

	Initiales	Extractio n
tpm4	1,000	,482
tpm5	1,000	,572
tpm6	1,000	,521
tpm7	1,000	,642
tpm8	1,000	,635

Méthode d'extraction :

Analyse en composantes  
principales.

**Variance totale expliquée**

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	2,853	57,053	57,053	2,853	57,053	57,053
2	,868	17,362	74,415			
3	,491	9,816	84,232			
4	,489	9,772	94,004			
5	,300	5,996	100,000			

Méthode d'extraction : Analyse en Composantes Principales.

**Matrice des composantes**

	Composante
	1
tpm4	,694
tpm5	,756
tpm6	,722
tpm7	,801
tpm8	,797

Méthode d'extraction : Analyse  
en composantes principales.

a. 1 composantes extraites.

Factor DC

/Variables dc1 dc2 dc4 dc5 dc6 dc7 dc8 dc9 dc10 dc11 dc12 dc13 dc14 dc15

Matrice de corrélation

		dc1	dc2	dc4	dc5	dc6	dc7	dc8	dc9	dc10	dc11	dc12	dc13	dc14	dc15
Corrélation	dc1	1,000	,558	,265	,281	,481	,180	,280	,244	,332	,426	,495	,501	,409	,374
	dc2	,558	1,000	,246	,404	,456	,178	,244	,313	,398	,383	,584	,324	,537	,450
	dc4	,265	,246	1,000	,445	,384	,203	,392	,086	,144	,187	,238	,212	,241	,212
	dc5	,281	,404	,445	1,000	,568	,243	,440	,224	,552	,199	,453	,256	,177	,419
	dc6	,481	,456	,384	,568	1,000	,212	,567	,170	,528	,214	,597	,352	,286	,550
	dc7	,180	,178	,203	,243	,212	1,000	,151	,446	,215	,249	,227	,249	,204	,454
	dc8	,280	,244	,392	,440	,567	,151	1,000	,234	,280	,361	,378	,336	,324	,453
	dc9	,244	,313	,086	,224	,170	,446	,234	1,000	,204	,485	,323	,365	,408	,533
	dc10	,332	,398	,144	,552	,528	,215	,280	,204	1,000	,249	,488	,179	,273	,415
	dc11	,426	,383	,187	,199	,214	,249	,361	,485	,249	1,000	,541	,552	,585	,408
	dc12	,495	,584	,238	,453	,597	,227	,378	,323	,488	,541	1,000	,474	,536	,491
	dc13	,501	,324	,212	,256	,352	,249	,336	,365	,179	,552	,474	1,000	,359	,339
	dc14	,409	,537	,241	,177	,286	,204	,324	,408	,273	,585	,536	,359	1,000	,477
	dc15	,374	,450	,212	,419	,550	,454	,453	,533	,415	,408	,491	,339	,477	1,000
	Signification (unilatéral)	dc1		,000	,000	,000	,000	,011	,000	,001	,000	,000	,000	,000	,000
dc2		,000		,001	,000	,000	,012	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
dc4		,000	,001		,000	,000	,005	,000	,142	,035	,009	,001	,004	,001	,004
dc5		,000	,000	,000		,000	,001	,000	,002	,000	,006	,000	,001	,013	,000
dc6		,000	,000	,000	,000		,004	,000	,016	,000	,003	,000	,000	,000	,000
dc7		,011	,012	,005	,001	,004		,028	,000	,003	,001	,002	,001	,005	,000
dc8		,000	,001	,000	,000	,000	,028		,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000
dc9		,001	,000	,142	,002	,016	,000	,001		,005	,000	,000	,000	,000	,000
dc10		,000	,000	,035	,000	,000	,003	,000	,005		,001	,000	,012	,000	,000
dc11		,000	,000	,009	,006	,003	,001	,000	,000	,001		,000	,000	,000	,000
dc12		,000	,000	,001	,000	,000	,002	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
dc13		,000	,000	,004	,001	,000	,001	,000	,000	,012	,000	,000		,000	,000
dc14		,000	,000	,001	,013	,000	,005	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
dc15		,000	,000	,004	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	

a. Déterminant = ,002

**Indice KMO et test de Bartlett**

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,848
Test de sphéricité de	Khi-deux approx.	988,329
Bartlett	ddl	91
	Signification	,000

