

**Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur**

N° d'ordre 25/2018

**THESE DE DOCTORAT**

Présentée par

**Mme : Halima TAJRI**

Spécialité : Génie industriel

**Sujet de la thèse :** Intégration du système de management environnemental en maintenance et modélisation de la relation « maintenance - environnement ».

**Thèse présentée et soutenue le 23 juin 2018 devant le jury composé de :**

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Taoufiq ACHIBAT	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Président
Kamal REKLAOUI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Tanger	Rapporteur
Said EL FEZAZI	PES	Ecole Supérieure de Technologie de Safi	Rapporteur
Said HAOUACHE	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Anas CHAFI	PH	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examineur
Mohammed EL HAMMOUMI Brahim HERROU	PES PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Directeurs de thèse

Laboratoire d'accueil : Techniques Industrielles

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

# **Remerciements**

*Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Mr. Mohammed EL HAMMOUMI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et co-directeur de l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès, et Mr. Brahim HERROU, mon co-directeur de thèse, Professeur à l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès, pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer cette thèse dans leur équipe de recherche. Je les remercie pour leur confiance et pour l'intérêt qu'ils ont porté pour ce travail.*

*Je les remercie également pour leur aide, leur disponibilité, leurs judicieux et précieux conseils pendant toute la durée de cette thèse, le temps conséquent qu'ils m'ont accordé et leurs qualités pédagogiques et scientifiques.*

*Je tiens également à adresser mes plus vifs remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse.*

*Merci à Mr. Taoufiq ACHIBAT, Vice doyen et Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Président du jury. De m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.*

*Merci à Mr. Kamal REKLAOUI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, Mr. Said EL FEZAZI, Professeur à l'Ecole Supérieure de Technologie de Safi, Mr. Said HAOUACHE, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, d'avoir été les rapporteurs de ce manuscrit. Leurs remarques et suggestions me permettront d'apporter des améliorations à la qualité de ce dernier.*

*Merci à Mr. Anas CHAFI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour avoir accepté d'examiner mon travail de recherche et de faire partie de mon jury de thèse. Ses critiques et ses conseils enrichissants ont contribué à faire progresser mon travail.*

*J'exprime ma profonde gratitude envers mes collègues pour leur sympathie et l'ambiance cordiale qu'ils ont su faire régner au sein de l'équipe.*

*Je remercie avec grande émotion mes parents, mes sœurs et mes frères pour leur irremplaçable et inconditionnel soutien. Cette thèse est aussi la vôtre.*

*Je souhaite remercier spécialement mon mari Youssef pour son amour, son soutien sans faille, sa patience, et pour tout ce qu'il a pu m'apporter pour franchir les obstacles les plus difficiles tout au long de la thèse. Merci à ma petite fille, Rania, d'avoir accepté tant d'absences si longtemps, ainsi que pour m'avoir offert chaque jour le courage d'avancer. Merci à ma maman, et ma sœur Soumia, pour les petites et grandes attentions du quotidien, le soin et la tendresse prodigués à ma petite, afin de me permettre d'avoir l'esprit léger pour continuer.*

*Un grand merci à tous ceux qui, par leur soutien sous une forme ou une autre, m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.*

# Table des matières

Introduction générale.....	11
Chapitre1 : soubassement théorique du concept de l’environnement et du SME.....	16
I. Définitions et analyse des concepts clés: environnement, SME .....	16
1. Définition de l’environnement .....	16
2. Mise en évidence des enjeux d’environnement .....	18
2.1 L’évolution de la prise en compte de l’environnement à travers l’histoire. ....	18
2.2 Analyse de l’enjeu de la gestion environnemental par rapport au trio « société, entreprise & réglementation » .....	19
2.3 L’enjeu de la gestion du risque environnemental .....	25
3. Définition du système de management environnemental (SME) .....	26
4. Aspects normatifs liés à un SME.....	28
4.1 Présentation Du règlement EMAS.....	28
4.2 Présentation de l’ISO 14001 .....	28
4.3 Différences entre EMAS et ISO 14001.....	31
5. Les aspects environnementaux provenant des industries .....	33
5.1. Les aspects environnementaux sur l’air .....	33
5.2. Les aspects environnementaux sur l’eau .....	33
5.3. Les aspects environnementaux sur le sol.....	34
6. Mesure de performance d’un système de management environnemental (PSME) .....	35
6.1 Définition de la performance des systèmes de management environnemental (PSME) ..	35
6.2 Définition d’indicateur de performance environnementale.....	36
6.3 Définition de tableau de bord SME .....	37
6.4 cadrage de l’évaluation de la performance environnementale .....	38
6.5 Les indicateurs environnementaux adaptés à la maintenance.....	42
6.6 Exemple d’indicateurs environnementaux dans une industrie marocaine .....	45
Chapitre 2 : cadrage de la fonction maintenance .....	49
I. Définition de la maintenance .....	49
II. Les objectifs de la maintenance .....	51
III. Mesure de performance de la fonction maintenance .....	53

1. La problématique de standardisation de la mesure de la performance de la maintenance ....	53
2. Les indicateurs de la fonction maintenance.....	55
2.1 Taux de rendement synthétique (TRS).....	55
2.2 Indicateur financier: les coûts de la maintenance .....	57
2.3 Le MTBF (moyen de temps de bon fonctionnement) .....	59
2.4 Le MTTR (mean time to repair) .....	60
IV. Politique et Stratégies de la maintenance.....	60
1. Politique de maintenance (la norme FD X 60-000, 2002) .....	61
2. Stratégie de la maintenance.....	61
2.1 Life Cycle Cost (LCC).....	62
2.2 Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) .....	62
2.3 Total Productive Maintenance (TPM) .....	64
V. Les types de maintenance .....	65
VI. L'impact de la maintenance sur l'infrastructure, les ressources et la gestion .....	67
VII. La proposition du concept de la maintenance verte.....	68
1. Objectif de la maintenance verte .....	68
2. Définition de la maintenance verte .....	68
3. La contribution de la maintenance verte à la protection de l'environnement.....	69
3.1. La maintenance verte au stade de la conception.....	70
3.2 La maintenance verte au stade de l'acquisition.....	71
3.3 La maintenance verte au stade de la mise en service .....	71
3.4 La maintenance verte au stade de déclassement .....	72
Chapitre 3 : la relation maintenance environnement : émergence de la performance environnementale et de la performance maintenance .....	73
I. Modélisation de la relation « maintenance - environnement » .....	73
II. Intégration de la dimension environnementale dans la maintenance .....	77
1. Intégration de la dimension environnementale dans l'AMDEC : proposition d'une AMDEC verte .....	77
1.1. La valeur ajoutée de la proposition d'une AMDEC verte .....	77
1.2. Intégration du critère environnemental dans la démarche AMDEC.....	78
1.3. Application du concept de l'AMDEC verte dans une fonderie marocaine.....	82

2. Intégration de la dimension environnementale dans le LCC (Life Cycle Cost) ou le Coût de Cycle de Vie (CCV).....	87
2.1 Les origines du concept de coût global .....	87
2.2 Le Cycle de Vie.....	87
2.3 Définition du coût de cycle de vie .....	88
2.4 Intégration de la dimension environnementale dans le LCC .....	91
Chapitre 4 :L'expérimentation qualitative du modèle sur la relation « maintenance, environnement » .....	96
I. Présentation de l'échantillon et du questionnaire.....	96
II. Présentation des résultats.....	98
1. L'impact de la maintenance sur l'environnement.....	98
2. L'impact du SME sur la gestion de la maintenance.....	100
Chapitre 5 : Expérimentation du modèle dans une entreprise marocaine.....	103
I. Présentation de l'entreprise BOISGAZ.....	103
II. Analyse environnementale de l'entreprise BOISGAZ.....	103
1. Identification des aspects environnementaux dans l'entreprise BOISGAZ.....	103
2. La gestion des déchets .....	105
3. Les indicateurs environnementaux de BOISGAZ.....	107
III. Analyse de l'organisation maintenance de BOISGAZ .....	108
IV. Expérimentation de la relation « environnement - maintenance ».....	108
1. L'impact de la gestion de la maintenance sur la gestion de l'environnement.....	108
2. L'impact de la gestion de l'environnement sur la gestion de la maintenance.....	113
Conclusion générale .....	117
Références bibliographiques.....	119
1. Articles et ouvrages .....	119
2. Standards internationaux.....	130
3. Sites internet .....	131
Annexes .....	132
Annexe n°1 : Grille de Notation G, F, D.....	132

## Liste des figures

Figure 1 : Modèle de système de management environnemental pour la Norme ISO 14001 .....	30
Figure 2 : Statistiques sur les certifications ISO 14001 et EMAS.....	32
Figure 3 : L'évaluation environnementale selon ISO 14031 :1999 .....	42
Figure 4 : Amélioration de la gestion environnementale par la gestion de la maintenance. ....	43
Figure 5 : Le contenu de la fonction maintenance selon (Retour D et al, 1990).....	51
Figure 6 : les types de la maintenance : extrait de la norme NF EN 13 306 : 2001.....	66
Figure 7 : La contribution de la maintenance verte durant la vie d'un matériel à la protection de l'environnement.....	70
Figure 8 : La relation « maintenance - environnement ».....	75
Figure 9 : La relation « environnement - maintenance ».....	76
Figure 10 : Modèle de la relation « maintenance - environnement » .....	76
Figure 11 : La relation « environnement-maintenance ».....	80
Figure 12 : Présentation de la démarche d'amélioration continue AMDEC .....	81
Figure 13 : La décomposition élémentaire de l'ensemble Table .....	83
Figure 14 : Iceberg du coût de cycle de vie ( Zwingelstein G, 1996) .....	89
Figure 15 : Les composantes du coût de cycle de vie .....	93
Figure 16 : La courbe représentative du coût de cycle de vie.....	94
Figure 17 : Evaluation de l'impact de la gestion de la maintenance sur l'environnement .....	99
Figure 18 : L'impact de la mise en place d'un SME sur la gestion de la maintenance selon les 5M... ..	101
Figure 19 : Temps d'arrêt de la station STEP en septembre 2015 (selon le menu d'alarme) .....	112

## Liste des tableaux

Tableau 1 : rejets liquides par branche industrielle(Mm3) .....	34
Tableau 2 : déchets industriels dangereux(t/an) .....	34
Tableau 3: Les indicateurs de performance environnementale de l'entreprise X.....	45
Tableau 4: Mesures des indicateurs de performance environnementale chez l'entreprise X .....	46
Tableau 5: Analyse des causes des dépassements.....	46
Tableau 6: mesures de l'indicateur de performance environnementale « Quantité économisée »....	47
Tableau 7: AMDEC après l'intégration du 'critère environnement' E.....	79
Tableau 8: Matrice de la conséquence du mode de défaillance sur l'environnement (E varie de 1 à 4) .....	79
Tableau 9 : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités avec la criticité C. .....	84
Tableau 10 : Extrait de l'analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités avec la criticité C1.....	86
Tableau 11 : Récapitulation sur les données de l'échantillon .....	97
Tableau 12 : L'impact d'un SME sur la maintenance .....	100
Tableau 13 : Normes marocaines des rejets indirects de BOIGAZ.....	106
Tableau 14 : Le reporting relatif à l'année 2014 .....	109
Tableau 15 : Un plan d'action de maintenance relatif à l'année 2014.....	110
Tableau 16: Le reporting récapitulatif relatif à l'année 2015 et l'année 2014.....	111
Tableau 17: Les valeurs des indicateurs environnementaux à l'entrée de la STEP.....	113
Tableau 18: Récapitulation du calcul des indicateurs de maintenance pour l'année 2015.....	114
Tableau 19 : Un extrait d'une analyse sur les aspects environnementaux significatifs.....	115



## *Liste des abréviations*

AE : Analyse Environnementale

AES : Aspect Environnemental Significatif

AFNOR: l'organisme officiel français de normalisation

CO2 : Dioxyde de carbone

GRI : Global Reporting Initiative

IES : Impact Environnemental Significatif

ISO : International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)

PE : Performance Environnementale

PSME : Performance des Systèmes de Management Environnemental

QSE : Qualité Sécurité Environnement

RH : Ressources Humaines

SME : Système de Management Environnemental

SST : Santé Sécurité au Travail

TDB : tableau de bord

## *Glossaire*

### **Amélioration continue**

Processus récurrent d'enrichissement du système de management environnemental afin d'obtenir des améliorations de la performance environnementale globale en cohérence avec la politique environnementale de l'organisme.

### **Aspect environnemental**

Élément des activités, produits ou services d'un organisme susceptible d'interactions avec l'environnement.

### **Impact environnemental**

Toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des aspects environnementaux d'un organisme.

### **Défaillance**

Est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise (norme X 60-500). Une défaillance désigne tout ce qui paraît anormal, tout ce qui sort de norme de bon fonctionnement.

## Introduction générale

Actuellement, de plus en plus d'entreprises communiquent sur leurs engagements en faveur de la protection de l'environnement, au travers de campagnes de publicité, de rapports de développement durable, de l'affichage de certifications et labels environnementaux. La mise en place d'un système de management environnemental (SME) est devenue pour ces dernières, aussi un impératif de conformité réglementaire (loi de l'environnement)<sup>1</sup> et une réponse aux inquiétudes des actionnaires et des consommateurs, la condition de leur pérennisation et un élément non négligeable de compétitivité, donc de performance globale.

Ainsi, dans le cadre de la gestion environnementale, deux raisons poussent à améliorer les technologies mises en œuvre actuellement dans les industries:

- Limiter la consommation de la matière première.
- Diminuer les émissions des aspects environnementaux.

Ces deux raisons interpellent fortement la fonction maintenance qui est devenue l'une des fonctions stratégiques de l'entreprise. L'entreprise doit mener une stratégie de maintenance efficace pour ses moyens de production afin d'améliorer leurs disponibilités et réduire leurs aspects environnementaux.

Bien qu'il existe une importante littérature analysant le lien entre la performance environnementale et la performance financière (Levine DI, 2006) (Konar S, Cohen RA, 2001) (Schaltegger S et Synnestvedt T, 2002), (Orlitzky M, Schmidt FL, Rynes SL, 2003), (Waddock SA, Graves SB., 1997), (Griffin J, Mahon J, 1997), etc.), il y a peu de travaux analysant la relation entre la performance environnementale et la performance de la gestion de la maintenance, c'est dans ce sens que s'inscrit notre travail de recherche qui tente à analyser et modéliser la relation entre la maintenance et l'environnement.

Notre sujet de recherche propose ainsi, une maintenance saine qui répond aux exigences de la norme ISO 14001 puisque c'est la norme généralement utilisée par les entreprises

---

<sup>1</sup>Loi relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement. Loi n°11-03 promulguée par le dahir n°1-03-59 du 12 mai 2003

pour adopter un SME, et vise à intégrer le critère environnemental en maintenance à travers ses outils d'aide à la décision notamment l'AMDEC et LCC.

Cette thèse se compose de cinq chapitres. Nous avons consacré le premier chapitre au cadrage théorique des concepts liés aux l'environnement et le SME. Ainsi, ce chapitre vise à éclaircir les enjeux de la gestion environnementale à travers, une mise en évidence de la relation entre l'environnement et le trio « société, entreprise, et réglementation » et, la présentation d'une étude bibliographique sur les actions nationales et internationales multilatérales entre état en matière du respect de l'environnement. Afin de prolonger l'identification des risques environnementaux des entreprises, nous avons mené une analyse sur les aspects environnementaux des entreprises sur l'environnement au Maroc.

Ensuite, nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à définir ce que recouvrait exactement la mesure de la performance environnementale. Cette profonde présentation a mis en avant l'importance des notions d'indicateurs et de pilotage, et la nécessité de définir selon nos propres objectifs, les indicateurs de performance environnementale adaptés à la maintenance industrielle.

Le deuxième chapitre de notre étude bibliographique porte sur la maintenance, ses objectifs, ses politiques, ses stratégies et ses types. Nous avons présenté aussi une analyse théorique sur la mesure de performance de maintenance en soulignant la problématique de standardisation.

Ce chapitre aborde aussi, le concept de la maintenance verte, sa définition, et sa contribution durant toute la vie d'un matériel à la protection de l'environnement.

Durant le troisième chapitre, nous présentons une analyse et un modèle sur la relation «environnement - maintenance». Ce modèle permet d'illustrer, tout d'abord, l'impact de la maintenance industrielle sur l'amélioration de la gestion de l'environnement. Ensuite, les effets de la gestion de l'environnement sur la performance de la maintenance.

A l'issue des différentes études et analyses bibliographiques, nous proposons durant ce chapitre l'intégration de la dimension environnementale en maintenance à travers ses outils d'aide à la décision AMDEC et LCC. Nous allons commencer par l'intégration de la dimension environnementale dans la démarche AMDEC où nous allons tout d'abord

définir la démarche d'amélioration continue de la maintenance AMDEC et aborder la valeur ajoutée de notre proposition d'une AMDEC verte, puis détailler l'intégration de l'aspect environnemental dans cette démarche, enfin nous allons présenter l'application industrielle de cette intégration dans une fonderie marocaine. Nous poursuivons cette proposition par l'intégration de la dimension environnementale dans la méthode LCC où nous commençons par aborder le concept LCC et le cycle de vie, puis nous détaillons l'intégration de l'aspect environnemental dans cette méthode en mettant l'emphase sur les problèmes d'application de notre proposition.

Le quatrième chapitre est consacré à une expérimentation qualitative permettant d'expérimenter notre modèle à l'aide d'un questionnaire, qui a été traité par un échantillon de 30 répondants avec les différentes qualifications qui nous concernent dans le cadre de notre travail de recherche (responsable maintenance, responsable QSE, responsable production), auprès de 13PMEs certifiées ISO 14001 ou ayant un SME, dans des secteurs variés à savoir le secteur agro-alimentaire, le secteur de la construction automobile, le secteur d'emballage, le secteur d'énergie, le secteur d'agriculture et le secteur de la thermomécanique etc.

Le cinquième chapitre est consacré à une expérimentation quantitative à travers une étude de cas dans une PME agro-alimentaire certifiée ISO 14001, Nous tentons de valider, à travers cette expérimentation, nos hypothèses, ainsi que notre modèle.

Enfin, une conclusion générale avec la synthèse et les limites de recherche est abordée à la fin de la présente thèse.

### **Questions de recherche :**

Dans notre recherche nous essaierons de répondre à plusieurs questions:

1. le premier obstacle auquel nous nous heurtons lorsque nous analysons la relation existante entre la maintenance et l'environnement, est sémantique: si l'on peut partir d'une première définition de la maintenance comme « Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » (Norme AFNOR NF X 60-010) qu'entend-on exactement par « environnement » ?
2. Qu'est-ce qu'un système de management environnemental (SME) ?
3. Quelle est la relation entre la maintenance et un système de management environnemental ?

4. Pourquoi l'industrie et en particulier la fonction maintenance doit intégrer et respecter le critère environnemental dans son fonctionnement ?

5. Comment peut-on intégrer un système de management environnemental en maintenance ?

### **Hypothèses de recherche :**

- L'amélioration de la fonction maintenance au sein d'une industrie, contribue à la diminution des aspects environnementaux et améliore par conséquent les performances environnementales.
- La gestion environnementale contribue à l'amélioration de la gestion de la maintenance.

### **Contributions :**

Durant notre état de l'art qui représente les deux premiers chapitres, nous avons présenté trois communications, la première à la 5ème édition du Colloque International sur « Les Systèmes Industriels et Logistique », à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Marrakech en Octobre 2014 (Tajri H, El hammoumi M, Herrou B, 2014). La deuxième, à la première édition du Colloque International Pluridisciplinaire des doctorants, Sous le thème devenir un bon chercheur, à la faculté Polydisciplinaire de Tétouan, en Mars 2015, cette communication a été publiée dans un ouvrage collectif (Tajri H, Mohammed El hammoumi, Herrou B, 2015a). Et la troisième communication concerne la mesure de performance d'un système de management environnemental adaptée à la maintenance industrielle à la Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées (CPI), en décembre 2015, cette communication a été publiée également à HAL (Tajri H, El hammoumi M, Herrou B, 2015b).

Dans le même stade, nous avons présenté un poster au 1<sup>er</sup> forum des doctorants TICSM (Technologie de l'Information et de Communication, Système et Modélisation) à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, en décembre 2015.

Pour les trois derniers chapitres, où nous avons présenté notre modèle, son application qualitative et quantitative, ainsi que les propositions d'intégration du critère environnemental en maintenance notamment ses outils d'aide à la décision AMDEC et LCC, nous avons publié

deux articles le premier sur l'application quantitative du modèle dans une industrie agroalimentaire en 2017 (Tajri H, El hammoumi M, Herrou B, 2017), et le deuxième concerne l'application qualitative à l'aide d'un questionnaire, qui a été rempli par 30 répondants dans les domaines de maintenance, production et qualité environnementale, et qui travaillent dans 13 PME dans des secteurs variés. Nous avons présenté cette analyse dans un article qui a été publié dans un journal indexé Scopus, en 2018 (Tajri H, El hammoumi M, Herrou B, 2018).

En ce qui concerne notre proposition d'intégration de la dimension environnementale en maintenance et plus particulièrement dans l'outil d'aide à la décision de la maintenance l'AMDEC nous avons publié un article dans un journal qui a un facteur d'impact de 2.265 (Tajri H, El hammoumi M, Herrou B, 2015c).

# **Chapitre1 : soubassement théorique du concept de l'environnement et du SME**

## **I. Définitions et analyse des concepts clés: environnement, SME**

### **1. Définition de l'environnement**

Le champ de l'environnement provoque un questionnement sur son identification et les façons d'intégrer plusieurs sujets dans une même représentation, ainsi que les problèmes liés à ce champ.

L'environnement selon CABANNE, est l'ensemble des éléments naturels, artificiels, économiques, psychologiques et sociaux dans lequel se déroule la vie humaine (Cabanne C, 1984).