**Qualités de représentation**

	Initiales	Extraction
dc1	1,000	,594
dc2	1,000	,651
dc4	1,000	,692
dc5	1,000	,707
dc6	1,000	,751
dc7	1,000	,696
dc8	1,000	,623
dc9	1,000	,728
dc10	1,000	,726
dc11	1,000	,717
dc12	1,000	,706
dc13	1,000	,585
dc14	1,000	,614
dc15	1,000	,691

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

## Variance totale expliquée

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements			Sommes de rotation du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	5,733	40,950	40,950	5,733	40,950	40,950	3,150	22,500	22,500
2	1,556	11,117	52,067	1,556	11,117	52,067	2,599	18,564	41,064
3	1,175	8,392	60,459	1,175	8,392	60,459	1,866	13,327	54,391
4	1,016	7,255	67,714	1,016	7,255	67,714	1,865	13,323	67,714
5	,765	5,466	73,181						
6	,746	5,331	78,512						
7	,614	4,388	82,899						
8	,503	3,593	86,492						
9	,437	3,123	89,616						
10	,356	2,545	92,160						
11	,335	2,395	94,555						
12	,305	2,177	96,732						
13	,262	1,871	98,603						
14	,196	1,397	100,000						

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

**Matrice des composantes**

	Composante			
	1	2	3	4
dc1	,666	,060	-,382	-,004
dc2	,700	,021	-,294	-,272
dc4	,451	-,373	,069	,587
dc5	,632	-,520	,188	-,043
dc6	,729	-,467	-,030	-,032
dc7	,440	,207	,678	-,023
dc8	,609	-,267	,080	,416
dc9	,553	,494	,419	-,056
dc10	,597	-,342	,048	-,499
dc11	,660	,482	-,144	,170
dc12	,790	,001	-,233	-,165
dc13	,618	,287	-,170	,303
dc14	,664	,361	-,208	,002
dc15	,745	,068	,332	-,142

Méthode d'extraction : Analyse en Composantes Principales.

a. 4 composantes extraites.

### Rotation de la matrice des composantes

	Composante			
	1	2	3	4
dc1	,663	,349	-,047	,175
dc2	,584	,555	,043	,015
dc4	,120	,080	,032	,819
dc5	,018	,653	,185	,496
dc6	,227	,678	,061	,487
dc7	,028	,118	,813	,141
dc8	,252	,216	,155	,699
dc9	,389	,052	,757	-,017
dc10	,113	,828	,162	,027
dc11	,779	-,004	,307	,128
dc12	,611	,545	,112	,150
dc13	,677	-,003	,181	,307
dc14	,731	,172	,218	,053
dc15	,319	,449	,592	,192

Méthode d'extraction : Analyse en Composantes

Principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation

Kaiser.

a. Convergence de la rotation dans 7 itérations.

### Matrice de transformation des composantes

Composante	1	2	3	4
1	,640	,549	,372	,389
2	,539	-,549	,402	-,496
3	-,535	-,036	,834	,134
4	,118	-,629	-,074	,764

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation

Kaiser.

**Matrice de corrélation**

		om1	om2	om3	om4	om5	om6	om7	om8	om9	om10
Corrélation	om1	1,000	,386	,577	,337	,410	,242	,373	,233	,250	,463
	om2	,386	1,000	,468	,442	,228	,306	,559	,411	,424	,292
	om3	,577	,468	1,000	,405	,470	,382	,608	,266	,278	,462
	om4	,337	,442	,405	1,000	,356	,369	,443	,309	,353	,322
	om5	,410	,228	,470	,356	1,000	,516	,339	,134	,201	,357
	om6	,242	,306	,382	,369	,516	1,000	,421	,404	,416	,385
	om7	,373	,559	,608	,443	,339	,421	1,000	,405	,426	,331
	om8	,233	,411	,266	,309	,134	,404	,405	1,000	,471	,319
	om9	,250	,424	,278	,353	,201	,416	,426	,471	1,000	,327
	om10	,463	,292	,462	,322	,357	,385	,331	,319	,327	1,000
Signification (unilatéral)	om1		,000	,000	,000	,000	,001	,000	,002	,001	,000
	om2	,000		,000	,000	,002	,000	,000	,000	,000	,000
	om3	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	om4	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	om5	,000	,002	,000	,000		,000	,000	,046	,006	,000
	om6	,001	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	om7	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	om8	,002	,000	,000	,000	,046	,000	,000		,000	,000
	om9	,001	,000	,000	,000	,006	,000	,000	,000		,000
	om10	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	

a. Déterminant = ,027

**Indice KMO et test de Bartlett**

Indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité d'échantillonnage.		,860
Test de sphéricité de	Khi-deux approx.	554,219
Bartlett	ddl	45
	Signification	,000