Cette définition donne une vision générale, mais peu précise, de l'environnement. Notre approche vise à intégrer l'environnement en milieu industriel et en particulier en maintenance à travers ses outils d'aide à la décision: la protection de l'environnement doit être prise en compte par les industries, à la demande des pouvoirs publics et citoyens ; il paraît intéressant dans un premier temps de se pencher sur la façon dont chacun des acteurs aborde l'environnement : si leurs conceptions de l'environnement sont différentes, la compréhension mutuelle sera difficile.

Le mot "environnement " est une traduction du terme anglais « environment » qui signifie milieu, cadre de vie. Il comprend l'ensemble des facteurs physiques et sociaux qui constituent le milieu et dont la combinaison exerce des effets positifs ou négatifs sur l'épanouissement des individus. Dans les villes où le cadre construit prédomine, le mot environnement fait d'abord référence aux aspects architecturaux, économiques et sociaux du milieu (p156/Lexique de géographie humaine et économique). L'environnement est également confondu avec « l'écologie'' inventé en 1988 par le biologiste allemand Ernst Haeckel, elle est définie comme "la science qui étudie les êtres vivants dans leur milieu et les interactions entre eux ».

L'écologie est un domaine scientifique autonome qui a fait de l'environnement son objet d'étude et de recherche. Cependant, l'environnement est un champ de problèmes et de questions.



On trouve une variété de définitions, qui sont pris de points de vue différents et selon la discipline de celui qui définit l'environnement (sociologie, la biologie, la chimie). A titre d'exemple, en voici quelques-unes :

«L'ensemble des facteurs biotiques (vivants) ou abiotiques (physico-chimiques) de l'habitat susceptibles d'avoir des effets directs ou indirects sur les êtres vivants, y compris sur l'homme» (Dictionnaire d'écologie, 1982).

Selon la littérature l'environnement est "l'ensemble des conditions naturelles (physique, chimique et biologiques) et culturelles dans lesquelles les organismes vivants (et en particulier l'homme) se développent"(le petit robert).

«Un système dynamique constitué d'éléments naturels et sociaux en interaction spatio-temporellement déterminés et culturellement significatifs» (Goffin L, 1992).

Dans la même vision (systémique, et culturelle) (Zamoun S, Tabutin D, Yakoubd A, 1995), nous retrouvons une définition similaire à la précédente :

«Un système dynamique composé de deux sphères ou sous-systèmes (les éléments naturels, les éléments humains) en interactions réciproques constantes et variables dans le temps et dans l'espace, selon les cultures».

Finissons ce diaporama de définition de l'environnement par la définition qui nous intéresse dans le cadre de notre recherche c'est celle de la norme ISO 14001 :2004 qui définit l'environnement comme «milieu dans lequel un organisme fonctionne, incluant l'air, l'eau, le sol, les ressources naturelles, la flore, la faune, les êtres humains et leurs interrelations».

L'environnement n'est pas une discipline scientifique particulière. C'est un champ d'études, de recherches, de réflexions dans lequel bien des sciences exactes (biologie, agronomie, physique...), des sciences humaines (économie, sociologie, démographie, géographie...) et juridiques peuvent intervenir. Il n'existe aucune discipline scientifique qui puisse à elle seule « revendiquer » l'environnement : la définition de l'environnement demeure complexe et provoque un conflit de discipline.

## 2. Mise en évidence des enjeux d'environnement

### 2.1 *L'évolution de la prise en compte de l'environnement à travers l'histoire.*

Depuis Hiroshima, l'être humain a pris conscience de sa capacité à s'autodétruire. Jusqu'aux années soixante, les questions liées à l'environnement sont reléguées au second plan. La gestion environnementale est pour l'essentiel sectorielle. Elles visent à lutter contre les pollutions localisées dans l'espace et dont les acteurs sont faciles à identifier (déchets, eaux etc.).

L'ensemble des impacts environnementaux à cette époque ne sont pas traités et parmi ces impacts (pollution atmosphérique et agricole), les risques technologiques; et ce ne sont que des effets positifs de la croissance et du progrès tant scientifiques que techniques qui sont mis au premier rang.

C'est au début des années soixante-dix que des changements vont s'opérer tant dans la prise de conscience que dans les débats de la médiatisation de grandes catastrophes écologiques occasionnées par les activités industrielles.

Cette prise de conscience à l'égard de la question environnementale par la population s'inscrit au sein d'inquiétudes de plus en plus prononcées dans les sociétés du Nord vis-à-vis des impacts négatifs de l'industrialisation.

Nous pouvons noter que cette prise de conscience environnementale semble moins intéressante que celle qui aura eu lieu dans les années 80. Une montée en puissance écologique qui va interpeller des chercheurs au sujet des limites de la croissance et l'environnement.

Des débats sur l'épuisement des ressources naturelles débutent à faire prendre conscience que les conditions actuelles de la croissance ne pourront se poursuivre de façon indéfinie.

Certaines institutions ont été mises en avant afin d'arrêter les prévisions selon lesquelles d'autres planètes ne seraient plus vivables, ni habitables à l'avenir donc il devient un impératif de préserver la terre.

Dans ce but, un équilibre serait possible pour conserver un niveau constant de la population et du capital avec la théorie Malthusienne : «croissance zéro».

Pour cela, un grand nombre de rapports et d'institutions vont se pencher sur cette question de préserver et d'assurer l'avenir.

Une première conférence a été élaboré à Stockholm en 1972 ou la Conférence des Nations unies sur l'Environnement humain (CNUEH) <sup>2</sup> sur la question environnementale et les stratégies du développement. À cette occasion, il a été reconnu la nécessité de gérer au mieux les ressources non-renouvelables, de protéger l'environnement et de mettre en place des systèmes de gouvernance nationaux et internationaux pour prendre en compte l'environnement. Ainsi, Les bases du développement durable étaient jetées et cette conférence fut appelée premier Sommet de la Terre.

Depuis, les conférences internationales sur le climat se sont succédé à un rythme de plus en plus élevé : conférence de Nairobi (1982), conférence de Rio (1992), conférence de Kyoto (1997) etc.

## ***2.2 Analyse de l'enjeu de la gestion environnemental par rapport au trio « société, entreprise & réglementation »***

Depuis plusieurs années, les problèmes d'environnement, représentent des enjeux croissants, importants, voire stratégiques pour l'entreprise la société et la réglementation :

### **a. Le management environnemental et la société**

L'attention croissante accordée aux problématiques environnementales est principalement issue de craintes initialement exprimées par les scientifiques. Il faut cependant noter que la prise de conscience et l'appropriation par la société dans son ensemble des questions environnementales furent relativement tardives. Aussi, les premières contestations par l'opinion publique, des effets les plus visibles de certaines pollutions locales n'apparurent réellement qu'au début des années 70. En suite, les deux crises pétrolières de 1973 et 1979 remirent en cause la légitimité des consommations insouciantes de ressources naturelles. Enfin, les accidents technologiques industrielles qualifiés de majeurs qui eurent lieu à la fin

---

<sup>2</sup> <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-conference-stockholm-7173/>

des années 70<sup>3</sup> et durant la décennie suivante firent des risques industriels un sujet de société majeur. Il faut souligner que les médias ont joué, en relayant ces informations un rôle très important dans la prise de conscience générale vis-à-vis de l'environnement (Jannin M, 2000).

Les organisations et leurs activités sont de plus en plus soumises au regard et au jugement du public, ce qui a eu pour effet de pousser ces dernières à devenir plus responsable socialement (Capron M, 2009).

La RSE est un concept qui s'est développé à partir des années 1990 dans une période marquée par une forte mondialisation .Elle propose ainsi de réorienter le système capitaliste en intégrant aux stratégies managériales des entreprises l'objectif de développement durable, et notamment les enjeux environnementaux, sociaux et humains. L'axe environnemental est ainsi l'un des piliers de la RSE, qui peut être définie comme étant la gestion, par une organisation, des impacts sociaux et environnementaux de ses activités sur la société, accompagnée d'un dialogue constant et bidirectionnel avec les parties intéressées (Capron M, 2009).

La société ces dernières décennies a en effet, opéré un profond changement de mentalités en faveur de la protection de l'environnement. En quelques années, l'intérêt pour les problématiques environnementales s'est popularisé, passant ainsi de pratiques associatives, personnelles relativement marginales à des comportements citoyens et de « Eco-consommation » quotidiens de tout un chacun spontanés ou encadrés par de véritables politiques nationales de lutte pour la préservation de l'environnement.

#### **b. Le management environnemental et l'entreprise**

Dans un contexte de concurrence croissant, les entreprises sont confrontées à l'émergence de nouveaux défis auxquels elles doivent être en mesure d'apporter une réponse pertinente. L'une des majeures problématiques actuelles est celle de la prise en compte de l'impact des activités industrielles sur l'environnement, la protection de l'environnement faisant l'objet de préoccupations croissantes dans le monde.

---

<sup>3</sup>1976 : accident d'une usine chimique au nord de l'Italie

1979 : accident sur un réacteur nucléaire au Etats-Unis.

1984 : accident survenu dans une filiale du groupe Union Carbide en Inde

1987 : Pollution majeur du Rhin suite à l'incendie d'une usine pharmaceutique

La dégradation des ressources naturelles associée aux activités économiques est un phénomène qui a pris une ampleur considérable à partir de la Révolution Industrielle. Les entreprises souffrent d'une image négative auprès du public, elles sont perçues comme des véritables responsables des catastrophes écologiques de plus en plus régulières dans les pays industrialisés, l'activité de production de biens comportant de nombreux aspects environnementaux qui ont par conséquent des impacts environnementaux négatifs.

Le terme « management environnemental » correspond à la mise en place, par une entreprise ou une collectivité, d'une organisation permettant d'identifier et de maîtriser les risques d'impacts d'une activité sur l'environnement.

Giraud, schématise le système de management environnemental au travers de la passation d'un « contrat » entre l'environnement et l'entreprise (Giraud S, 2002 ).

Ce « contrat » consiste à un échange de droits de propriété ou la création de nouvelles servitudes sur un ensemble de droits de propriété, ainsi, il permet une réappropriation par l'entreprise de son environnement naturel.

La force opératoire du « contrat » entre l'environnement et l'entreprise découle de la validation de la conformité de l'activité de l'entreprise au référentiel de la gestion environnementale, au travers de la certification.

Les entreprises qui s'engagent dans la démarche d'amélioration de management environnemental sont animées d'ambitions variées. Les principales motivations résident dans le souci de respecter la réglementation en vigueur, d'améliorer l'image de l'entreprise et ses relations avec les parties intéressées, de réaliser des économies ou encore d'accéder à de nouveaux marchés.

A partir de la décennie 1980, les Organisations Non Gouvernementales (ONG) font appel aux universités et aux centres de recherches pour élaborer de nouveaux outils permettant d'identifier le niveau de responsabilité des entreprises. Les recherches se concrétisent par la mise en place de normes internationales, de codes de bonne conduite des entreprises, de certifications, et de labels.

Plusieurs indicateurs permettent d'évaluer la responsabilité environnementale de l'entreprise, parmi eux, un est fondamental, car le plus utilisé, c'est la norme internationale NF : ISO 14001, ce référentiel fixe les principes du management environnemental auxquels

les entreprises sont libres d'adhérer ; l'entreprise qui s'engage à réduire les impacts environnementaux de son activité, obtient une certification délivrée par un organisme agréé, attestant de sa bonne gestion des enjeux environnementaux. Depuis la création de ce référentiel, un nombre croissant d'entreprises sont certifiées chaque année en management environnemental.

Dans ce cadre nous retrouvons plusieurs travaux de recherches qui analysent la relation entre le management environnementale et l'entreprise notamment ( (Salim H.K et al, 2018); (Surender K, Shivananda S, 2018); (Murmura F et al, 2018) ; (Castka, Balzarova MA, 2018); ( Mishra S, Siddiqui N. A, 2017), et le travail de recherche qui souligne les obstacles à l'adoption de la norme ISO 14001 dans le contexte africain (Yuriev A et Boiral O, 2017), aussi, les recherches qui portent sur la réduction des impacts environnementaux en agissant sur le système de production comme (Ding Z et al, 2018).

**c. Le management environnemental et la réglementation :**

Le développement du droit de l'environnement et l'importance sociale qui lui est accordée sont cependant des phénomènes récents, qui font suite notamment à de grandes catastrophes écologiques. Ainsi, le droit de l'environnement apparaît être un droit construit « en réaction » à des accidents emblématiques, tels que :

- Des marées noires (Torrey Canyon en 1967 ; l'Amoco Cadex en mars 1978 ; l'Exxon Valdez en mars 1989 ; l'Erika en 1999 ; le Prestige en 2002 ; Deepwater horizon en 2010, *etc*),
- Des accidents liés à la production d'énergie nucléaire (Three Miles Island en 1979 ; Tchernobyl en 1986 ; Fukushima Daiichi en 2011),
- Ou à l'industrie chimique (la pollution au mercure de la baie de Minamaté au Japon en 1959 ; le nuage de dioxine de Seveso en Italie en 1976 ; l'évacuation d'urgence en 1980 de la ville de Love canal aux Etats-Unis, construite sur une ancienne décharge de produits chimiques ; le nuage d'ixyanate de méthyle de l'usine de pesticide « Union Carbide » en 1984 à Bhopal en Inde ; l'incendie d'un entrepôt de pesticides de l'usine Sandoz en 1986, à Bâle en Allemagne ; l'explosion de l'usine AZF à Toulouse en 2001 ; la fuite de gaz de la plateforme d'Elgin de Total en mer du Nord en 2012, *etc.*).

Au niveau national, l'importance accordée à l'enjeu de la protection de l'environnement apparaît largement au travers de la constitutionnalisation de la charte Nationale de l'Environnement et de Développement Durable en 2009<sup>4</sup> et de la reconnaissance de l'environnement comme patrimoine commun de la nation.

Toujours dans le cadre de l'analyse des enjeux de la gestion environnementale, nous présentons un résumé sur les accords, les actions internationales multilatérales entre Etats, les lois et les normes d'environnement qui sont mis en place comme par exemple :

- Conférence de Stockholm de 1972 ou Conférence des Nations unies sur l'Environnement humain (CNUEH) : première conférence où l'environnement est devenu un enjeu majeur à l'échelle internationale. À cette occasion, il a été reconnu l'utilité de gérer au mieux les ressources non-renouvelables, de protéger l'environnement et de mettre en place des systèmes de gouvernance nationaux et internationaux pour préserver l'environnement.
- Conférence de Rio en 1992, connue sous le nom de Sommet "planète Terre" a adopté une déclaration qui a fait progresser le concept des droits et des responsabilités des pays dans le domaine de l'environnement.
- Protocole de Kyoto : protocole visant à réduire les effets du réchauffement climatique en limitant et réduisant certains gaz qui contribuent au réchauffement climatique signé le 11 décembre 1997, ratifié par 37 pays<sup>5</sup>.
- Protocole de Montréal : protocole qui vise à supprimer certains gaz contribuant à la destruction de la couche d'ozone agréé le 16 septembre 1987 et entré en vigueur le 1 janvier 1989<sup>6</sup>, ratifié par 197 pays.
- Etc.

Mise en place de directives et réglementations communautaires:

- Véhicule Hors d'Usage (VHU) : cette directive européenne (2000/53/CE du 18 septembre 2000) tente à imposer une conception de véhicule qui respecte plus l'environnement,

---

<sup>4</sup> <http://www.chartenvironnement.ma/>

<sup>5</sup> [www.commaissancedesenergies.org](http://www.commaissancedesenergies.org)

<sup>6</sup> <http://ozone.unep.org>

- “Energy-related Product” : cette directive européenne (2009/125/CE du 21 octobre 2009) tente à fournir un cadre pour à la conception et à l'écoconception de produits liés à l'énergie tout au long de son cycle de vie,
- Etc.

Mise en place de procédures dans les entreprises et collectivités :

- ISO 14001 : 2004 : système de management environnemental pour les entreprises,
- Global Reporting Initiative (GRI) : un guide pour les entreprises afin d'élaborer un système de management orienté vers un développement durable (GRI, 1997),
- Agenda 21 : approche pour le développement d'une action locale en faveur du programme de politique de développement durable (Agenda21, 1992),
- Etc.

Sensibilisation du public :

- Sensibilisation ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) via des spots publicitaires.
- Affichage environnemental : résultant de l'engagement 217 du « Grenelle de l'environnement », qui dit que les produits de grande consommation contiendront des informations concernant leur impact environnemental (AFNOR, 2011),
- Etc.

Au niveau national, Le Maroc a:

- Élaboré une Charte nationale globale de l'environnement, qui s'est décliné en loi-cadre n° 99-12, le Plan Maroc Vert, le Plan d'Investissement Vert, l'interdiction des OGM et la récente loi sur les déchets plastiques,
- Ratifié le Protocole de Kyoto en 2002 (MDP, 2004)
- Organisé à Marrakech La Cop 22 « Conference Of Parties » en 2016<sup>7</sup>,
- Ouvert les chantiers qui lui permettront de réaliser sa vision avec des objectifs quantifiés: augmenter la part des énergies renouvelables à 42 % et améliorer l'efficacité énergétique de 12% d'ici à 2020.  
En 2030, la part de l'énergie électrique produite à partir d'énergies renouvelables, atteindra 52%.

---

<sup>7</sup> <http://www.cop22.ma/fr/content/la-cop22-%C3%A0-marrakech%C2%A0-la-cop-de-l%E2%80%99action>



- Le projet marocain d'énergie éolienne vise à fournir, à l'horizon 2020, une capacité de 2000 MW, permettant une production annuelle équivalente à 26% de la production actuelle du Royaume, évitant ainsi l'émission de 5,6 millions de tonnes de CO2 par an.
- Le Programme « NOOR » prévoit la construction de 5 centrales solaires qui ont une capacité totale de 2000 MW à l'horizon 2020.
- Organisé également, le Forum Crans Montana (FCM), sous le thème : « l'Afrique et la coopération Sud-Sud : une meilleure gouvernance pour un développement économique et social durable », qui s'est tenu du 17 au 22 mars 2016 à Dakhla.

### *2.3 L'enjeu de la gestion du risque environnemental*

L'entreprise, source de bien être peut aussi être source d'impacts environnementaux avec les facteurs de pressions tels que la responsabilité juridique, les pressions commerciales et les pressions sociales (Les communautés, groupes environnementaux, les différents acteurs des entreprises (employés et actionnaires) et fournisseurs). Face aux dissensions politiques environnementales et à la pression populaire (ex : medias), elle est rendue responsable du droit à la sécurité et à la santé des parties intéressées (Barthélemy B, Courrèges P, 2004). Force est de constater que l'entreprise évolue en permanence dans un univers de risques souvent complexe, dynamique et hostile. Un risque d'entreprise peut aussi être défini comme «la menace qu'un évènement, une action ou une inaction affecte la capacité de l'entreprise à atteindre ses objectifs stratégiques et compromette la création de valeurs» ( Moreau F, 2002).

Le respect de l'environnement, devient peu à peu un des objectifs économiques. Il prend place dans les préoccupations des dirigeants et s'insère dans les systèmes de gestion et de communication de l'entreprise. (Barthélemy B, Courrèges P, 2004) Les priorités environnementales des entreprises varient selon les domaines, et ce, avec la prise en compte qu'elles en font. Les risques existent sous plusieurs formes: 1) financiers, 2) en gestion de projet, 3) dans les montages contractuels, 4) en sécurité industrielle, 5) en santé humaine et 6) environnementaux. Si l'intérêt pour le risque augmente dans la société, c'est parce que celle-ci, au cours des dernières décennies, s'est questionnée sur ses choix, dans une perspective de développement « durable ». Par ce biais, dangers et risques ne concernent plus seulement les individus (Wackennann G, 2004). Les risques environnementaux prennent de plus en plus

d'importance pour les entreprises, en raison de l'attention particulière que les citoyens et consommateurs portent à toutes les dégradations de leur environnement et au développement durable, Sous cet angle, le développement durable peut être considéré comme une nouvelle conception d'exploitation des ressources naturelles et renouvelables et qui permet selon la définition du Brundtland (Brundtland G H, 1987), de garantir les conditions de vie et de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre bien sûr ceux des générations futures, «la problématique environnementale en crise actuelle est incontournable» (Bouches N, 1997).

### **3. Définition du système de management environnemental (SME)**

À partir des années 1990, de nombreuses initiatives internationales et nationales ont conduit à l'émergence de nombreux référentiels d'aide à la mise en place d'un SME pour les entreprises.

Ceci explique certainement l'existence de nombreuses définitions concernant le SME.

Après en avoir rappelé quelques-unes parmi les plus fréquemment retenues dans la littérature, nous présenterons la définition que nous retenons dans le cadre de ce travail de recherche.

La norme internationale ISO 14001, le référentiel le plus utilisé par les entreprises (Reverdy T, 2005), définit le SME comme la « composante du système de management d'un organisme utilisée pour développer et mettre en œuvre sa politique environnementale et gérer ses aspects environnementaux. Un système de management est un ensemble d'éléments liés entre eux, utilisé pour établir une politique et des objectifs, et pour atteindre ces objectifs. Un système de management comprend la structure organisationnelle, les activités de planification, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources».

Le Règlement européen, permettant la participation volontaire des organisations à un système communautaire de management environnemental et d'audit (EMAS), définit le SME comme «la partie du système global de management qui comprend la structure organisationnelle, les activités de planification, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources pour développer, mettre en œuvre, réaliser, analyser et maintenir la politique environnementale».

Nous retrouvons de nombreux auteurs qui proposent des définitions du SME, notamment :

Pour Nash et Ehrenfeld, le SME peut ainsi être décrit comme un ensemble de « structures formelles de règles et de ressources que les dirigeants adoptent pour établir des routines organisationnelles afin de réaliser les buts environnementaux de l'organisation» (Nash J, Ehrenfeld J, 2001).

Aussi, Desmazes et Lafontaine définissent le SME, comme « une composante du système de management global dont l'objectif est de mettre en œuvre, évaluer et améliorer la politique environnementale » (Desmazes J, Lafontaine J-P, 2007).

Parmi l'ensemble des définitions des auteurs, celle retenue par Riedinger et Thévenot nous semble la plus claire et la plus complète : un système de management environnemental (SME) constitue un cadre dont le but est d'aider l'entreprise à connaître, puis à maîtriser les impacts environnementaux de ses activités, produits ou services, et à assurer l'amélioration continue des performances obtenues (Riedinger N , Thévenot C, 2008).

Le SME selon Boiral, tend à légitimer socialement l'action environnementale de l'entreprise. Il répond à un double objectif (Boiral O, 2009):

- Proposer dans un premier temps, des lignes directrices structurées, afin de favoriser la prise en compte de la problématique environnementale, et ce, de la direction organisationnelle de l'entreprise au niveau des opérationnels de terrain, et,
- Favoriser la reconnaissance des actions écologiques de l'entreprise à l'égard de ses parties intéressées.

Il est habituel de confondre la notion de SME avec son application par la norme ISO 14001, alors même qu'on a d'autres référentiels d'application de SME (par exemple : Le Règlement EMAS (*Eco-management and audit scheme*), l'association professionnelle de l'industrie chimique avec le « *Programme Responsible care* », ou encore les « *Principes de Valdez* » du CERES (*Coalition for environmentally responsible economies*)). Cette confusion s'explique

par le fait que la norme ISO 14001 est le modèle le « plus abouti, le mieux accepté et utilisé par les entreprises » (Norme ISO 14005:2010<sup>8</sup>).

#### 4. Aspects normatifs liés à un SME

##### 4.1 Présentation Du règlement EMAS

Le Règlement EMAS (*Eco-management and audit scheme*) n°1221/2009 du Parlement européen et du conseil du 25 novembre 2009 est une norme européenne également appelée Eco-Audit, créée pour encourager les organisations publiques ou privées implantées dans la Communauté ou en dehors de celle-ci, à s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue de leur performance environnementale.

EMAS établit un programme de gestion environnementale, basé sur des lignes et des principes harmonisés dans toute l'Union Européenne. Ce référentiel se base sur les lois nationales des États membres et constitue de ce fait un texte législatif, même si sa mise en œuvre demeure volontaire (Gendron C, 2004).

##### 4.2 Présentation de l'ISO 14001

La Norme ISO 14001, publiée en 1996<sup>9</sup> est un dispositif volontaire pour toutes entreprises qui souhaitent maîtriser les impacts de leurs activités sur l'environnement. Elle appartient à la série des normes ISO 14000 qui regroupe les normes environnementales. Elle est appliquée sur les aspects environnementaux que l'entreprise a identifié comme ceux qu'elle peut contrôler et ceux qu'elle peut influencer.

La révision de la norme en 2004 a clarifié la première édition et renforcé la compatibilité entre ISO 14001 et le système de gestion de la qualité ISO 9001, en particulier pour faciliter la gestion intégrée des questions environnementales, de qualité ou de SST « Santé Sécurité au Travail ». En octobre 2015, la dernière révision de la norme a été publiée renforçant, le rôle de la direction et intégrant l'analyse du cycle de vie dans les aspects environnementaux.

---

<sup>8</sup> Norme ISO 14005:2010 : *Systèmes de management environnemental — Lignes directrices pour la mise en application par phases d'un système de management environnemental, incluant l'utilisation d'une évaluation de performance environnementale*

<sup>9</sup> Norme ISO 14001 : 2004, *Systèmes de management environnemental Exigences et lignes directrices pour son utilisation*

La norme ISO 14001 est destinée à être applicable à tous les types et tailles d'organismes ainsi, tout ou une partie d'un organisme (processus ou activité). En pratique, le coût relativement élevé de la mise en place de ce système en termes humains et financiers, dissuade un grand nombre d'organisation, et surtout, sur le périmètre qui nous intéresse dans le cadre de notre recherche (celui des entreprises), les PME-PMI (Bourreau L, 2012). La norme est également destinée aux grandes entreprises qui souhaitent:

- Etablir, mettre en place, maintenir et améliorer un système de management environnemental,
- Vérifier leur conformité avec leur politique environnementale,
- Prouver leur conformité aux exigences de la norme.

Ce dernier point recouvre des méthodes de vérification de la conformité très variées. En effet, la démonstration de la conformité peut être réalisée au moyen d'une autoévaluation ou d'une auto-déclaration, ou encore d'un audit externe de certification. Elle peut également être orientée par la recherche d'informations stratégiques qui oriente la prise de décision en interne et/ou d'une confirmation de sa conformité à l'intention des parties intéressées (les clients, les investisseurs, *etc*).

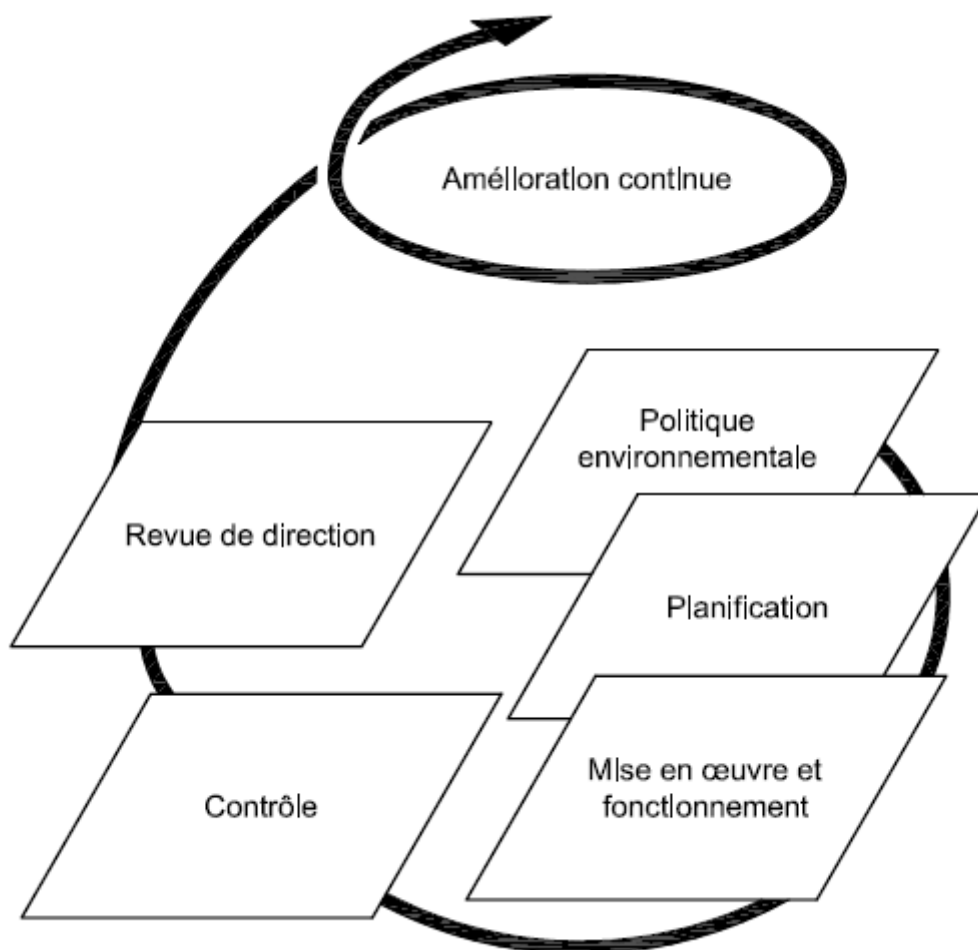
L'objectif déclaré de la norme ISO 14001 est d'équilibrer la protection de l'environnement ainsi que la prévention de toutes les sortes de pollution avec les nécessités « socio-économiques ».

La norme ISO 14001 est fondée sur les quatre principes fondamentaux du modèle «P.D.C.A.», «*Plan-Do-Check-Act*». Ces différents principes correspondent à :

- Planifier (*Plan*): définition d'une politique environnementale, et détermination des objectifs et processus nécessaires pour obtenir des résultats conformes à la politique environnementale de l'organisation.
- Mettre en œuvre (*Do*): Exécuter et mettre en place les processus.
- Contrôler (*Check*): piloter, mesurer les processus et comparer avec la politique environnementale, les objectifs, les prévisions, les exigences légales etc., et rendre compte des résultats.

- Agir (*Act*): mener des actions pour corriger et améliorer en permanence la performance du système de management environnemental.

La figure suivante, représente les différents principes du PDCA dans une boucle d'amélioration continue ou « Roue de Deming ».



**Figure 1 : Modèle de système de management environnemental pour la Norme ISO 14001**

(Source : Norme ISO 14001 : 2004, *Systèmes de management environnemental Exigences et lignes directrices pour son utilisation*, p.11)

Ce modèle de progrès doit s'intégrer de façon continue dans l'optimisation de la gestion de la maintenance et plus particulièrement dans l'analyse de la pertinence des interventions

de maintenance préventive, afin de maximiser la disponibilité des équipements et réduire au maximum ses coûts d'exploitation.

#### *4.3 Différences entre EMAS et ISO 14001*

Différents types de référentiels d'aide à la mise en œuvre de SME pour les entreprises sont utilisés cependant, Il existe deux référentiels de Systèmes de management environnemental, actuellement reconnus : la Norme ISO 14 001 et le Règlement Européen Eco-Audit «EMAS». Le Règlement EMAS étant antérieur à la norme ISO 14 001, cette dernière s'en inspire largement, même si les deux référentiels restent spécifiques et distincts.

Les deux standards sont proches par leurs exigences<sup>10</sup> mais diffèrent du point de vue de leur application. L'un est reconnu au niveau international, l'autre est limité à la Communauté Européenne, d'ailleurs, l'ISO 14001 s'adresse à « tout organisme » alors que EMAS a été proposé aux entreprises du secteur industriel dès 1995, il était à l'époque limité aux entreprises du secteur industriel, depuis 2001, EMAS est disponible pour tous les secteurs de l'économie. Il existe de nombreuses différences de vocabulaire, certification pour l'un, enregistrement pour l'autre. Aussi, EMAS insiste davantage sur la transparence vis-à-vis les parties intéressées et cela se traduit par l'exigence de publication d'une « Déclaration des Performances Environnementales » une fois par an, comprenant une description de l'organisation, ces activités, la politique environnementale engagée, la présentation de ses impacts environnementaux ainsi que les objectifs fixés et les résultats escomptés (Reverdy T, 2005).

Les deux référentiels se sont progressivement démarqués l'un de l'autre, mais en raison de son caractère international et de sa très large reconnaissance, la norme ISO 14001 s'est assez rapidement substituée. Ainsi, à partir de la fin des années 1990, la norme ISO 14001 est devenue le modèle de référence dans la plupart des grandes entreprises de divers secteurs d'activités, si bien que le concept de « référentiels d'aide à la mise en œuvre de SME » est parfois implicitement associé à cette norme (Halley P, Boiral, O, 2008).

Nous présentons ci-dessous des chiffres statistiques sur le nombre d'entreprises certifiées ISO 14001 à travers le monde (voir figure n°2).

---

<sup>10</sup> [https://www.belgium.be/fr/environnement/consommation\\_durable/labels\\_ecologiques/emas](https://www.belgium.be/fr/environnement/consommation_durable/labels_ecologiques/emas)

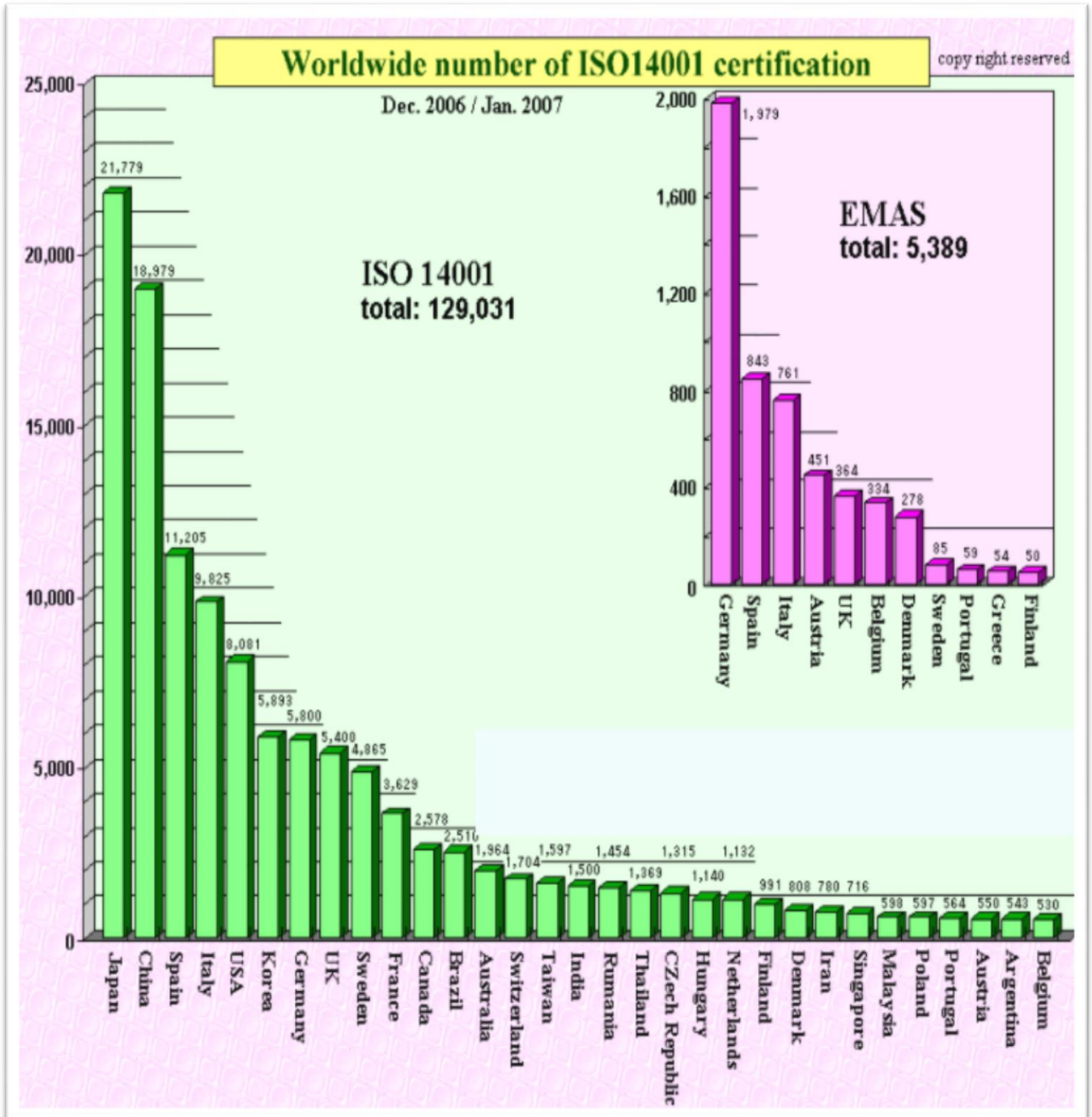


Figure 2 : Statistiques sur les certifications<sup>11</sup> ISO 14001 et EMAS

<sup>11</sup> Source : <http://www.ecology.or.jp/isoworld/english/analy14k.htm>



Ces statistiques confirment que le phénomène d'adhésion des entreprises à des SME se base essentiellement sur la norme ISO 14001<sup>12</sup>. C'est pourquoi tous nos réflexions et nos recherches menées dans le cadre de ce présent travail seront basées sur ce référentiel.

## **5. Les aspects environnementaux provenant des industries**

Les aspects environnementaux qui proviennent de l'industrie ont un impact sur l'air, l'eau et le sol.

### **5.1. Les aspects environnementaux sur l'air<sup>13</sup>**

Le tissu industriel marocain est composé de plus de 7900 unités dont 34% sont situées dans le Grand Casablanca.

Les installations industrielles comprennent les industries chimiques et para-chimiques, les industries du textile et de cuir, les industries agroalimentaires, les industries électriques et électroniques, les industries métalliques et métallurgiques. En ce qui concerne les installations d'énergie, ils sont les centrales thermiques et raffineries de produits pétroliers.

D'un autre côté, les types de combustibles utilisés dans ces industries sont très riches en soufre (cas du fuel et du charbon).

### **5.2. Les aspects environnementaux sur l'eau<sup>14</sup>**

Le milieu marin est le récepteur principal des déchets et des rejets industriels puisque le nombre des industries concentrées sur la côte dépasse 80% du nombre total des industries au Maroc. Les rejets industriels de JorfLasfar, de safi, de Mohammedia et de la région de Ain Sbeaa Sidi Bernoussi représente un réel danger et une source de contamination par les métaux lourds, tels que le cadmium, le plomb et le mercure dont l'impact négatif sur la biodiversité du milieu marin est très significatif.

La pollution marine est également aggravée par des accidents causés par activités des industries installées au long du littoral. Citons dans ce sens, le déversement de pétrole au large de Mohammedia qui a provoqué une marée noire de trois km<sup>2</sup> et qui a atteint

---

<sup>12</sup> <http://www.ecology.or.jp/isoworld/english/analy14k.htm>

<sup>13</sup> Secrétariat d'Etat auprès de la Ministre de l'Energie, des mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement- Département de l'Environnement

<sup>14</sup> Idem

les bords de Bouznika. Également, 550 tonnes d'acide phosphorique ont été déversées dans le port de Jorf Lasfar, à cause d'une défaillance au niveau des installations de l'usine Maroc Phosphore. Et ces derniers, montre le rôle de la fonction maintenance pour la protection contre ces accidents sources de toute dégradation d'environnement.

**Tableau 1 : rejets liquides<sup>15</sup> par branche industrielle(Mm3)**

<b>Branche d'industrie</b>	<b>Rejets liquides industrielles (Mm<sup>3</sup>)</b>
<b>chimique et para-chimique</b>	931
<b>textile et cuir</b>	16.5
<b>agro-alimentaire</b>	40.7
<b>mécanique, métallurgique et électrique</b>	0.2

**Tableau 2 : déchets industriels<sup>16</sup> dangereux(t/an)**

<b>Déchets industriels dangereux</b>	<b>256 000t/an</b>
<b>Secteur de chimie-parachimie</b>	40%
<b>Secteur textile-cuir</b>	33%

### 5.3. Les aspects environnementaux sur le sol

Les principaux polluants du sol provenant de l'industrie<sup>17</sup> :

- Les métaux lourds (arsenic, chrome, cuivre, cadmium, mercure, nickel, plomb, zinc...)
- Les hydrocarbures (essences, fioul, huiles...)
- Les solvants chlorés ou aromatiques
- Les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides).

Les formes de pollution des sols sont :

<sup>15</sup>Idem

<sup>16</sup>Source: Secrétariat d'Etat auprès de la Ministre de l'Energie, des mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement- Département de l'Environnement

<sup>17</sup> <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/sante-environnement/pollution-du-sol.html>

**a.** La pollution diffuse

Elle concerne une large superficie. Elle peut être due aux pratiques agricoles telles que l'épandage ou aux retombées atmosphériques d'origine urbaine, industrielle ou routière : radio nucléides provenant du nucléaire, anhydrides sulfureux ou oxyde d'azote contribuant à l'acidification des sols, métaux lourds causant la mort des racines<sup>18</sup>.

**b.** La pollution ponctuelle

Elle reste très localisée et intense. Elle est liée à des sites industriels, des dépôts de déchets ou à d'autres sites pollués de manière chronique ou accidentelle (solvants organiques industriels, métaux lourds, hydrocarbures, benzène)<sup>19</sup>.

## **6. Mesure de performance d'un système de management environnemental (PSME)**

Au cours des dernières années, la majorité des entreprises ont pris conscience de la nécessité de développer un outil pour évaluer leur performance environnementale : « il est difficile de gérer ce qui n'est pas mesuré (Berrah L, 2013)».

De nombreuses études ont suggéré que maintenant une évaluation correcte de la performance économique devrait également intégrer les coûts résultant de l'environnement, de dégradation ou de l'amélioration de l'environnement ( (Taskin F et al, 2000), (Färe R et al, 2000), (Zaim O et al, 2000), (Zaim O , 2004), ( Schaltegger S et Synnestvedt T, 2002)).

### **6.1 Définition de la performance des systèmes de management environnemental (PSME)**

La notion de la performance du SME est généralement reliée à celle de la performance environnementale (Bourreau L, 2012).

À partir des années 80, La performance a toujours été considérée comme un concept ambigu. De nombreux chercheurs ont tenté de la définir ( (Bouquin H, 1986), (Bescos P et al, 1993), (Bourguignon A, 1995), (Lebas M, 1995), (Bessire D, 1999), etc.), et dernièrement, cette notion est devenue excessivement utilisée à cause de l'apparition des concepts tels

---

<sup>18</sup> <http://www.caue-martinique.com/media/fichepr-11-pollution-des-sols.pdf>

<sup>19</sup> *Idem*

que la RSE (La responsabilité sociétale des entreprises) et les parties intéressées. La performance environnementale, est un concept vague en grande partie, ambigu, contingent, ainsi, source d'interprétations subjectives (Janicot L, 2007). La Norme ISO 14001 la définit brièvement comme " les résultats mesurables du management des aspect environnementaux".

Cependant, cette définition apparaît insuffisante pour comprendre avec précision ce que recouvre la Performance Environnementale.

Ainsi, elle se définit comme : « les résultats mesurables du système de management environnemental (SME), en relation avec la maîtrise par l'organisme de ses aspects environnementaux sur la base de sa politique environnementale, de ses objectifs et cibles environnementaux. » (Norme ISO 14031, 1999, p. 2). La performance dépend de la politique environnementale qui est par définition unique, donc, c'est une notion contingente à chaque entreprise. En effet, cette politique tient compte de la mission, le secteur, des conditions locales et régionales propres à chaque entreprise ainsi que des exigences de ses parties intéressées (Gendron C, 2004).

Selon Dias-Sardinha, la performance environnementale peut avoir six objectifs notamment : le respect des lois, la prévention de la pollution, l'éco-efficacité, l'éco-innovation, l'éco-éthique et la durabilité (Dias-Sardinha I. et al, 2002 ).

La performance pour Lebas existe seulement s'il y a la possibilité de la mesurer et cette mesure n'est pas limitée à la connaissance d'un résultat (Lebas M, 1995). Il est donc nécessaire d'évaluer les résultats obtenus en les comparants aux résultats souhaités ou standards, ou à des normes (Bouquin H, 2004).