**Qualités de représentation**

	Initiales	Extractio n
om1	1,000	,583
om2	1,000	,540
om3	1,000	,681
om4	1,000	,431
om5	1,000	,605
om6	1,000	,445
om7	1,000	,585
om8	1,000	,639
om9	1,000	,620
om10	1,000	,452

Méthode d'extraction :

Analyse en Composantes

Principales.

**Variance totale expliquée**

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements			Sommes de rotation du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	4,401	44,014	44,014	4,401	44,014	44,014	2,875	28,751	28,751
2	1,179	11,794	55,809	1,179	11,794	55,809	2,706	27,057	55,809
3	,918	9,184	64,992						
4	,771	7,714	72,707						
5	,620	6,195	78,902						
6	,527	5,272	84,174						
7	,500	5,002	89,175						
8	,433	4,327	93,502						
9	,352	3,518	97,021						
10	,298	2,979	100,000						

Méthode d'extraction : Analyse en Composantes Principales.

**Matrice des composantes**

	Composante	
	1	2
om1	,646	-,406
om2	,689	,254
om3	,758	-,327
om4	,655	,043
om5	,600	-,495
om6	,666	,042
om7	,756	,118
om8	,584	,546
om9	,617	,489
om10	,638	-,210

Méthode d'extraction :

Analyse en composantes  
principales.

a. 2 composantes extraites.

**Rotation de la matrice des composantes**

	Composante	
	1	2
om1	,748	,150
om2	,325	,659
om3	,775	,285
om4	,445	,482
om5	,776	,054
om6	,454	,489
om7	,467	,606
om8	,048	,798
om9	,111	,779
om10	,608	,287

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser.

a. Convergence de la rotation dans 3 itérations.

**Matrice de transformation des composantes**

Composante	1	2
1	,725	,688
2	-,688	,725

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser.

Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  et erreur de mesure E du modèle structurel

Variables manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(MBF)-1->[mbf1]	0,370	0,062	5,946	0,000	0,454
(MBF)-2->[mbf3]	0,386	0,066	5,818	0,000	0,518
(MBF)-3->[mbf4]	1,203	0,099	12,108	0,000	0,420
(MBF)-4->[mbf5]	1,061	0,103	10,340	0,000	0,757
(MBF)-5->[mbf6]	0,441	0,080	5,501	0,000	0,769

Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  et l'erreur E du modèle structurel de la variable MBF

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

Variables manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(TPM)-6->[tpm4]	0,630	0,078	8,061	0,000	0,633
(TPM)-7->[tpm5]	0,766	0,086	8,952	0,000	0,702
(TPM)-8->[tpm6]	0,667	0,084	7,895	0,000	0,747
(TPM)-9->[tpm7]	0,679	0,070	9,657	0,000	0,442
(TPM)-10->[tpm8]	0,980	0,091	10,760	0,000	0,644

Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  du modèle structurel de la variable TPM

Source : notre élaboration a l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

Variables manifestes	Estimation paramètre $\lambda_i$	Erreur type rho	T 1.96<	Niveau P <0.05	Estimation paramètre $E_i$
(OM)-35->[om1]					0,530
(OM)-36->[om2]	1,302	0,222	5,869	0,000	0,517
(OM)-37->[om3]	1,734	0,274	6,330	0,000	0,551
(OM)-38->[om4]	1,078	0,202	5,349	0,000	0,558
(OM)-39->[om5]	1,182	0,244	4,837	0,000	0,990
(OM)-40->[om6]	0,827	0,164	5,032	0,000	0,419
(OM)-41->[om7]	1,488	0,230	6,463	0,000	0,337
(OM)-42->[om8]	0,721	0,152	4,736	0,000	0,397
(OM)-43->[om9]	0,764	0,157	4,874	0,000	0,403
(OM)-44->[om10]	1,079	0,207	5,224	0,000	0,617