## ***6.2 Définition d'indicateur de performance environnementale***

L'indicateur de performance est défini par la Commission Indicateur de performance de l'Association Française de Gestion Industrielle (homologuée par l'AFNOR) comme «une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité et/ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé, accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise » (Berrah L, 2002).

Citons dans ce sens, une définition identique anglo-saxonne “*A performance indicator is a variable indicating the effectiveness and/or efficiency of a part or whole of the process or system against a given norm / target or plan*” (Fortuin L, 1988).

L'indicateur de performance avec l'aspect environnementale peut être défini comme, « Des grandeurs, établies à partir de quantités observables ou calculables, reflétant de diverses façons possibles les impacts sur l'environnement occasionnés par une activité donnée » (Tyteca D, 2002).

Il existe plusieurs types d'indicateurs (Berrah L, 2002). Ainsi la sélection de l'indicateur le plus approprié demeure une tâche très difficile. Ces indicateurs varient en fonction du système qui fait l'objet étudié et du niveau de pilotage, de la logique d'amélioration continue de l'entreprise, du niveau du destinataire visé, du nombre de variables d'action (indicateur simple ou complexe), du positionnement du pouvoir de décision (Berrah L, 2002), *etc.*

Enfin, pour juger qu'un indicateur est bon, il doit couvrir de nombreuses caractéristiques (Berland N, 2009), en particulier que l'indicateur soit objectif (indépendant de l'interprétation du gestionnaire ou de l'instrument de mesure), quantifiable, fidèle aux réponses données (cette caractéristique est liée à la précision de la définition des éléments constitutifs de l'indicateur ainsi de la rigueur des procédures de traitement de l'information), simple et compréhensible (la méthode de calcul de l'indicateur doit être comprise et bien assimilée par ceux qui calculent l'indicateur), sensible (sensible au phénomène qu'il est censé mesurer).

Ce paragraphe permet d'apprécier la difficulté qui se pose lors de la sélection d'un indicateur de performance pertinent ainsi, laisse pressentir les enjeux de la définition d'indicateurs de performance efficace et simples dans le cadre du management environnemental.

Un autre concept mérite d'être abordé, celui de tableau de bord.

### **6.3 Définition de tableau de bord SME**

Le TDB (*tableau de bord*) « est un ensemble d'indicateurs peu nombreux (cinq à dix) conçus pour permettre aux gestionnaires de prendre connaissance de l'état et de l'évolution des systèmes qu'ils pilotent et d'identifier les tendances qui les influenceront sur un horizon

cohérent avec leurs fonctions » (Bouquin H, 2001). Ainsi, selon Berland, un TDB contient des indicateurs et des informations utiles au pilotage de l'entreprise et à la déclinaison de sa stratégie d'une manière structurée (Berland N, 2009). Le même auteur ajoute que le TDB renvoie des images reflétant le fonctionnement de l'organisation, et ces images sont alors traduites par le gestionnaire.

Les TDB sont généralement classés en trois groupes de familles (Bourreau L, 2012):

- Stratégiques : orientés vers la description globale des résultats dans une perspective à long terme,
- Tactiques : orientés vers la description de la performance des activités à moyen terme, ainsi représentent le premier niveau pour une analyse stratégique,
- Opérationnels : assurent un pilotage des processus dans une perspective à court terme.

## *6.4 cadrage de l'évaluation de la performance environnementale*

### 6.4.1 Problématique de standardisation de méthodologie

Les outils de mesure de la performance de SME sont nombreux et contingents car ils sont basés sur la mesure de la performance environnementale de l'entreprise et sur l'identification d'indicateurs représentatifs de la réalité du SME de l'entreprise qui est par définition particulier et spécifique.

L'aspect de particularisme de l'outil de mesure de PSME, constitue une source de plusieurs difficultés dans la pratique.

La donnée environnementale exige de prendre en considération la condition géographique, locale, et quand on fait la comparaison des performances de systèmes qui n'ont pas cette même condition, on se trouve devant une situation délicate. Par exemple, au sein d'une même entreprise comportant plusieurs établissements répartis sur des sites différents, la comparaison des performances de leur SME sera extrêmement difficile (Mortgat B, 2002), même si que ces sites appartiennent au même système, donc ils ont la même nature d'activités, cette dernière engendre la similitude des impacts, et la nature de leurs parties intéressées, cependant, les exigences règlementaires qui les impactent diffèrent.

Ainsi, les différents degrés de maturation du SME aggravent la difficulté de la comparaison de performance des systèmes qui se trouvent à des stades de développements distincts et qui poursuivent des objectifs aussi différents (Bourreau L, 2012).

Outre ces facteurs de difficulté, la mesure de la PSME est en pratique une mission difficile, qui demande un certain niveau d'expertise environnementale, ainsi, en ce qui concerne la manipulation des outils de mesure de la conformité réglementaire de l'entreprise. En effet, dans la plupart des cas, cette mission est réalisée soit par des cabinets spécialisés et/ou par des acteurs internes de l'entreprise connaissant parfaitement les activités et les processus productifs, de l'entreprise (Bourreau L, 2012).

En fin, Les difficultés qui entourent la mesure ou l'évaluation de la PSME ne sont pas forcément liées à la compétence des acteurs chargés de la mettre en place, mais plutôt à la diversité des outils et méthodes utilisés au niveau des différents sites d'une même entreprise.

La plupart des entreprises du CAC40, ont mis en place des systèmes d'évaluation de la performance environnementale et présentent un *reporting* parmi leur rapport annuel. Si la majorité des ces indicateurs utilisés provient de l'initiative GRI (Global *Reporting Initiative*), il y a d'autres supports méthodologiques (André S, 2009) auxquels peuvent recourir les entreprises, et notamment:

- La norme ISO 14031 : 1999 et la norme 14005 : 2010 proposent des critères de performance ainsi que des indicateurs pour la construction d'un *reporting*<sup>20</sup> pour les entreprises. L'évaluation de la PSME peut être mesurée en utilisant deux catégories d'indicateurs: les indicateurs de performance environnementale (IPE) et les indicateurs de condition environnementale (ICE). Dans la catégorie des IPE, nous retrouvons deux types d'indicateurs : les indicateurs de performance de management (IPM) qui offrent des informations sur les efforts de la direction afin d'influencer la performance environnementale de l'activité de l'entreprise et les indicateurs de performance opérationnelle (IPO) qui fournissent

---

<sup>20</sup> Norme ISO 14031 : 1999 – *Management environnemental – Evaluation de la performance environnementale*, p.8 ; Norme ISO 14005 : 2010, *Systèmes de management environnemental – Lignes directrices pour la mise en application par phases d'un système de management environnemental, incluant l'utilisation d'une évaluation de performance environnementale*

des informations sur la performance environnementale des processus de l'entreprise. Dans la seconde catégorie, les ICE représentent des informations en relation avec la condition locale, régionale, nationale ou mondiale de l'environnement.

- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) : l'initiative mondiale qui porte sur l'élaboration des rapports de performance environnementale et qui vise à offrir un modèle de *reporting* sur le développement durable, répertorier ces rapports et les évaluer. (PNUE, 21).
- GRI (Global Reporting Initiative) créée en 1997 et soutenue par les Nations Unies, est une ONG qui publie des lignes directrices pour l'élaboration des rapports de développement durable et des indicateurs relatifs à l'environnement, aussi, des adaptations de ces indicateurs en fonction des conditions réelles des entreprises (GRI, 2006).

Ainsi, nous retrouvons de nombreux autres outils et recherches qui offrent des lignes directrices pour la construction du *reporting*, citons par exemple :

- L'ONG américaine CERES<sup>21</sup> (créée en 1989) qui propose des lignes directrices pour l'élaboration des rapports environnementaux, et qui fournit aussi, des lignes directrices spécifiques relatives aux secteurs financiers (*Financial services form*),
- Les guides sectorielles, et nous retrouvons dans ce sens ceux du « *responsible care* » publiés par l'industrie chimique,
- Citons ainsi, ( (André S, 2009), (Bourreau L, 2012), (Cikankowitz A, 2008), (Vincent C, 2004 ) dans le cadre de leurs thèses, proposent des méthodes d'évaluation de la performance des systèmes de management environnemental ainsi, (Hubbard G, 2009), (Färe R et al, 2000), (Zhou P et al, 2008), (Zhou P et al, 2007), qui ont proposé des méthodes de mesure de performance environnementale etc.
- Les guides d'évaluation de performance environnementale comme : (ADEME , 2007), etc.

Les entreprises possèdent de nombreux guides et outils méthodologiques afin d'élaborer leurs rapports environnementaux. Mais, cette diversité de choix méthodologiques ne fait qu'illustrer la difficulté pratique rencontrée par les entreprises pour définir et élaborer

---

<sup>21</sup> [www.Ceres.org](http://www.Ceres.org)



des indicateurs adéquats, clairs et valables notamment en raison des difficultés précédemment évoquées concernant les outils de mesure utilisés comme base de *reporting*.

#### 6.4.2 La relation « processus de mesure de la PSME & l'amélioration continue »

Les Système de management environnemental SME s'appuient sur le principe de l'amélioration continue des système de gestion de l'environnement (ISO 14001 :2004).

Ainsi, les processus de mesure de la PSME s'inscrit pleinement dans la logique PDCA (Plan Do Check Act). En fait, en reprenant les différentes dimensions du SME, nous observons que celui-ci se base sur les différents processus de mesure de la PSME (Bourreau L, 2012):

- La première dimension du SME, est équivalente à la définition de l'état initial ce qui correspond à l'analyse environnementale (AE) (globalement: identification des Aspects Environnementaux Significatif (AES) et les Impacts Environnementaux Significatif (IES), ainsi que l'analyse de conformité),
- La deuxième dimension du SME est équivalente à l'évaluation des pratiques de l'entreprise en vue des exigences environnementales (soit règlementaires, ou normatives, internes, etc.) l'impactant: correspond à l'évaluation de la conformité,
- La troisième dimension du SME est équivalente à l'identification des écarts de conformité et des points à améliorer : correspond à la planification des actions fondées sur l'évaluation de la conformité et des objectifs ainsi que les cibles en se basant sur l'AE et l' identification des AES et IES,
- La quatrième dimension du SME est équivalente à la revue du SME dans le cadre de l'amélioration continue : ceci correspond à la définition des indicateurs adéquats fondés sur les processus d'évaluation environnementale précédents, l'audit environnemental, et le plan d'actions.
- La dimension de continuité du SME - l'amélioration continue de la PE de l'entreprise : cette dimension se base sur la mise à jour de l'état de l'existant initial, à savoir l'actualisation des AE (AES/IES), de l'analyse de conformité, et des évaluations de conformité et la définition d'un nouveau plan d'actions, et enfin la mise à jour et la revue des indicateurs.

### 6.4.3 Définition de Processus de mesure PE

La norme internationale ISO 14031 : 1999 définit le processus de mesure de performance environnementale comme un « processus visant à appuyer les décisions de la direction pour établir la performance environnementale d'un organisme et qui comprend le choix des indicateurs, le recueil et l'analyse de données, l'évaluation des informations par rapport aux critères de performance environnementale, les rapports et modes de communication, la revue périodique et l'amélioration continue de ce processus ».

La mesure de la PSME vise à décrire la situation environnementale de l'entreprise pour offrir à cette dernière les clefs pour comprendre les principaux enjeux environnementaux qui lui sont imposés et enfin au travers de cette grille de lecture pour être en mesure de prendre les décisions stratégiques pour atteindre les objectifs qu'elle s'est fixée.

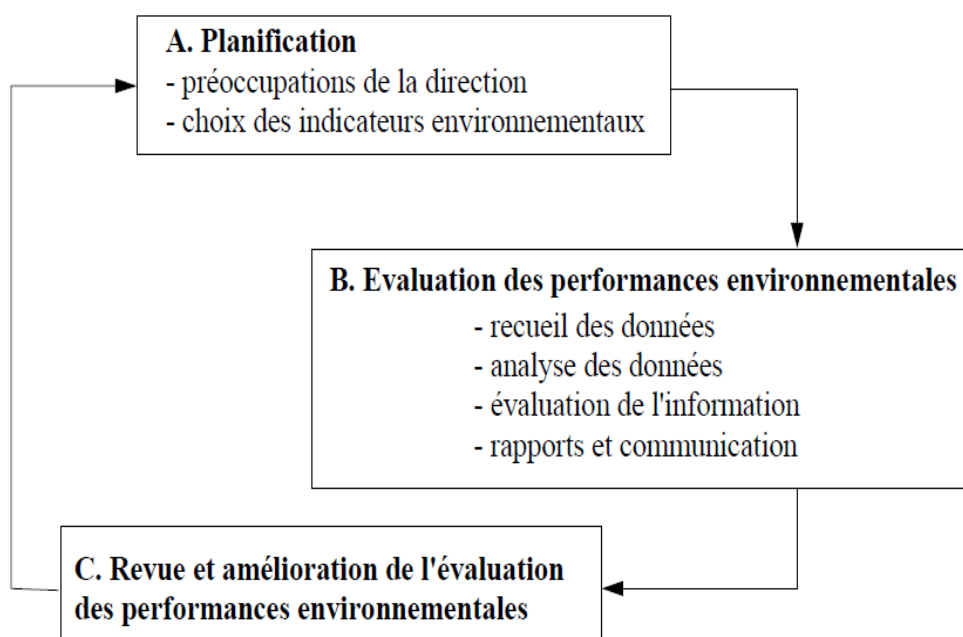


Figure 3 : L'évaluation environnementale selon ISO 14031 :1999

### 6.5 Les indicateurs environnementaux adaptés à la maintenance

Plusieurs listes et classifications des indicateurs selon des thèmes environnementaux coexistent (code d'environnement, (OECD, 1994), (World Bank, 1992)...), citons dans ce sens (IFEN, 1997), et (GRI, 2006), qui classent globalement les thèmes environnementaux comme suit:

- La consommation d'éléments entrants : matières premières, l'énergie, l'eau,
- La production d'éléments sortants : émissions, effluents, déchets,
- La performance relative à la biodiversité, au respect des textes environnementaux et autres informations pertinentes telles que les dépenses environnementales et les impacts des produits et services.

Les recherches qui portent sur l'élaboration du *reporting* sont excessifs ( (Berrah L, 1997), (Bourreau L, 2012), (André S, 2009), (Cikankowitz A, 2008), (Vincent C, 2004 ),etc.), cependant, ces indicateurs sont généraux, destinés à refléter l'état globale de la performance environnementale de l'entreprise sans prendre en considération le type, la nature, ou le secteur du système qui fait l'objet d'analyse environnementale, le système dans notre cas représente la relation entre la maintenance industrielle et l'environnement. Nos indicateurs sont destinés à mesurer l'impact de la gestion de la maintenance sur l'environnement (voir figure 4).

En effet, le système de production au sein d'une industrie constitue la source principale de la pollution de l'atmosphère, de l'eau et de sol, ainsi le premier responsable de la consommation de matière et d'énergie (Chouikhi H, 2012). Donc, l'amélioration de la gestion environnementale au sein d'une industrie revient à agir sur son système de production en améliorant sa gestion de la maintenance (Beit M, 2004) (voir figure ci-dessous).

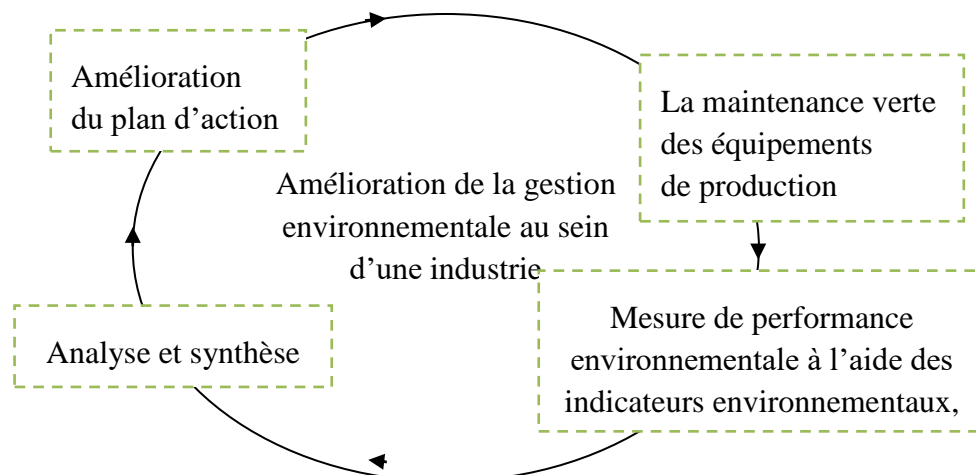


Figure 4 : Amélioration de la gestion environnementale par la gestion de la maintenance.

C'est pour cela que nous nous contentons pour notre cas de rechercher juste des indicateurs environnementaux reflétant l'efficacité verte, et durable du système de production grâce à une maintenance verte, Nous nous sommes basés sur GRI pour définir nos indicateurs environnementaux personnalisés et relatifs à la maintenance industrielle :

- Consommation de matières en poids ou en volume dans un système de production.
- Matière économisée grâce à la gestion de maintenance.
- Consommation d'énergie dans un système de production (consommation totale et par machine).
- Energie économisée grâce à l'efficacité énergétique par la gestion de la maintenance
- Initiatives pour réduire la consommation d'énergie pour le système de production (exemple : un plan de maintenance préventive verte qui vise à éviter la surconsommation d'énergie)
- Emissions totales, directes ou indirectes, de gaz à effet de serre, en poids (teq CO2).
- Autres émissions indirectes pertinentes de gaz à effet de serre en poids (teq CO2).
- Initiatives pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et réductions obtenues (un plan d'action dans le cadre d'une gestion de la maintenance verte sur le système de production qui a pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre) .
- Emissions de substances appauvrissant la couche d'ozone, en poids.
- Emissions de NOx, SOx et autres émissions significatives dans l'air par type et par poids.
- Total des rejets dans l'eau, par type et par destination.
- Masse totale de déchets, par type et par mode de traitement.
- Identification, taille, statut de protection et valeur de biodiversité des sources d'approvisionnement en eau et de leur touchés par l'évacuation et le ruissellement des eaux de l'organisation.
- Initiatives pour réduire les impacts environnementaux des produits et du système de production (exemple : action préventive pour réduire les nuisances sonore).
- Montant des amendes significatives et nombre total de sanctions non pécuniaires pour non-respect des législations et des réglementations en matière d'environnement.

- Total des dépenses et des investissements en matière de protection de l'environnement, par type (exp : formation du personnel du service maintenance et/ou production en matière d'environnement).

### 6.6 Exemple d'indicateurs environnementaux dans une industrie marocaine

Afin de clarifier notre proposition qui reflète l'impact de la gestion de la maintenance industrielle sur l'amélioration des résultats des indicateurs environnementaux, nous présentons un exemple pratique d'une partie d'un *reporting* dans une industrie agroalimentaire marocaine de boisson gazeuse X.

Le tableau n°3 présente quelques indicateurs de performance environnementale, leurs fréquences de mesure, ainsi que les objectifs fixés par l'entreprise X.

**Tableau 3: Les indicateurs de performance environnementale de l'entreprise X**

<b>Indicateurs de performance</b>	<b>Définition</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Objectifs 2014</b>
<b>Cons. Eau</b>	Consommation d'eau/Production moyenne	Mensuel	Inférieur à 6,5 hl/hl
<b>Cons. Electricité</b>	Consommation d'électricité/Production moyenne	Mensuel	Inférieur à 12,5 kwh/hl
<b>Cons. Fuel</b>	Consommation fuel/Production moyenne	Mensuel	Inférieur à 3,2 kg/hl

Le tableau n°4 représente les mesures des indicateurs de performance environnementaux sur une année. Ce tableau reflète des écarts négatifs par rapport aux objectifs fixés, dans les mois de juin, juillet, août et septembre.

**Tableau 4: Mesures des indicateurs de performance environnementale chez l'entreprise X**

Indicateurs	Objf 2014	Réalizations											
		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Cons. Eau</b>	< 6,5	5.89	5.98	6.2	6.19	6.29	<b>7.5</b>	<b>6.95</b>	<b>6.95</b>	<b>7.33</b>	6.33	6.29	
<b>Cons. Electricité</b>	< 12,5	11.4	12	11.5	11.1	11.2	<b>15.2</b>	<b>54.7</b>	<b>15.43</b>	11.55	10.8	10.6	
<b>Cons. Fuel</b>	<3,2	3.29	3.47	3.15	3.28	3.01	<b>3.34</b>	<b>3.47</b>	<b>3.34</b>	3.11	3.27	2.24	

Une analyse des causes des dépassements est effectuée (en utilisant la méthode 5M) par le responsable QSE, le responsable production et le responsable maintenance qui ont constaté que ces écarts observés (pour l'eau et le fuel) résultent à des non-conformités Machine et qui doivent être réglées par le service maintenance. La conclusion de cette analyse est représentée dans le tableau n°5.

**Tableau 5: Analyse des causes des dépassements**

Indicateurs	Cons /max due au disfonctionnement	Défaut	Action	Origine de la défaillance
<b>Cons .Eau</b>	7.33	Fuite au niveau de la laveuse	Commande pièces de rechange et élimination de la fuite	Problème de maintenance
<b>Cons. Fuel</b>	3,47	Pannes chaudière-basculement entre les deux chaudières	Réglage chaudières	Problème de maintenance

Après un ensemble d'interventions du service maintenance nous constatons que les résultats des indicateurs ont été améliorés dans les mois qui suivent. Ces améliorations peuvent être représentées comme de nouveaux indicateurs comme j'ai décrit auparavant (paragraphe 6.5):

- Indicateur 1 : « Matière économisée grâce à la gestion de maintenance » que nous proposons de le calculer comme suit :

$$\text{Indicateur 1} = \text{Cons}_{\text{max}} - V_i \quad (1)$$

$\text{Cons}_{\text{max}}$  : Consommation maximale de la matière due au dysfonctionnement.

$V_i$  : Valeur de l'indicateur « Cons. Eau » après les interventions de la maintenance pour le mois  $i$ .

- Indicateur 2 : « Énergie économisée grâce à la gestion de la maintenance » que nous proposons de le calculer comme suit :

$$\text{Indicateur 2} = \text{Cons}'_{\text{max}} - V'_i \quad (2)$$

$\text{Cons}'_{\text{max}}$  : Consommation maximale d'énergie due au dysfonctionnement.

$V'_i$  : Valeur de l'indicateur « Cons. Fuel » après les interventions de la maintenance pour le mois  $i$ .

Notre proposition de calcul de ces deux indicateurs de performance environnementale adaptés à la maintenance industrielle pour les mois de septembre, octobre et novembre donne le tableau n°6.

**Tableau 6: mesures de l'indicateur de performance environnementale « Quantité économisée ».**

Indicateurs	Consommation d'eau et de fuel					Quantité économisée de matière et d'énergie				
	Objectifs 2014	Juin	Juill	Août	Sept	Sept	Oct	Nov	Objectifs 2014	
<b>Eau</b>	< 6,5	<b>7.5</b>	<b>6.95</b>	<b>6.95</b>	<b>7.33</b>	-----	1	1.04	A définir par l'entreprise	
<b>Fuel</b>	< 3,2	<b>3.34</b>	<b>3.47</b>	<b>3.34</b>	3.11	0.36	0.2	1.23	A définir par l'entreprise	

Le tableau n°6 renforce notre hypothèse de recherche selon laquelle l'amélioration de la gestion de la maintenance entraîne l'amélioration de la gestion environnementale au sein d'une industrie.



## Chapitre 2 : cadrage de la fonction maintenance

### I. Définition de la maintenance

Selon la littérature, le terme maintenance, du latin manu (main) et tenerer (tenir) figure de longue date dans le vocabulaire de langue française (XIIème siècle). Mais, il était plus dédié à un sens militaire qu'industriel. Il désignait ensuite le maintien à leur nombre normal des effectifs et du matériel d'une troupe de combat. La connotation industrielle du terme vient de l'anglicisme 'maintenance' datant du milieu de XXème siècle : Maintien d'un matériel technique en état de fonctionnement ; ensemble des moyens d'entretien et de leur mise en place (petit robert).

Pour les activités industrielles, le terme le plus souvent utilisé à l'origine était l'entretien : Soins, réparations, dépenses nécessaires pour maintenir un bon état (petit robert).

Avant les années 1900, nous parlons de réparer ou de dépanner un équipement une fois qu'il est en panne avec un objectif de le redémarrer le plus rapidement possible (Tazi D, 2008).

De 1900 à 1970, nous employons la notion d'entretien dans le cas des activités de développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation et l'armement pendant les deux guerres mondiales. L'entretien consistait principalement à dépanner et à réparer après une panne (Terrier, 2002).

Depuis 1970, le développement des secteurs d'activités à risques et d'outils modernes conduisent à la mise en place de la maintenance. En effet, pour les responsables de ces domaines, le maintien de l'équipement tout en subissant son comportement, est devenu inadapté aux risques: il était nécessaire d'apprendre à contrôler ces systèmes automatisés, d'éviter les incidents pour éviter les accidents, tout en évitant des coûts supplémentaires prohibitifs (Monchy F, Pichot C, 2003).

Selon Francastel, La maintenance est l'optimisation des paramètres de l'entretien. Si l'entretien était considéré comme « un mal nécessaire », la maintenance aujourd'hui devient « une source de profits » (Francastel J.C, 2005).

Nous pouvons faire un sous-entretien ou un sur-entretien. Dans le premier cas, l'approche conduira à une détérioration prématurée de matériels, dans l'autre cas, l'excès d'interventions inutiles entraînera à un gaspillage financier pour l'entreprise.

Dorénavant, nous pouvons considérer que « la maintenance devient une activité productive et non une charge pour l'entreprise. Maintenir c'est assurer la disponibilité de la production, donc l'assurance de la quantité, mais également la qualité» (Souris JP, 1993). Ainsi, le slogan suivant: «Entretenir c'est subir, la maintenance c'est maîtriser » montre bien le changement de comportement <sup>22</sup>.

la norme NF X 60-010 a défini la maintenance en juin 1984 comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». Cette définition a été complétée par la spécification de la nature des activités de la fonction maintenance et l'introduction de la notion de sûreté de fonctionnement dans la définition de décembre 1995 : « ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et managerielles ».

Ainsi on trouve la définition de la Norme AFNOR NF X 60-000 (février 1985) qui intègre l'aspect économique de la fonction maintenance « Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal ».

Dans le cadre de notre recherche nous utilisons la définition de la norme NF EN 13306 : la maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». Cette définition a introduit la notion de la maintenance durant tout le cycle de vie d'un matériel qui était absente dans celle de la norme NF X 60-010.

---

<sup>22</sup> Association française de normalisation (AFNOR), *Comment réussir votre maintenance*, p. 21.

Selon Retour et al., la fonction maintenance représente un ensemble d'activités classifiées en deux familles : les activités à dominance technique, ainsi que, les activités à dominance gestion (voir figure n°5) (Retour D et al, 1990).

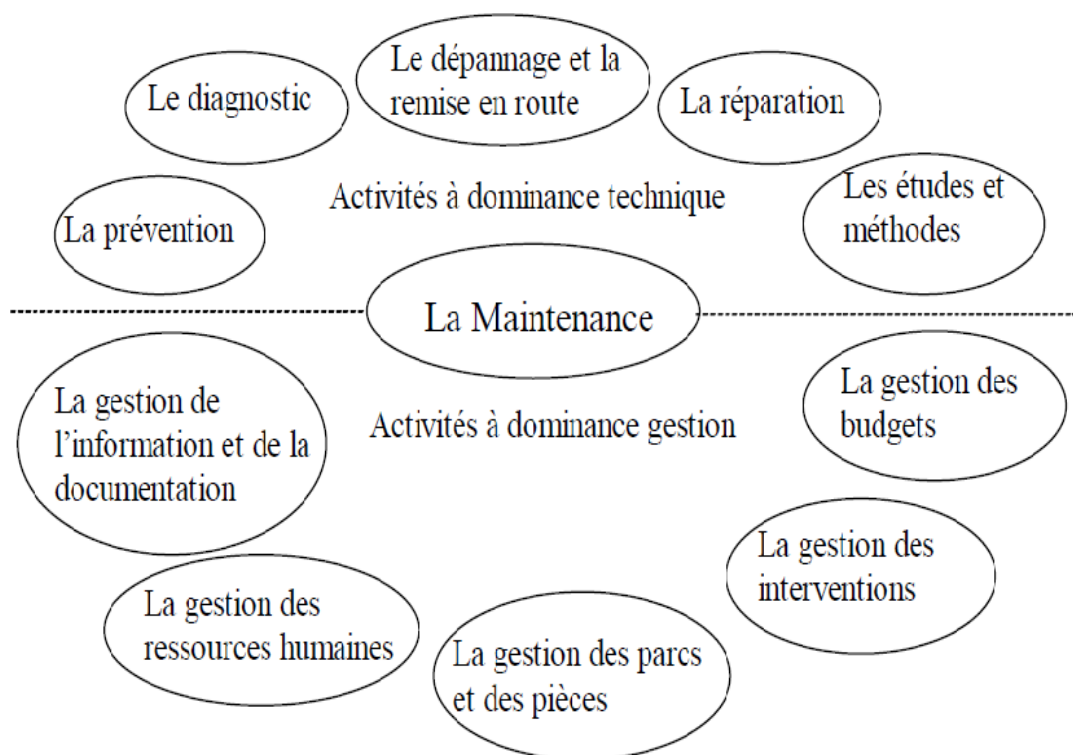


Figure 5 : Le contenu de la fonction maintenance selon (Retour D et al, 1990)

## II. Les objectifs de la maintenance

Suivant la politique de maintenance retenue par l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront (norme FD X 60-000) :

- La disponibilité et la durée de vie du bien.
- La sécurité des hommes et des biens.
- La qualité des produits.
- La protection de l'environnement.
- L'optimisation des coûts de maintenance.
- Etc.

- La disponibilité et la durée de vie du bien : La maintenance, en agissant pour la prévention contre la dégradation, l'amélioration de la fiabilité, le contrôle des performances, contribue d'une manière positive à l'amélioration de la disponibilité et à la durabilité des équipements.

Ainsi, la disponibilité est définie comme « l'aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné» (Norme Française NF EN 13306)

- La sécurité des hommes et des biens : La fonction maintenance a toujours été et restera une fonction à haut risque pour son propre personnel et pour le reste des employés de l'entreprise, notamment la production parce que une défaillance peut causer des accidents graves ou catastrophiques. Toutes les actions d'intervention de la fonction maintenance doivent être accompagnées par des mesures pour l'identification et la réduction des risques comme par exp: la protection contre les incendies, etc.
- La qualité : La qualité d'un produit repose sur les méthodes et les techniques de production, les matières premières, les méthodes de la maintenance ainsi la durée de vie ou la dégradation des équipements (LCC). De toute évidence, les actions de la fonction maintenance jouent un rôle très important dans le maintien de la qualité des produits.
- La protection de l'environnement : Face à une prise de conscience de l'enjeu que représente l'environnement. Ainsi, la mise en œuvre d'un SME peut dégager un ensemble d'avantages potentiels à savoir ( (Aberre A et al, 2008), (Eltayeb, T. K , Zailani S, Ramayah T , 2011), (MNP, 2011)):

- Bonne relations avec les parties prenantes
- Amélioration de l'image de marque et de parts de marchés
- **Réduction des accidents engageant la responsabilité**
- **Une diminution des risques**
- **Optimisation et la maîtrise des coûts**
- **Préservation des matières premières et de l'énergie**
- Obtention facile des permis/autorisations

Si la maintenance du système de production agit sur les causes de la dégradation de l'environnement (AMDEC verte voir chapitre3), on peut avoir un niveau très important par rapport à l'objectif 'respect de l'environnement'.

- L'optimisation des coûts de maintenance : Le service maintenance doit être en mesure d'accomplir ses missions, et notamment, respecter ses engagements avec le service production, et pour ce faire, le service maintenance doit élaborer des estimations précises de réparations basées sur les diagnostics approfondis concernant la cause du dysfonctionnement ou de la défaillance.

### III. **Mesure de performance de la fonction maintenance**

L'importance de la mesure de la performance maintenance a largement été discuté par de nombreux auteurs ( (Arts, R. H. P. M, Knapp, G.M, Mann, L, 1998); (Tsang A.H.C, Jardine A.K.S, Kolodny H, 1999); (Visser, J. K, Pretorius M.W, 2003); (Weber A, Thomas R, 2006); (Parida A, Chattopadhyay G, 2007). Les gestionnaires de la fonction maintenance ont besoin d'informations sur la performance pour surveiller et contrôler les processus de maintenance et leurs résultats, et fournir une indication sur l'amélioration.

#### **1. La problématique de standardisation de la mesure de la performance de la maintenance**

En raison du changement du rôle de la maintenance et la complexité croissante des technologies de fabrication, les coûts liés à la maintenance ont évolué (Parida A , Kumar U, 2006). Dans les industries, les coûts liés à la maintenance sont estimés à 25% du coût d'exploitation global ( (Cross M, 1988); (Komonen K , 2002). Dans certaines industries, telles que la pétrochimie, l'énergie électrique et l'exploitation minière, les coûts liés

à la maintenance peuvent dépasser les coûts d'exploitation ( (Raouf A, 1993); (De Groote P, 1995); (Eti M. C, Ogaji S. O. T, Probert S. D, 2005); (Parida A , Kumar U, 2006)). En tant que tel, une attention particulière devrait être accordée aux mesures de performance de la maintenance, afin d'utiliser les ressources de maintenance limitées plus efficacement et améliorer l'efficacité globale de l'organisation.

Le système de gestion de la performance de la maintenance doit être conçu pour suivre et améliorer les différents aspects de l'effort de maintenance. Ce processus doit être guidé par l'intégration des facteurs de succès critiques de l'entreprise, qui sont dérivés de la stratégie globale de l'organisation.

Les développements d'outils de mesure de performance de maintenance reposent sur trois notions qui définissent trois grandes orientations:

- Le coût,
- La fiabilité & maintenabilité et
- La disponibilité ( (Pellegrin C, 1997), (Boucly F , 1998 ) ( Monchy F, 1996 )).

Plusieurs travaux ont été menés pour définir des outils de mesures et de suivi (des ratios et des indicateurs) de la performance de la fonction maintenance. En se basant sur le travail de Elfezazi S et al., qui a été réalisé avec le soutien du comité Franco-Marocain Action intégrée N° 227/SI/2000, nous mentionnons par exemple, les travaux de l'Association Française de Conseil de Direction (AFCD), et du «Center for Interfirm Comparison», ainsi que les travaux de Luis Janssens, qui a développé des indicateurs spécifiques pour les cimenteries et industries similaires (Boucly F , 1998 ).

Nous indiquons dans le même sens les travaux sur les ratios d'optimisation du coût global (Gormand C, 1986 )et les ratios de la TPM ( Nakajima S, 1987).

Aussi, le travail du ( Brachelet D , Thibault F, 2000) qui a proposé dix indicateurs et de trois tableaux de bord pour suivre l'efficacité et l'activité de la fonction maintenance sous ses aspects techniques et dans le cas des industries mécaniques. Ces indicateurs sont regroupés selon trois catégories :

- Indicateurs d'efficacité,
- Indicateurs de performance,
- Indicateurs d'activité.

La norme AFNOR X60-020 représente aussi des indicateurs de coût de maintenance, de disponibilité, de niveau de sécurité et de coût de la défaillance alors que le travail de (Pérez F, et al) propose une démarche d'évaluation de performance de système de production intégrant les effets directs des actions de maintenance et repose sur la définition d'indicateurs adaptés à la production et la maintenance.

Enfin, nous citons le travail de recherche de (Vrignat P et al, 2012) qui a proposé une méthode de génération d'indicateurs de maintenance fondée sur une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne.

Cette étude bibliographique montre qu'on ne peut pas adopter des indicateurs typiques et standards pour toute société, sans prendre en considération son activité, ses objectifs et stratégies, la qualification, la formation et le niveau d'implication de son personnel. Chaque service maintenance doit trouver les indicateurs qui conviennent à leurs conditions de fonctionnement. Ainsi, la sélection de l'indicateur résulte de l'utilisation des informations que l'on veut faire, et appartient à chaque responsable. Il doit permettre de vérifier et de contrôler le fonctionnement du processus et l'atteinte des cibles (Berrah L, 2002).

## **2. Les indicateurs de la fonction maintenance**

L'importance de la quantification de la maintenance pousse les responsables à choisir et à utiliser des indicateurs pertinents afin de connaître la situation de fonctionnement de leur service et de justifier toutes les actions et les dépenses passées, en cours et dans le futur.

Les indicateurs de performance de la fonction maintenance sont très nombreux, nous allons présenter dans ce paragraphe les indicateurs les plus utilisés.

### **2.1 Taux de rendement synthétique (TRS)** (Bamber C.J et al, 2003), (Hansen R.C, 2001)

Le TRS correspond au rapport entre le nombre de pièces produites de bonne qualité dans une période de temps, et le nombre de pièces qui auraient théoriquement pu être produites au cours de la même période.

Cependant, la valeur du TRS permet uniquement d'avoir une idée globale sur la performance de l'équipement considéré. Pour savoir où mettre plus d'efforts, il faut analyser et définir la dimension qui «pèse » le plus sur la performance.

Le TRS décomposé est un ratio constitué de trois taux intermédiaires. Le TRS met donc en évidence les pertes de production en trois catégories sur lesquelles un plan d'action est mis en place.

Les trois taux intermédiaires qui composent le calcul théorique du TRS sont :

- **Taux de disponibilité (Tadisp):** influencé notamment par les pannes et les changements d'outils.

$$Tadisp = Tpr / Tpth \quad (3)$$

Avec :

Tpr : Temps de production réel.

Tpth : Temps de production théorique.

- **Taux de performance (Taper):** influencé notamment par les baisses de cadences et les micro-arrêts.

$$Taper = Tcy \times Prél / Tprél \quad (4)$$

Avec :

Tcy : Temps de cycle.

Prél : Production réelle.

Tprél : Temps de production réel.

- **Taux de qualité (Taqu):** influencé notamment par les pertes et les défauts dus aux redémarrages.

$$Taqu = Npb / Npr \quad (5)$$

Avec :

Npb : Nombre de pièces bonnes.

Npr : Nombre de pièces réalisées.



Le TRS correspond au produit des trois taux. Chacun d'eux étant compris entre 0 et 100%, le TRS sera donc également compris entre 0 et 100%. Plus l'indice de TRS approche de 100%, plus l'efficacité de la ligne est meilleure.

$$TRS = Taqu \times Taper \times Tadis \quad (6)$$

## 2.2 Indicateur financier: les coûts de la maintenance

Les coûts de la maintenance représentent toutes les dépenses engagées afin de maintenir un système complexe en état de fonctionnement. Ils sont souvent associés à des exigences opérationnelles en termes de sécurité, de fiabilité ou de disponibilité (Dhillon B.S, 1989).

L'analyse des coûts permet au responsable de la politique maintenance de faire ses choix principaux (Dhillon B.S, 1989):

- Etablir une estimation budgétaire annuelle.
- Suivre les dépenses et respecter le budget.
- Prendre des décisions concernant le niveau de la maintenance préventive à mettre en œuvre.
- Vérifier l'efficacité des actions de maintenance.
- Décider d'utiliser ou non la sous-traitance et à la main d'œuvre externe.
- Renouveler un matériel.

### 2.2.1 Les coûts directs de maintenance (Cdm)

Ils peuvent se rapporter à une intervention corrective (Cdmc), préventive (Cdmp) ou externalisée (Cdme) (Glade M, 2005). Les coûts directs de la maintenance (Cdm) (Coates D. J, 1992) sont constitués des éléments suivants :

- Coûts de main d'œuvre : ils représentent le produit « temps passés x taux horaire de la maintenance ».
- Frais généraux du service maintenance : ils correspondent aux coûts fixes du service, estimés à l'année et ramenés à l'heure d'activité. Ils sont estimés en pourcentage du budget du service ou sont introduits dans le taux horaire.

- Coûts de possession des stocks, des outillages et des machines : ils fournissent une évaluation des pertes et des dépréciations dues au stockage.
- Consommation des pièces de rechange : c'est un élément important de la maintenance, évalué sur la base des factures d'achat qui doivent être mises à jour et corrigées en prenant en compte des frais de passation de commande, de transport et de magasinage.
- Coûts des contrats de maintenance : Les coûts facturés pour les prestations réalisées dans le cadre de commandes ponctuelles ou de contrats de maintenance.
- Coûts des travaux sous-traités : coûts de gestion des contrats. Ce sont les coûts associés à la durée de vie des contrats (appel d'offres, inventaire du parc à maintenir, sélection, évaluation des prestataires, programmation et réception des travaux, négociation, ... etc.)

Ainsi, les coûts directs de la maintenance se composent de quatre rubriques :

- C<sub>dm</sub>: dépenses de main d'œuvre.
- C<sub>df</sub> : dépenses fixes du service maintenance.
- C<sub>dc</sub> : dépenses de consommables.
- C<sub>de</sub> : dépenses externalisées.

$$C_{dm} = C_{dm} + C_{df} + C_{dc} + C_{de} \quad (7)$$

### 2.2.2 Les coûts indirects de maintenance (C<sub>id</sub>) ( Souris J.P, 1990)

Les coûts indirects de maintenance peuvent également être nommés coûts indirects de disponibilité ou coûts indirects d'arrêt de production. Ces coûts représentent l'ensemble des coûts engagés par l'indisponibilité de l'installation. Ils consistent en :

- Les Pertes de production C<sub>pp</sub> : ils sont estimé par:

$$C_{pp} = T_{id} \times t' \quad (8)$$

Avec :

T<sub>id</sub> : temps d'indisponibilité.

t' : taux horaire de non production.

- Tid est le temps de l'indisponibilité relevé au cours d'une période où l'équipement défectueux est requis. Le taux horaire, exprimé en DH / heure, est déterminé pour l'équipement en question. Il dépend principalement de la criticité de l'équipement au sein de l'ensemble du système de production.
- Coûts de la main d'œuvre de production : ils correspondent à l'attente des opérateurs pendant la période d'indisponibilité de l'équipement (Tid).
- Coûts des rebuts, de la non-qualité et des délais non tenus : ils sont souvent difficiles à quantifier, car le coût de réduction ou de perte d'une certaine image de marque ne peut être défini avec précision. Cependant, on peut estimer les pénalités de retard et les coûts des pièces produites mais rebutées.
- Coûts des arrêts induits : ils touchent particulièrement les organisations de juste-à-temps. En fait, une anomalie au niveau de stock tampon ou un arrêt d'une unité sur une ligne de production perturbe rapidement les unités en amont (saturation) et en aval (pénurie).
- Frais de redémarrage de production : Souvent, le redémarrage du fonctionnement d'une ligne de production induit une période de perte d'énergie, de matière ou de qualité, obligeant à éliminer des produits fabriqués.
- Coûts induits en cas d'accident corporel : Une panne fortuite traitée dans l'urgence génère malheureusement parfois des accidents de travail internes, et parfois même, peut provoquer des dommages corporels pour les usagers.

### **2.3 Le MTBF (moyen de temps de bon fonctionnement)**

Le MTBF ou le moyen de temps de bon fonctionnement est un paramètre important de la fiabilité. Il représente le temps moyen de bon fonctionnement entre deux défaillances (la norme NF X 60-020).

$$MTBF = \sum Tbf / N_{déf} \quad (9)$$

Avec :

Tbf : temps de bon fonctionnement.

N<sub>déf</sub> : Nombre de défaillances.

Le MTBF, est une mesure de base de la fiabilité d'un système. Il est généralement exprimé en heures. Ainsi, plus la valeur du MTBF est élevée, plus l'équipement est fiable.