Estimation de la contribution factorielle  $\lambda_i$  du modèle structurel de la variable OM

Source : notre élaboration à l'aide du Logiciel Statistica. (N=159)

## Annexe 5

### Criticité des équipements

Désignation	Codes interne	Criticité sur l'équipement				
		P	1	E	U	CR
Pont roulant à grappin	23JK01	3	1	2	2	12
Transporteur à bande horizontale	23JM01	3	2	2	1	12
Transporteur à bande incliné	23JM02	3	2	2	1	12
Transporteur à bande incliné	23JM03	3	2	2	1	12
Transporteur à bande incliné	23JM04	3	2	2	1	12
Transporteur à bande mobile	23.1M05	3	2	2	1	12
Trémie de stockage	23CA01	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA02	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA03	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23C 104	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA05	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA06	3	2	3	2	36
Bande d'extraction volumétrique	24JU01	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24J1102	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU03	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU04	3	2	3	1	18

Bande d'extraction volumétrique	24JU05	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU06	3	2	3	1	18
Transporteur à bande collecteur	24JM01	3	2	3	1	18
Transporteur à bande collecteur	24JM02	3	2	3	1	18
Trémie de stockage	31CA01	3	1	3	1	9
Four à charge en turbulence	32FM01	1	0	2	1	0
Chaudière	32FN01	1	1	2	1	2
Trémie à poussières	33CK01	2	2	3	2	24
Transporteurs « Redler » à gain double	35JX01	2	1	2	1	4
Cyclone	34TY01	2	2	3	1	12
Cyclone	34TY02	2	2	3	1	12
Electro filtre chaud (sec)	34LG01	1	0	2	1	0
Electro filtre chaud (sec)	34LG02	1	0	2	1	0
Tour de lavage	36LS101	1	0	2	1	0
Refroidisseur à étoile	36FC101A	1	0	2	1	0
Refroidisseur à étoile	36FC101B	1	0	2	1	0
Electro filtre humide	36LG 101 C	1	1	2	1	2
Electro filtre humide	36LG 101 D	1	1	2	1	2
Tour de séchage	37FS 102	1	1	2	1	2
Echangeur à froid E 102 A	37 FT 102 A	0	0	2	1	0
Echangeur à froid E 102 B	37FT102B	0	0	2	1	0
Echangeur à chaud E103	37FT103	0	0	2	1	0
Echangeur à chaud E105	37FT105	0	0	2	1	0
Fourneau de démarrage D101	37FM 101	1	1	2	1	2
Tour de catalyse	37LR 104	0	0	2	1	0

Economiseur	37FY106	2	2	2	2	16
Absorbeur	37LT 101	2	2	2	2	16
Cuve acide 98%	37CC102	3	2	3	1	18
Refroidisseur acide 98%	37FC 104	3	1	2	1	6
Réservoir H2S04 500 tonne	38CZ 101A	3	1	2	2	12
Cheminée principale	34C1-I01	3	2	3	2	36
Refroidisseur acide 96%	37FC103	3	1	2	1	6
Cuve acide 96%	37CC 101	3	1	2	2	12
« Trommel » refroidisseur	35FC01	3	2	3	2	36
Transporteur « Redler» simple	35JX02	3	2	3	2	36
Transporteur « Redler» simple	35JX03	3	2	3	2	36
Broyeur à boulets	35LD0 1	1	1	2	1	2
Transporteur « Redler » simple « collecteur)	35JX04	3	2	3	2	36
Silo de stockage de ZnO	38CZ102A	3	2	3	2	36
Silo de stockage de ZnO	38CZ102B	3	2	3	2	36
Ventilateur d'air de grillage M 26	320001	2	0	2	1	0
Ventilateur intermédiaire M 30	32VC02	2	0	2	1	0
Ventilateur de soufflage	32VC01	2	0	2	1	0
Ventilateur principale K 102	37VC 102	1	0	0	0	0
Bac	37CC103	3	2	3	2	36
Pompes de système de lavage de gaz	38PC107A	2	2	1	2	8
Décanteur	38CZ103	3	2	2	3	36



**Photo 6.7** Ventilateur central K102



**Photo 6.8** Roue du ventilateur central K102