L'équation suivante illustre cette relation ( Torell W, Avelar V, 2004).

$$Fiabilité = e^{- (temps/MTBF)} \quad (10)$$

#### **2.4 Le MTTR (mean time to repair)**

Le MTTR, ou le temps moyen de réparation, est le temps prévisible pour remettre un système en service après une panne. Cela inclut le temps de diagnostiquer le problème, le temps nécessaire au réparateur pour se rendre sur les lieux et le temps nécessaire pour réparer physiquement le système ( Torell W, Avelar V, 2004). Comme le MTBF, le MTTR est généralement exprimé en heures. L'équation nous apprend que le MTTR impacte la disponibilité, mais pas la fiabilité. Plus le MTTR est long, plus il faudra de temps pour réparer le système. En d'autres termes, plus un système est long à réparer après une panne, plus sa disponibilité se dégrade. L'équation ci-dessous illustre comment le MTBF et le MTTR influencent la disponibilité globale d'un système. La disponibilité augmente quand le MTBF augmente ( Torell W, Avelar V, 2004), ainsi, elle diminue quand le MTTR augmente (norme NF X 60 020).

$$MTTR = St_i / N_{bi} \quad (11)$$

Où

St<sub>i</sub> : Somme des temps d'intervention et N<sub>bi</sub> : nombre des interventions

$$Disponibilité = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad (12)$$

## **IV. Politique et Stratégies de la maintenance**

D'après notre étude bibliographique nous avons observé une ambiguïté, ainsi, une confusion concernant les deux termes « politique » et « stratégie » de maintenance qui ont des significations et des utilisations tantôt similaires (Tairlbahre O, et al, 2015), et tantôt

différentes, et parfois, dans quelque références nous observons l'utilisation d'autres termes de signification proche, comme : type, forme ou méthode de maintenance (Chouikhi H, 2012).

### **1. Politique de maintenance (la norme FD X 60-000, 2002)**

La politique de maintenance consiste à fixer les orientations (méthode, programme, budget, etc.), dans le cadre des buts et objectifs fixés par la Direction de l'entreprise.

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- Maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- Maintenance internalisée et/ou externalisée.

En tenant compte du type de contractualisation de degré de risque accepté, etc.

### **2. Stratégie de la maintenance**

Depuis 1950, les modèles des stratégies de maintenance sont commencés à apparaître de façon croissante. Cette évolution peut être observée à travers de nombreux travaux publiés sur la maintenance et qui sont regroupés et analysés dans plusieurs travaux de synthèse et états de l'art tels que (Bougerra S, 2012) (Chelbi A , Aït-Kadi D, 2009), (Sharma A, Yadava G, Deshmukh S, 2011).

La stratégie de maintenance est définie selon « la norme FD X 60-000, 2002 » comme une déclinaison de la politique de maintenance, elle impose des choix pour atteindre, voire dépasser les objectifs fixés dans la politique.

Ce choix s'agit de décider sur les méthodes de maintenance à mettre en œuvre, les biens à fiabiliser et le moment opportun de remplacer un équipement avec comme objectifs de:

- Augmenter la productivité de l'entreprise et la qualité des produits fabriqués ;
- Améliorer la sûreté de fonctionnement des installations, et leur durabilité ;
- Augmenter le taux de rendement global des installations ;
- Diminuer les coûts associés à une politique (Coûts directs et indirects, coût global) ;
- Optimiser les stocks de pièces de rechange ;
- Optimiser les méthodes de maintenance mises en place.

Cette définition reste large, elle rend possible plusieurs interprétations par exemple nous pouvons déduire selon cette définition que LCC, AMDEC et TPM peuvent être considérées comme des stratégies de maintenance, cependant, elles sont décrites généralement comme des méthodes et des outils d'aide à la décision. Également les maintenances corrective et préventive qu'on a l'habitude de les décrire comme « type de maintenance » peuvent être considérées comme des stratégies de maintenance, comme elles sont présentées dans la norme NF EN 13306.

Le choix de la stratégie de la maintenance peut dépendre, de l'âge du bien citons dans ce sens (Bougerra S, 2012) qui a proposé et souligné les stratégies à adopter au cours de la période de la garantie du bien, du secteur, par exemple pour le secteur biomédical la maintenance est plus externalisée (Mahfoud H et al, 2015). Ainsi, ce choix doit être fait en prenant en considération les critères du respect de l'environnement et dans ce sens nous proposons AMDEC verte et LCC intégrant les coûts relatifs à l'environnement (voir la deuxième partie du chapitre 3).

Dans la suite de ce présent rapport de thèse l'AMDEC et LCC seront décrits comme des méthodes ou des outils d'aide à la décision de la maintenance.

### ***2.1 Life Cycle Cost (LCC)***

Originaires d'un concept initialement développé au Royaume Uni dans les années 1970, ces stratégies visent à tenir compte de la nécessité de la maintenance sur l'ensemble du cycle de vie de l'équipement. Plus précisément, le LCC est la somme du coût d'acquisition de l'équipement, des coûts cumulés d'utilisation sur toute la vie de l'équipement, des coûts cumulés de la maintenance basée sur une politique donnée, ainsi que des coûts associés à l'élimination ou la revente du matériel (valeur algébrique) (Dell'Isola A, Kirk SJ, 2003), (Dhillon B.S, 1989).

### ***2.2 Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)***

L'AMDEC est apparue en France dans le domaine de l'aviation (Concorde puis Airbus) au cours des années soixante. Intégrée dans l'industrie manufacturière de série depuis les années quatre-vingts, son application y reste, encore aujourd'hui, largement répandue (Metais E, 2004). Initialement les techniques de l'AMDEC ont été principalement utilisées

pour l'analyse de mode des défaillances de produits seulement dans les industries aéronautique, nucléaire, automobile, chimique, mécanique, mais avec le passage du temps, l'AMDEC a été largement utilisée dans l'analyse de défaut des industries de logiciel ( Mandal S et al, 2014), (Park G-Y et al, 2014), ainsi que dans la sécurité de l'information (Silva M.M et al, 2014).

L'AMDEC est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet d'identifier les défaillances potentielles dont les conséquences influence le bon fonctionnement du moyen de production ou du bien d'équipement étudié, puis d'estimer les risques associés à l'apparition de ces défaillances. La criticité de chaque risque est déterminée traditionnellement par le produit des trois critères : la fréquence d'un mode de défaillance (F), sa gravité (G) et sa détectabilité (D). En fin, pour chaque défaillance les actions correctives à apporter lors de la conception, de la réalisation ou de l'exploitation (production, maintenance) du moyen sont engagées.

On différencie plusieurs types d'AMDEC on définit principalement selon la norme internationale **CEI 60812**:

- L'AMDEC produit
- L'AMDEC processus
- L'AMDEC moyen de production

L'AMDEC est une démarche d'étude de fiabilité, de la disponibilité et de la sécurité d'un système. Elle utilise deux analyses complémentaires : l'AMDE, Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets, ainsi que l'analyse de leur Criticité.

**a. Analyse AMDE**

L'analyse qualitative de la défaillance ou L'AMDE se traduit par déterminer (la norme internationale **CEI 60812**):

- Le Mode de Défaillance qui est la manière par laquelle la défaillance est observée, et qui correspond à une perte totale ou partielle de fonctions assurées par le moyen.
- La Cause potentielle de la défaillance qui est l'événement initial susceptible de conduire au mode de défaillance.

- L'Effet que peut avoir le mode de défaillance sur le bon fonctionnement du moyen de production ou sur l'utilisateur final du moyen.

#### **b. Calcule de la criticité**

Lorsque l'AMDE est terminée, une analyse d'évaluation des risques est effectuée pour toutes les défaillances précédemment identifiées (analyse quantitative).

L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la Criticité, à partir de l'estimation des indices de Gravité (G), de Fréquence (F) et de non-Détection (D).

L'indice de Criticité est calculé pour chacune des causes de défaillance, par le produit de trois indices :

$$C = F . G . D \quad (13)$$

Les barèmes de cotation de chaque indice sont présentés en annexe 1.

### **2.3 Total Productive Maintenance (TPM) ( Nakajima S, 1987)**

NAKAJIMA, définit la Maintenance Productive Totale (en anglais *Total Productive Maintenance : TPM*) comme une approche où tous les employés participent à la maintenance préventive par des activités d'équipe. C'est la définition la plus utilisée et la plus adoptée dans la littérature sur la TPM. Ainsi, il ajoute que le terme "Total" de la TPM a trois significations : le rendement global des installations, un système global de réalisation et une participation de l'ensemble du personnel. La TPM vise ainsi, à changer la façon dont les employés pensent à la maintenance, et, à améliorer leur niveau de connaissance.

La démarche TPM peut être définie en cinq points clés :

- Le fonctionnement optimal des installations.
- Un système exhaustif de maintenance préventive, incluant la maintenance autonome et une détection des micro-dégradations, à travers un programme de propreté.
- Une approche multidisciplinaire (conception+ production+ maintenance).
- La participation et l'implication de tous les employés et à tous les niveaux.



- La mise en place des activités de maintenance préventive par des petits groupes autonomes.

## V. Les types de maintenance

Les définitions de la maintenance font allusion à deux mots clés : « maintenir » et « rétablir ». Le premier se réfère à l'aspect préventif et le second fait référence à l'action corrective. Nous présentons les définitions de chaque type de maintenance dans les paragraphes qui suivent.

La maintenance corrective : c'est une maintenance exécutée après détection de la panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. (Définition NF EN 13306 :2001)

- Maintenance différée : Maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.
- Maintenance d'urgence : Maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.
- Etc

La maintenance préventive : Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. (Définition NF EN 13306 :2001)

- Maintenance programmée : Maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage.
- Maintenance systématique : Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.
- Maintenance conditionnelle : Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

- Maintenance prévisionnelle : Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

Il est à noter que la terminologie présentée dans la norme prête parfois à confusion. En effet, la maintenance systématique ressemble à la maintenance programmée, et la maintenance conditionnelle peut être considérée comme celle prévisionnelle.

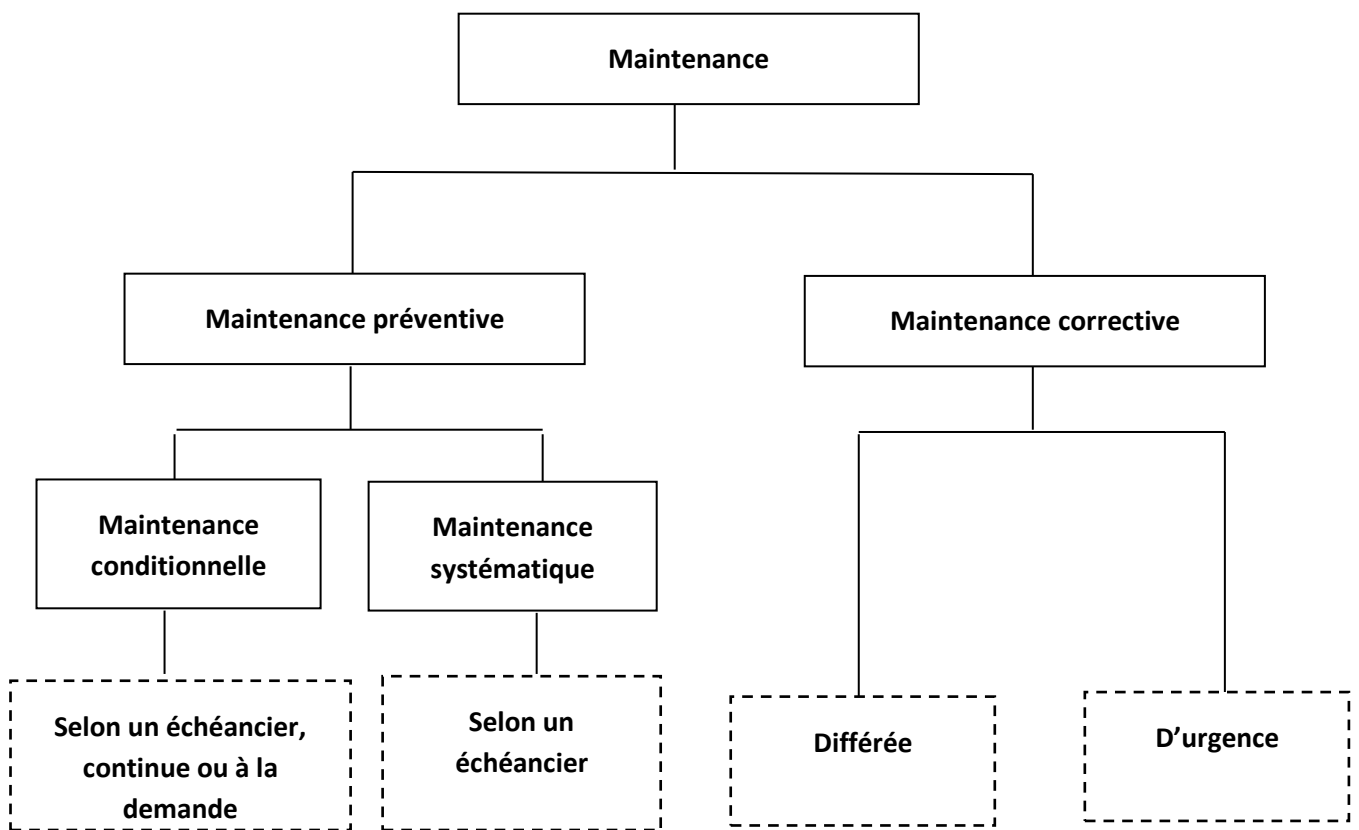


Figure 6 : les types de la maintenance : extrait de la norme NF EN 13 306 : 2001

## VI. L'impact de la maintenance sur l'infrastructure, les ressources et la gestion

Une bonne gestion de la maintenance a un impact positif à différents niveaux: l'infrastructure, les ressources (humaines et matérielles), la gestion (inventaire, pièces de rechange, etc.) ( (Tsang A.H.C, Jardine A.K.S, Kolodny H, 1999), (Sherwin D, 1999), (Vernier J. P, 1998), (Ben-Daya M , Alghamdi A. S, 2000), (Monchy F, 1991), (Lyonnais P, 1992)) (Wang S, 1999), (Whisterkamp T. A, 1998 ), (Pricket P.W, 1999)( (Jardine A. K. S, Joseph T, Banjevic D, 1999)).

Au niveau de l'infrastructure, la gestion de la maintenance permet de:

- Protéger les investissements et prolonger leur durée de vie utile grâce à un entretien régulier et efficace.
- Elever le rendement de ces investissements avec une exploitation maximale des équipements de la production d'une part, et un temps d'arrêt (non planifiées) minimal du système de production d'autre part.
- Mettre en œuvre un système de prévention contre les accidents afin d'assurer la sécurité de fonctionnement des équipements, ainsi la sécurité des bâtiments.

Concernant les ressources, la gestion de la maintenance a un effet sur les ressources humaines et les ressources matérielles. En ce qui concerne le premier volet, la gestion de la maintenance permet de :

- Assurer un climat sain de travail au sein de l'entreprise, afin de créer une ambiance de travail sécuritaire.

Pour le volet matériel, la gestion de la maintenance permet de :

- Améliorer et optimiser l'utilisation de ces ressources (les équipements, l'outillage et les pièces de rechange), pour éviter les ruptures de stock, le gaspillage etc. ;
- Minimiser les coûts de production.

Ainsi, pour la gestion, l'impact de la gestion de maintenance se traduit par:

- Enregistrer les dépenses et bien estimer les coûts des actions d'entretien et de la maintenance afin d'essayer de les réduire, ainsi pour la construction des budgets futurs.
- Evaluer le fonctionnement des équipements en vue des décisions d'achat futures (par ex : utiliser la méthode life cycle cost).

## VII. La proposition du concept de la maintenance verte

Les définitions traditionnelles de la maintenance mettent l'emphase sur 'le bon fonctionnement'. Certes, la notion 'bon fonctionnement' peut inclure aussi le respect de l'environnement (fonctionnement sans surconsommation d'énergie et de matière, sans pollution d'air, de sol et d'eau) mais il est clair que le 'bon fonctionnement' fait allusion plus à la disponibilité d'une machine et la dimension environnementale reste implicite sinon absente.

### 1. Objectif de la maintenance verte

L'intégration du critère 'respect de l'environnement' dans la définition de la maintenance, contribue à respecter l'environnement.

Ainsi l'apparition de la dimension environnementale dans la définition de la maintenance pousse à calculer, optimiser et intégrer les coûts relatifs à l'environnement dans les coûts de la maintenance.

Autrement dit, afin d'optimiser les coûts de la maintenance nous devons intégrer les coûts relatifs à l'environnement. Il s'agit du coût de pénalité dû à l'impact de la dégradation du système sur l'environnement, nous trouvons dans ce sens des travaux de recherche comme celui de (Chouikhi H, 2012) qui a proposé d'optimiser les coûts de maintenance en intégrant le coût relatif à l'environnement.

### 2. Définition de la maintenance verte

La maintenance est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise **en respectant**

**l'environnement** ». C.à.d. une maintenance saine assure un fonctionnement avec les moindres pannes, ainsi, limite toute génération d'impact négatif sur l'environnement.

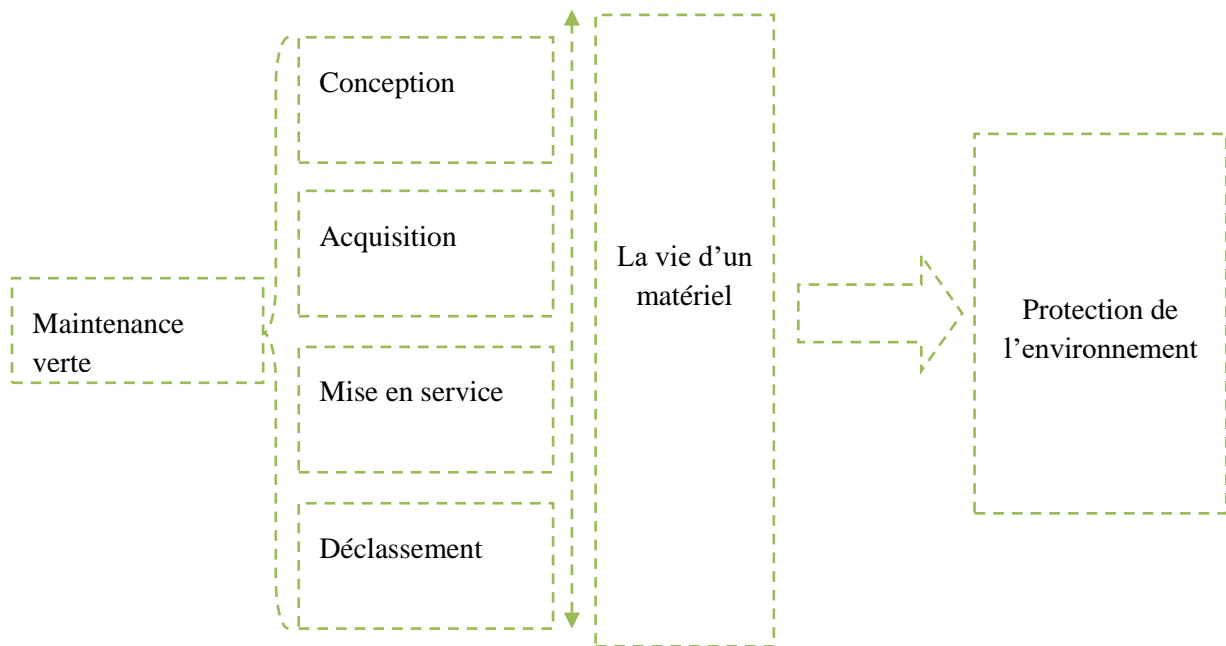
Le respect de l'environnement insiste sur :

- Au niveau de la maintenance corrective : arrêter le matériel pour maintenance à chaque fois on constate une surconsommation d'énergie ou de matière ou des émissions ou des rejets anormaux.
- Au niveau de la maintenance préventive (exp : application de l'AMDEC verte):
  - Pour la maintenance conditionnelle : observer les paramètres significatifs de fonctionnement du bien et intégrer « la dégradation de l'environnement » comme facteur déclenchant d'intervention et citons dans ce sens le travail de recherche de (Chouikhi H, 2012) qui a proposé d'adopter la maintenance conditionnelle comme solution afin d'améliorer le rendement du système de production et en même temps de prendre en considération les critères environnementaux pour protéger l'environnement..
  - Pour la maintenance systématique : prendre en considération de l'impact de la fiabilité sur l'environnement.

La maintenance permet donc de réduire l'épuisement de l'environnement, soit en prolongeant la durée de vie des biens, soit en maintenant au minimum les consommations de matières et d'énergie nécessaires à la production.

### **3. La contribution de la maintenance verte à la protection de l'environnement**

Selon la définition de la norme NF EN 13306, les actions de la fonction maintenance doivent être mises en place tout au long de la durée de vie d'un matériel (équipement). Certaines de ces actions se situent à partir de la conception du matériel, d'autres sont des actions de surveillance et de suivi. En fin de vie, la maintenance propose un déclassement du matériel. Selon la définition de la maintenance verte citée précédemment la maintenance peut contribuer durant toute la durée de vie d'un matériel à la protection de l'environnement (voir figure n°7).



**Figure 7 : La contribution de la maintenance verte durant la vie d'un matériel à la protection de l'environnement**

### ***3.1. La maintenance verte au stade de la conception***

Les actions de la maintenance débutent bien avant la date de la première panne d'un matériel. En effet, elles commencent dès la phase de la conception du matériel. Durant cette phase les actions de la maintenance cherchent, proposent de nouvelle conception de matériels qui protège l'environnement de manière à limiter la surconsommation d'énergie et les polluants sols, air et eau. Citons dans ce sens l'étude réalisée en suisse par (Besson C, Ecoeur P, Frutschi J, 2014) proposant de nouveaux types de circulateurs au lieu des pompes de circulation utilisées dans les bâtiments qui consomment une énergie électrique plus élevé. Le remplacement des pompes de circulation trop énergivores permettrait de réduire de manière conséquente la consommation énergétique de ce secteur.

Aussi, en analysant les travaux de thèses menés concernant le véhicule électrique nous pouvons déduire que la maintenance permet de réduire (ex : ( Picherit M.L, 2010)):

- La consommation d'énergie fossile,
- L'émission de gaz à effet de serre, et de polluants locaux (émissions à l'échappement et non échappement),
- L'émission sonore,
- L'épuisement des ressources.

En fin, le travail de recherche de Norris propose de prendre en considération les performances environnementales dans le processus de prise de décision dans le stade de conception d'un équipement à l'aide de LCC (Norris A, 2001).

### *3.2 La maintenance verte au stade de l'acquisition*

Le rôle de maintenance lors du choix d'un matériel est de conseiller le décideur à prendre en compte les critères de maintenabilité, de fiabilité, de disponibilité et de durabilité (comparaison des coûts de cycle de vie en intégrant le coût de l'environnement).

Au stade de l'acquisition, la maintenance peut intervenir et aider à acquérir des équipements :

- Avec une faible consommation de l'énergie.
- Avec moins d'émissions.

### *3.3 La maintenance verte au stade de la mise en service*

La maintenance doit ensuite participer à l'installation et à la mise en service du matériel pour acquérir une bonne connaissance du matériel et de son programme de maintenance.

Une fois le matériel est en service, la maintenance peut intervenir pour éviter les dysfonctionnements ayant comme impact une surconsommation de l'énergie, des rejets (fuites d'huile...) ou des émissions, ou des déchets solide (produit non conforme). Citons dans ce sens le travail de recherche de Patriota de Siqueira (Patriota de Siqueira I , 2008) qui a analysé les impacts des activités de la maintenance sur l'environnement et la sécurité à l'aide de la démarche AMDEC.

### *3.4 La maintenance verte au stade de déclassement*

En fin, le dernier rôle à jouer par le service maintenance est de déterminer le moment économique afin d'arrêter des actions de maintenance à effectuer sur un matériel donné, et de participer au choix de son remplacement.

La maintenance peut intervenir pour déterminer le moment opportun de remplacer un équipement quand celui-ci commence à nuire à l'environnement ou démontre une surconsommation de l'énergie.

D'après une publication de l'OFEN (Office fédéral de l'énergie), le remplacement de toutes les pompes de circulation inefficaces de Suisse par des modèles efficaces, réduit les besoins d'énergie électrique d'environ 1151 GWh par an (OFEN, 2012), soit près de 2 % de la consommation électrique du pays.

Le rôle de la maintenance de déclassement se voit clairement, il s'agit dans le cas de cet exemple de l'élimination de la version ancienne des pompes énergivore et leur remplacement par la nouvelle conception qui consomme moins d'énergie.



## **Chapitre 3 : la relation maintenance environnement : émergence de la performance environnementale et de la performance maintenance**

### **I. Modélisation de la relation « maintenance - environnement »**

Les travaux de recherche analysant les impacts d'un système (par ex. un processus, une machine...) sur l'environnement ou traitant la relation entre l'environnement et l'entreprise sont nombreux (voir par ex. (Laratte B, 2013), (Boufateh Ben Arari I, 2011), (Méquignon M.A, 2011), (Tähkämö L, 2013), (BenAyed R, 2012) etc.), (Melbouci L, 2008) et (Bourreau L, 2012)). Cependant, peu de travaux traitent la relation entre la maintenance et l'environnement, cette relation reste ainsi implicite dans un contexte où la protection de l'environnement présente un enjeu majeur.

D'un autre côté, les systèmes de production constituant une partie importante du capital de la plupart des industries sont soumis à une dégradation liée à l'âge et à l'usage de tels systèmes. Cette dégradation influence non seulement la qualité du produit, mais aussi celle de l'environnement. En fait, la dégradation des systèmes industriels peut avoir des impacts significatifs sur l'environnement, par exemple :

Dans le cas d'une centrale nucléaire, des fuites importantes de réfrigérant résultent de la dégradation de l'étanchéité de l'arbre mécanique du compresseur frigorifique. Cette fuite du gaz à effet de serre peut considérablement influencer l'environnement lorsque sa valeur mesurée dépasse un seuil fixé par les normes en vigueur (Chouikhi H, 2012).

Dans le cas des industries du plastique, les matières premières utilisées sont sous formes de pastilles, poudre ou feuilles formés par le polymère principal avec des additifs. Les procédés de fabrication dépendent des caractéristiques du polymère ainsi celles des transformations. Durant la transformation du plastique, des produits toxiques peuvent se dégager dans l'environnement de travail dû au chauffage du plastique à cause de la dégradation du système de production (Chouikhi H, 2012).

Pour satisfaire les exigences relatives aux normes et réglementation environnementales, les entreprises et en particulier leurs fonctions maintenance, doivent développer et mettre en œuvre des méthodes et des stratégies innovatrices permettant d'améliorer leurs

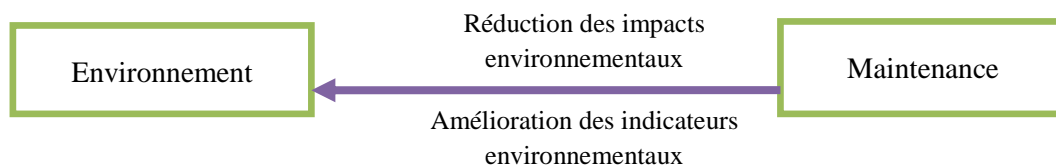
performances d'une part, et d'exploiter rationnellement les ressources matérielles disponibles d'autre part. Cette exploitation doit être réalisée en tenant compte des impacts des systèmes industriels sur l'environnement.

Parcourant la littérature sur la maintenance, la pertinence de la gestion de la maintenance a été démontrée dans plusieurs ouvrages ( (Monchy F, 1991), (Lyonnais P, 1992), (Pricket P.W, 1999) et (Jardine A. K. S, Joseph T, Banjevic D, 1999)). En effet, une bonne gestion de la maintenance peut aider l'entreprise à demeurer compétitive aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale.

Selon notre analyse bibliographique, une gestion de la maintenance implantée adéquatement a un impact positif non seulement sur l'infrastructure, les ressources (humaines et matérielles) et la gestion de l'entreprise (pièces de rechange, inventaire, etc), mais aussi sur l'environnement (voir ( (Chouikhi H, 2012), (Zille V, 2009), (DeSimone, L.D. F et al, 1997), (El Aoufir H, 2003), (Pellegrin C, 1997)). La maintenance permet ainsi d'assurer la sûreté des personnes et limiter les impacts négatifs d'un matériel sur l'environnement. En effet, les interventions de maintenance efficaces permettront de :

- Prolonger la durée de vie des biens.
- Sécuriser des hommes et des biens.
- Réduire des nuisances sonores (ex. : vibration d'un moteur).
- Réduire la consommation de la matière et d'énergie (ex. : l'eau potable et l'électricité).
- Réduire les déchets solides et liquides (fuite d'huile...).
- Réduire de la pollution de l'air (fuite de gaz...).
- Réduire les coûts relatifs à l'environnement (le coût de pénalité dû à l'impact de la dégradation du système de production sur l'environnement).

Nous pouvons ainsi déduire que la maintenance contribue à la performance environnementale par la réduction des impacts environnementaux. Cet impact positif de la maintenance sur l'environnement pourrait se traduire par une amélioration des indicateurs de performance environnementaux.



**Figure 8 : La relation « maintenance - environnement »**

Toujours dans le cadre de cette conclusion où la gestion de la maintenance améliore les performances environnementales, nous proposons par la suite l'intégration des enjeux environnementaux dans la maintenance et particulièrement dans le stade de la prise de décision et par conséquent la prise en considération du respect de l'environnement comme critère dans les stratégies de la maintenance notamment l'AMDEC et LCC (voir la deuxième partie du chapitre 3).

Si la gestion de la maintenance contribue à la performance environnementale, l'intégration de la fonction maintenance dans la conception et le fonctionnement d'un SME est aussi indispensable. Ceci explique la prise en compte de la maintenance comme exigence dans la norme ISO 14001 dans le paragraphe 4.4.1 Ressources, rôles, responsabilité et autorité *«La direction doit s'assurer de la disponibilité des ressources indispensables à l'établissement, à la mise en œuvre, à la tenue à jour et à l'amélioration du système de management environnemental. Ces ressources comprennent les ressources humaines, les compétences spécifiques, les infrastructures organisationnelles et les ressources technologiques et financières.»*.

Répondre à cette exigence suppose une organisation spécifique de la fonction maintenance. Cette organisation se traduirait par une performance organisationnelle au niveau de la fonction maintenance.

Aussi, le management environnemental exige de définir, pour chaque processus y compris le processus maintenance, les aspects environnementaux et leurs impacts. L'entreprise se trouve obligé, dans ce sens, de proposer des actions et des procédures pour maîtriser ces aspects et limiter leurs impacts sur l'environnement. Ces actions et ces procédures introduiront un nouveau mode de gestion dans le service maintenance.

Nous pouvons ainsi déduire que le management environnemental requière une certaine organisation maintenance qui a, à son tour, un impact positif sur les indicateurs de performance maintenance.

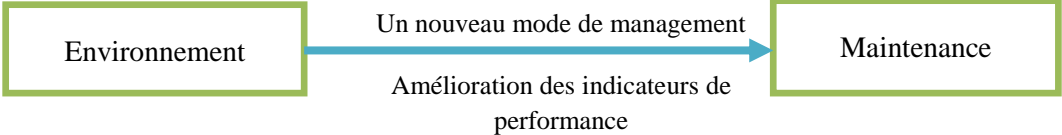


Figure 9 : La relation « environnement - maintenance »

L'agrégation des relations (1) et (2) donne le modèle global expliquant les deux sens de la relation « environnement - maintenance ».

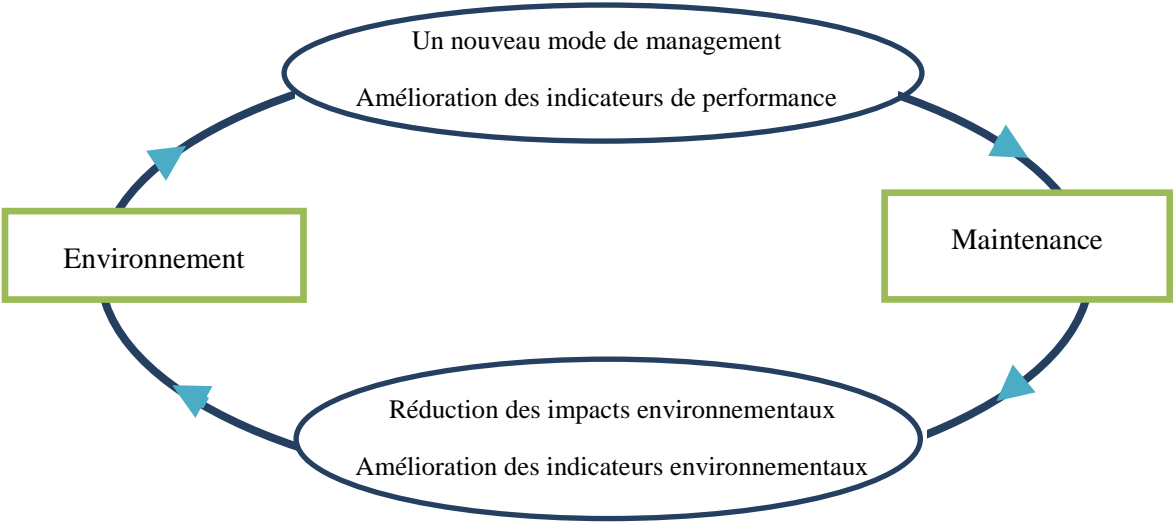


Figure 10 : Modèle de la relation « maintenance - environnement »

## **II. Intégration de la dimension environnementale dans la maintenance**

### **1. Intégration de la dimension environnementale dans l'AMDEC : proposition d'une AMDEC verte**

#### ***1.1. La valeur ajoutée de la proposition d'une AMDEC verte***

Parmi les avantages que l'entreprise puisse gagner en intégrant le critère environnemental dans la démarche d'amélioration continue AMDEC:

- L'amélioration de la conception du bien, service ou processus par rapport à l'objectif 'respect de l'environnement'.
- L'intégration de la dimension environnementale en maintenance permet de faire le suivi et la réévaluation des performances environnementales puisque l'AMDEC est une démarche fondé sur le principe de l'amélioration continue.
- La prise en compte de l'orientation de l'entreprise en terme de management environnemental et la réponse aux exigences de la norme iso 14001 :2004 « L'organisme doit établir, mettre en œuvre et tenir à jour une (des) procédure(s) pour identifier les situations d'urgence potentielles et les accidents potentiels qui peuvent avoir un (des) impact(s) sur l'environnement, et comment y répondre » et « utiliser de procédé pratiques, matériaux, produits, services ou énergie pour empêcher, réduire ou maîtriser(séparément ou par combinaison) la création, l'émission ou le rejet de tout type de polluant ou déchet ».
- L'amélioration continue des performances environnementales exigées par la mise en place d'un système de management environnemental (La norme ISO 14001 :2004).
- Rechercher les défaillances ou les dysfonctionnements potentiels susceptibles d'affecter l'environnement.
- Analyser les conséquences de ces défaillances et identifier les situations qui en résulteraient.
- Évaluer le niveau de criticité ou d'acceptabilité de ces situations,
- Définir les plans d'action nécessaires, dans le cas où ces situations apparaissent comme inacceptables.

## *1.2. Intégration du critère environnemental dans la démarche AMDEC*

Plusieurs travaux de recherche ont utilisé la démarche AMDEC comme outil d'analyse des risques potentiels sur un système, nous citons dans ce sens les travaux de recherche de (Chen et al., 2014), (Trafialek J, 2014), (Feili H.R et al, 2013), (Bahrami M et al, 2012), (Arabian-Hoseynabadi H et al, 2010), (Cândeia G et al, 2014) etc..., autres ont fait de la démarche AMDEC leur objet de recherche et ils ont critiqué la matrice de criticité et sa méthode de calcul traditionnelle donnée par le produit de trois paramètres : la fréquence (F), la détectabilité (D) et la gravité (G) en affectant à chaque paramètre un nombre entier de 1 à 5 par exemple. Dans ces travaux ((Mandal S et al, 2014), (Barends D.M et al, 2012), (Kumru M et al, 2013), (Xiao N et al, 2011), (Chin K.S et al, 2008), etc...), une nouvelle méthode basée sur les nombres flous a été proposée. Cependant, le nombre de recherches qui analysent la criticité d'un système sur l'environnement ou qui traitent la relation AMDEC/environnement reste limité, nous citons à ce titre les recherches de (majernik M, chovancova j, 2009), (Badreddine A, BenRomdhane T, Ben Amor N, 2009a) et (Badreddine A, BenRomdhane T, Ben Amor N, 2009b) qui ont proposé la méthode AMDEC comme outil d'analyse des impacts d'un système sur la qualité, la sécurité et l'environnement, ainsi le travail de recherche de (Patriota de Siqueira I, 2008), qui a analysé les impacts des activités de la maintenance sur l'environnement et la sécurité à l'aide de l'AMDEC. Dans notre recherche, nous proposons l'intégration de la dimension environnementale dans la démarche AMDEC, nous allons analyser et traiter, dans ce sens, l'introduction du critère environnemental dans les trois étapes suivantes de l'AMDEC :

- Le calcul de la matrice de criticité,
- Le plan d'action et
- L'étape suivi et vérification.

### *1.2.1 La matrice de criticité tenant compte de la dimension environnemental*

Chacune des défaillances est jugée généralement sur trois critères : sa fréquence (F), la gravité de ses conséquences (ou de ses effets) (G) et sa détection (D). Nous proposons donc pour chaque défaillance, d'intégrer le 'critère environnement' noté 'E' (voir tableau 7). Ce critère représente l'effet du mode de défaillance sur l'environnement. Les barèmes de cotation

(qui varient par exemple entre 1 et 4) se basent sur les effets provoqués par la défaillance sur l'environnement et sur le respect de la loi en vigueur (voir tableau 8).

**Tableau 7: AMDEC après l'intégration du 'critère environnement' E**

<b>Fonction ou opération du processus</b>	<b>Mode de défaillance</b>	<b>Effet de la défaillance</b>	<b>Cause de défaillance</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>C</b>

Ainsi, l'équation de la criticité après l'intégration du critère 'environnement' devient :

$$C = F \times G \times D \times E \quad (14)$$

**Tableau 8: Matrice de la conséquence du mode de défaillance sur l'environnement (E varie de 1 à 4)**

<b>Note</b>	<b>Effet du mode de défaillance sur l'environnement</b>
<b>1</b>	effet mineur Aucun impact significatif sur l'environnement / le seuil de la loi en vigueur n'est pas dépassé
<b>2</b>	effet majeur Impact significatif sur l'environnement/le seuil de la loi en vigueur est dépassé de 10% à 15%
<b>3</b>	effet critique des dommages potentiels à l'environnement/ le seuil de la loi en vigueur est dépassé de 20% à 25%
<b>4</b>	effet catastrophique des dommages à l'environnement/ / le seuil de la loi en vigueur est dépassé de 50% à 55%

- Le nombre de repères sur l'échelle sera généralement limité ; il n'est pas nécessaire de prévoir une échelle avec 10 niveaux s'il devient difficile de faire la distinction entre le niveau 7 et le niveau 8.
- Il n'est pas nécessaire que les échelles relatives aux différents critères comportent le même nombre de niveaux (Metais E , 2004).
- On propose d'attribuer une action corrective automatiquement si  $E \geq 3$ .

### 1.2.2 Plan d'action

Un plan d'action a pour objectif de diminuer la criticité qui est le produit des quatre paramètres F, G, D et l'effet du mode de défaillance sur l'environnement E. Ainsi, un des objectifs d'un plan d'action maintenance à travers les actions correctives et/ou préventives est la diminution des différents éléments de la criticité y compris le critère environnemental E. La maintenance contribue donc à l'amélioration de la gestion de l'environnement. Inversement, l'amélioration de la gestion environnementale contribue à la diminution de la criticité ce qui présente, par conséquent, un impact positif sur la maintenance (voir figure 11).

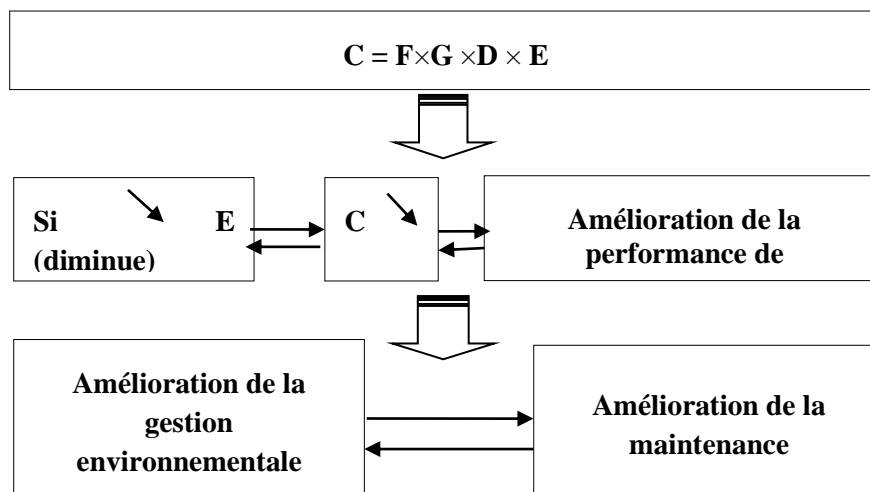


Figure 11 : La relation « environnement-maintenance »



### 1. 2.3 Suivi et vérification

Après la mise en œuvre du plan d'action maintenance, l'entreprise évalue et analyse ses performances techniques et environnementales.

L'évaluation des performances techniques et environnementales est l'un des maillons du cycle d'amélioration continue qui consiste à mesurer et synthétiser, sous forme de tableau de bord, des performances environnementales du système étudié.

Nous nous sommes inspirés de la méthodologie PDCA afin de présenter la démarche d'amélioration continue AMDEC (figure 12).

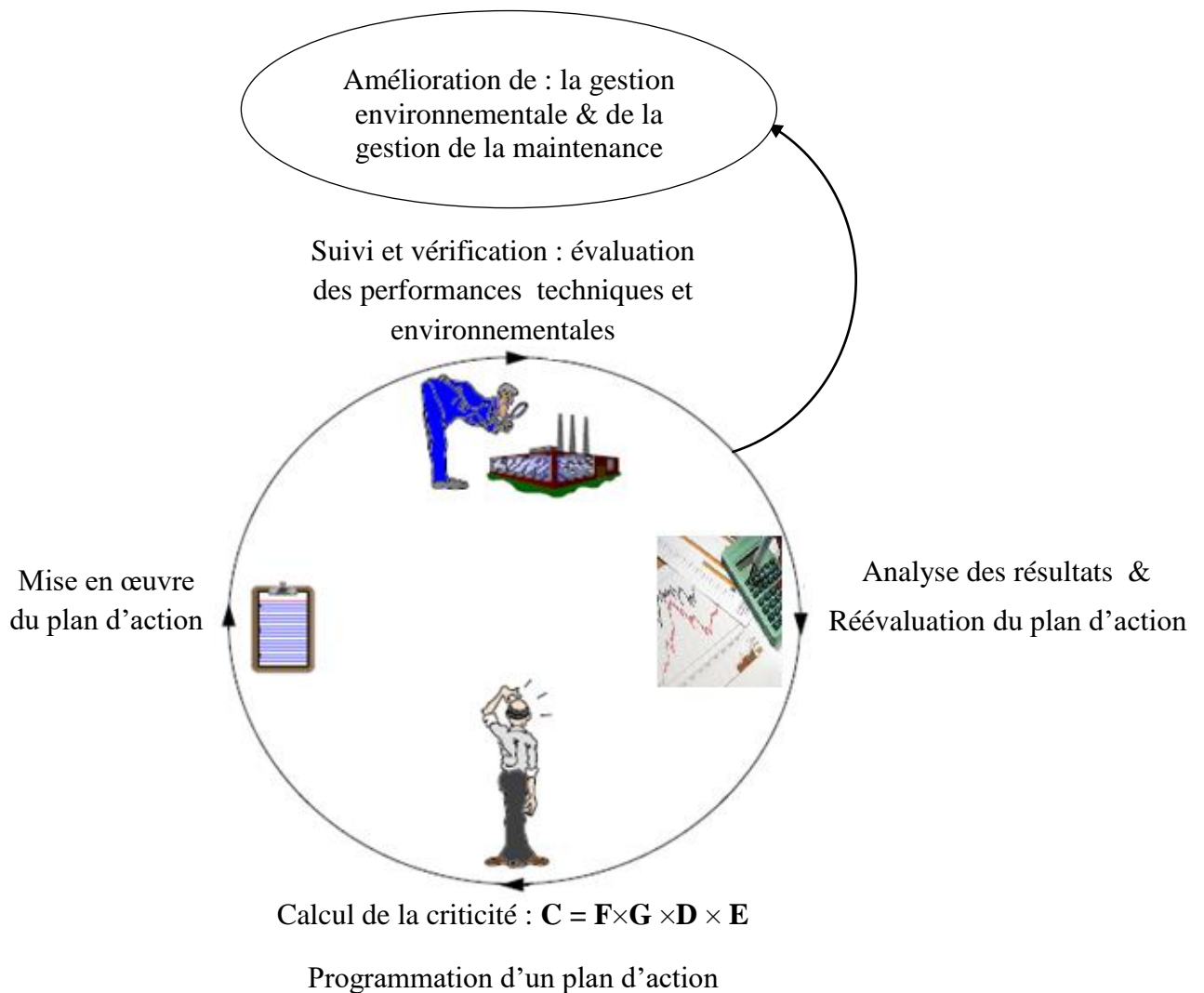


Figure 12 : Présentation de la démarche d'amélioration continue AMDEC

Sur la base des résultats de l'évaluation des performances techniques et environnementales, les informations sont communiquées à la direction de l'entreprise, cette dernière doit trouver des solutions de traitements des écarts constatés, et programmer un plan d'action. Le cycle est bouclé par la réévaluation régulière des effets des actions correctives programmées, et la possibilité de corriger le plan d'action en conséquence.

### ***1.3. Application du concept de l'AMDEC verte dans une fonderie marocaine***

Afin de mesurer de près l'impact d'une AMDEC verte sur la gestion environnementale, nous avons expérimenté notre proposition dans une fonderie marocaine dans le secteur automobile. Cette entreprise a comme activité principale la production de pistons, de chemises et d'axes pour automobiles. Elle travaille pour des constructeurs automobiles de renommée. L'entreprise est certifiée ISO 14001 :2004.

Le concept de l'AMDEC verte revêt dans cette entreprise un intérêt particulier. Parce que, d'une part l'enjeu de la gestion environnementale est fort chez l'entreprise (exigence des clients internationaux) et d'autre part, la chaîne de production est très automatisée exigeant du service maintenance un niveau élevé de disponibilité du matériel.

#### **a. Constitution du Groupe de Travail**

Nous avons constitué un groupe de travail pluridisciplinaire qui est composé de :

- Responsables maintenance et production, ils apportent des informations nécessaires à notre analyse, grâce à leurs connaissances techniques et à leurs expériences sur les moyens en exploitation.
- Un agent en maintenance chargé de l'entretien du moyen mis en exploitation
- Le responsable QSE

## b. La décomposition fonctionnelle

Nous allons présenter dans ce travail l'application de l'AMDEC sur un centre d'usinage X, la fonction de cette machine est de réaliser la finition des trous d'axe, sa décomposition fonctionnelle est la suivante :

1. Circuit hydraulique
- 2. Table**
3. Broche
4. Drague
5. Armoire électrique

Nous allons présenter dans ce travail une partie de l'analyse AMDEC qui concerne l'ensemble 'Table'.

La décomposition la plus élémentaire de l'ensemble 'Table' est présentée dans la figure suivante (voir figure n°13) :

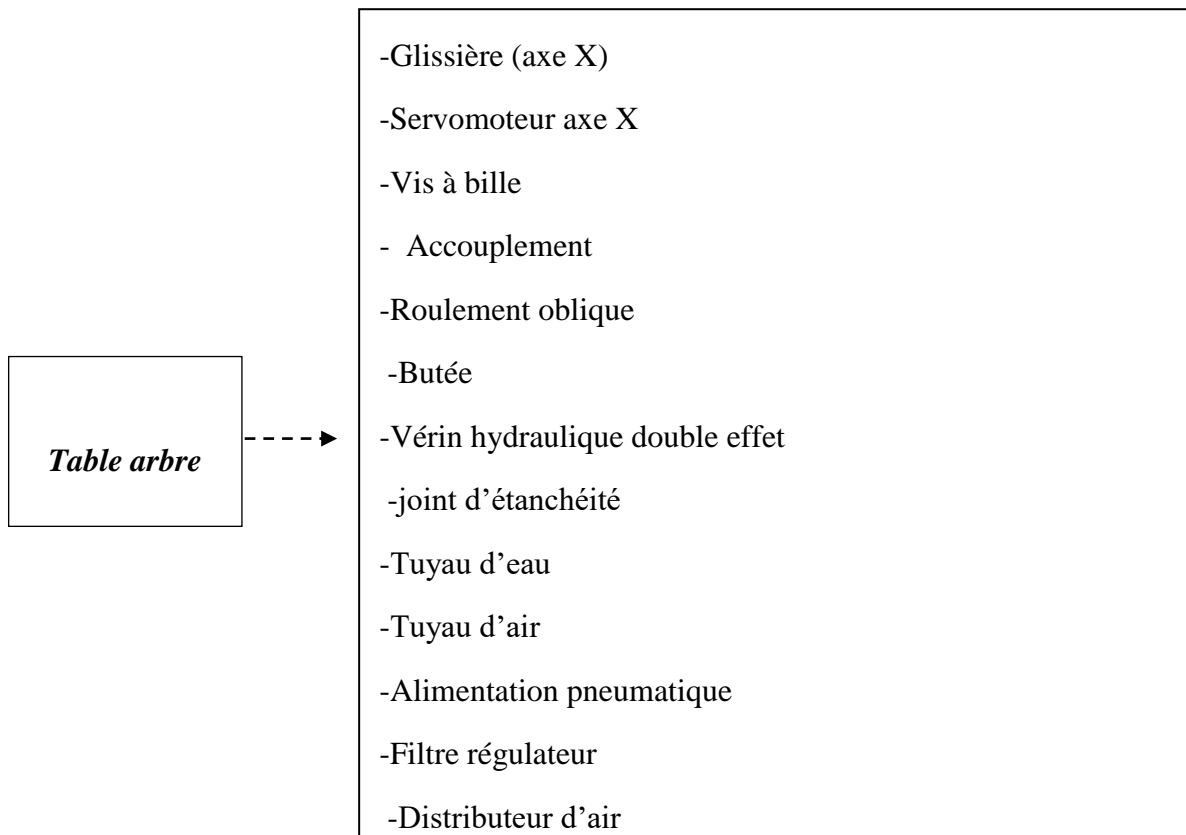


Figure 13 : La décomposition élémentaire de l'ensemble Table

c. Analyse AMDEC

Ci-dessous un extrait de l'analyse AMDEC traditionnelle sans prendre en considération la dimension environnementale avec une criticité C.

Tableau 9 : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités avec la criticité C.

Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités- AMDEC Moyen de production									
Atelier : Usinage									
AMDEC Du MOYEN: OP50					AMDEC N° XXXX			Crée-le	
Code machine : XXXX								Modifiée le	
Ensemble : Table									
Elément	Fonction	Modes de Défaillances	Causes	Effets	Détection	Cotation			
						F	G	D	C
Glissière « axe X »	Diminuer les frottements des liaisons	Fissure Blocage (encrassement)	-Frottement -Mauvais graissage -Corps étranger (copeaux grain)	-Vibration -Pas de précision	-Bruit anormale -Echauffement	3	3	2	18
Vis à billes	Transformer le mouvement rotatif à un mouvement de translation	Usure	Fatigue	Mauvaise précision	-Vibration -Bruit	1	3	2	6
Roulement Oblique	Supporter la charge du chariot	Usure	Fatigue	Vibration	-Bruit -Echauffement	1	3	2	6
Vérin hydraulique Double effet	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Usure du piston	Choc du piston	Mauvais ou pas de serrage	Visuel	1	1	1	1
		Blocage du vérin	Débit d'huile insuffisant			3	2	1	6
Alimentation pneumatique	Refoulement d'air	-échauffement -défaut de débit	-joint défectueux -fuite	Atteint pas la pression nominale	Echauffement	2	2	3	12
Distributeur d'air	Distribution de l'air au niveau du piston	Blocage	-Surtension -pression faible	Arrêt de la circulation de l'eau	Visuel	1	2	3	6

Le groupe de travail a décidé de fixer la valeur 16 comme seuil de criticité, au-delà de ce seuil, l'effet de la défaillance n'est pas supportable, donc une action est nécessaire. Les éléments dont la criticité dépasse 16 sont regroupés dans un plan de maintenance préventive.

Dans une 2<sup>ème</sup> étape, nous avons intégré le critère de l'environnement dans le raisonnement et le calcul de la criticité. Ci-dessous la présentation de l'analyse AMDEC en prenant en considération la dimension environnementale avec une criticité C1.

Tableau 10 : Extrait de l'analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités avec la criticité C1.

Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités- AMDEC Moyen de production											
Atelier : Usinage											
AMDEC Du MOYEN: OP50					AMDEC N° XXXX			Crée-le			
Code machine : XXXX								Modifiée le			
Ensemble : Table											
Elément	Fonction	Modes de Défaillances	Causes	Effets	Effets sur l'environnement	Détection	Cotation				
							F	G	D	E	C1
<b>Glissière</b> « axe X »	Diminuer les frottements des liaisons	Fissure Blocage (encrassement)	- Frottement -Mauvais graissage -Corps étranger (copeaux grain)	-Vibration -Pas de précision	nuisances sonores	Bruit anormale Echauffement	3	3	2	2	32
<b>Vis à billes</b>	Transformer le mouvement rotatif à un mouvement de translation	Usure	Fatigue	Mauvaise précision	nuisances sonores	-Vibration -Bruit	1	3	2	2	12
<b>Roulement Oblique</b>	Supporter la charge du chariot	Usure	Fatigue	Vibration	nuisances sonores	-Bruit -Echauffement	1	3	2	2	12
<b>Vérin hydraulique Double effet</b>	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Usure du piston	Choc du piston	Mauvais ou pas de serrage	Effet mineur sur l'environnement	Visuel	1	1	1	1	1
		Blocage du vérin	Débit d'huile insuffisant				3	2	1	1	6
<b>Alimentation pneumatique</b>	Refoulement d'air	-échauffement -défaut de débit	-joint défectueux -fuite	Atteint pas la pression nominale	Surconsommation d'énergie	Echauffement	2	2	3	2	24
<b>Distributeur d'air</b>	Distribution de l'air au niveau du piston	Blocage	- Surtension -pression faible	Arrêt de la circulation de l'eau	Effet mineur sur l'environnement	Visuel	1	2	3	1	6

Pour la criticité C1, le groupe de travail a décidé de fixer la valeur 20 comme seuil de criticité.

Après l'intégration de la dimension environnementale, l'ordre de priorité pour les criticités a changé. Nous rappelons dans ce sens :

Distributeur d'air et roulement oblique qui avaient la même criticité C, mais l'intégration de l'environnement a rendu le roulement oblique plus critique.

Pour l'alimentation pneumatique, la criticité calculée selon l'AMDEC traditionnelle ( $C = 12$ ) indique que cet élément n'atteint pas le seuil de criticité (16) et donc l'élément n'est pas pris en considération dans le plan de maintenance préventive. L'intégration de l'environnement a donné une nouvelle criticité  $C1 = 24$  ce qui a exigé de le considérer dans le plan de maintenance préventive ( $C1 \supset 20$ ). Nous avons proposé dans ce sens une maintenance systématique de période est égale à 6 mois et une action préventive "changement du joint".

## **2. Intégration de la dimension environnementale dans le LCC (Life Cycle Cost) ou le Coût de Cycle de Vie (CCV)**

### **2.1 Les origines du concept de coût global**

Le concept de Life Cycle Cost (LCC) est né au milieu des années 1970 aux États-Unis dans le domaine des industries de l'armement. Le Département de la Défense Américaine a, dès cette époque, utilisé le coût de cycle de vie pour évaluer le coût de divers projets (White G.E , Ostwald P.F, 1976). Ce concept s'est rapidement étendu aux industries civiles, notamment l'aéronautique et le spatial, le ferroviaire et l'automobile Plus récemment, le secteur de l'informatique s'est intéressé à cette approche.

La littérature sur ce sujet n'est pas très abondante mais elle est assez étalée dans le temps.

On trouve régulièrement des articles sur la question depuis les années soixante-dix. Mais le concept de coût de cycle de vie est encore peu connu et peu utilisé (Dhillon B.S, 1989).

### **2.2 Le Cycle de Vie**

Le cycle de vie peut être appréhendé depuis des angles très différents :

Susman (Susman G.I, 1989) ou encore Shields et Young (Shields M.D, Young S.M, 1991) distinguent le cycle de vie du point de vue du marketing et du point de vue de la production. Pour le marketing, le cycle de vie représente la vie du produit sur le marché, les phases

retenues sont donc les suivantes : introduction (ou démarrage), croissance, maturité et déclin. Pour la production, la vie du produit est rythmée par les phases suivantes : conception, design, développement produit/process, production et support logistique.

Le cycle de vie du produit peut aussi être analysé soit du point de vue du producteur, soit de celui du consommateur : le consommateur ne voit que les phases d'achat, d'exploitation, de maintenance et éventuellement de mise au rebut (Artto K, 1994) et c'est le cas qui nous intéresse dans le cas de notre recherche pour étudier le cycle de vie d'un équipement dans une industrie.

### *2.3 Définition du coût de cycle de vie*

Les définitions du coût de cycle de vie sont nombreux dans la littérature ( (Dhillon B.S, 1989), (MIL-HDBK, 1983), ( Hoffmann G, 2014), ( Zwingelstein G, 1996), (Gormand C, 1995) etc....), citons celle de White et Ostwald (White G.E , Ostwald P.F, 1976) : « le coût de cycle de vie d'un élément est la somme de tous les frais engagés depuis la conception jusqu'à la fin de vie de l'élément ». La norme NF X50-150 donne une définition similaire du coût de cycle de vie « la somme des dépenses sur l'ensemble de la vie d'un produit pour un usage donné ».

La figure n°14 représente tous les éléments qui contribuent au coût de cycle de vie. Représentée sous la forme d'un iceberg, la partie visible correspond aux coûts directs que supporte le client quand il acquiert l'équipement auprès du constructeur. La partie immergée de l'iceberg représente tous les postes des dépenses qu'il aura à supporter pendant la période où il exploitera son investissement.



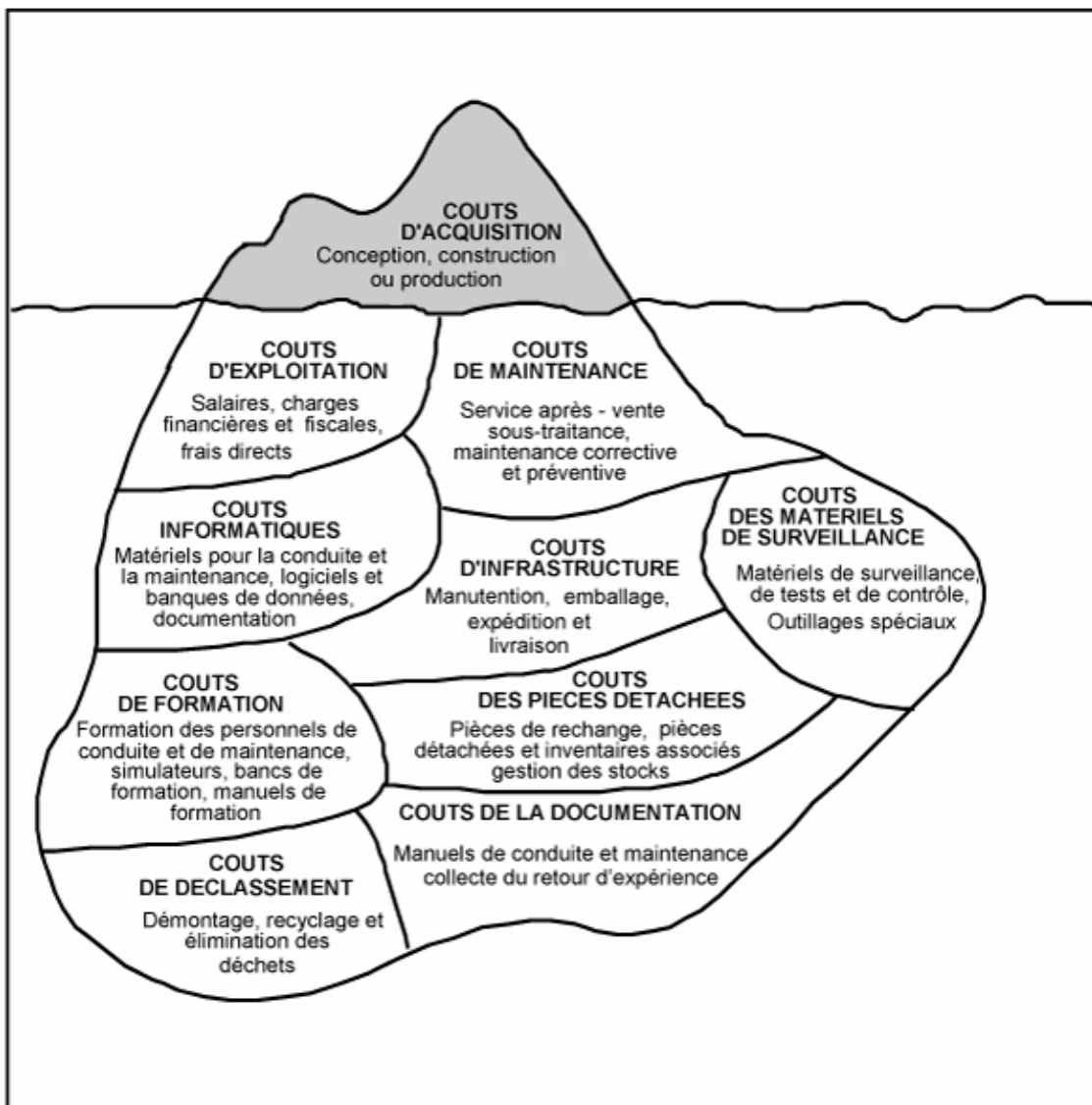


Figure 14 : Iceberg du coût de cycle de vie ( Zwingelstein G, 1996)

Comme nous avons déjà vu, le cycle de vie est vu de point de vue déférent, son coût est aussi traité de la même manière.

Pour notre cas de recherche qui s'intéresse au matériel industriel, nous traitons le coût de cycle de vie de point de vue consommateur, et nous retiendrons les coûts les plus cités et les plus adaptés à notre cas de recherche, ces coûts seront globalement décrits dans ce qui suit.

Selon (Gormand C, 1995), pour déterminer le coût de cycle de vie, il faut tenir compte les coûts suivants:

- Coût d'acquisition (Ca)
- Coût d'exploitation (Cexp)
- Coût de maintenance (y compris coûts indirects) (Cm)
- Coût d'élimination / revente du bien (Crv)

$$LCC = Ca + Cexp + Cm \pm Crv \quad (15)$$

Détail des différentes composantes du coût global de possession<sup>23</sup> :

- **Le coût d'acquisition**

- 1) Le prix d'achat ou les mensualités pour une location, il correspond au montant effectif payé par unité de bien ou de service achetée.

On peut retrouver les éléments suivants :

- Le coût des matières premières ;
- Les coûts de fabrication;
- Les impôts (dont TVA non déductible) ;
- Les frais de transport.
- 2) Les dépenses de mise en service : il s'agit des coûts engagés pour mettre le matériel en place et en état de fonctionner, selon l'utilisation prévue. Ils peuvent parfois être compris dans le prix d'achat. Parmi ces dépenses, on peut trouver :
  - Les coûts d'installation (par exemple : montage) ;
  - Les coûts de formation.
- **Les coûts d'exploitation** : celles-ci représentent souvent une part importante du coût global de possession du matériel considéré. Elles correspondent aux dépenses courantes de d'utilisation de l'outil, en fonction de l'usage prévu. Elles regroupent essentiellement :
  - Les frais de rémunération des personnels ;
  - Les dépenses de fourniture ;
  - Les frais de fonctionnement divers correspondant aux compétences de l'établissement public;
  - Les intérêts des emprunts, les dotations aux amortissements et aux provisions ;

---

<sup>23</sup>Guide relatif à la prise en compte du coût global de possession dans les marchés publics, Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises Section matériels, équipements et TIC de sécurité civile, 2012

- Les coûts relatifs à la consommation d'énergie (eau, électricité, gaz..) nécessaire à la mise en œuvre opérationnelle du matériel ;
- Les coûts liés au stockage du matériel ;
- Les coûts d'assurance ;
- **Les coûts de maintenance (directe et indirecte) :**  
(Voir chapitre 2, les coûts de maintenance).
- **Les coûts d'élimination, prix de revente:**
  - Les coûts d'élimination : démantèlement.
  - Les éventuelles recettes liées à la revente, au recyclage, à la reprise du matériel par le fabricant ou le distributeur.

#### *2.4 Intégration de la dimension environnementale dans le LCC*

Plusieurs travaux de recherche ont utilisé la méthode LCC afin d'analyser et d'étudier le cycle de vie d'un produit sur le marché, citons par exemple ( Asiedu Y, Gu P, 2010), (Gautier F , Giard V, 2001) qui ont utilisé cette méthode afin de diminuer les coûts de conception du produit avant de le lancer sur le marché. Ainsi ( Woodward G, 1997) qui a proposé d'utiliser LCC comme outil d'aide à la décision pour l'achat d'un actif : Ce processus permet de faire une estimation des coûts sur une base de toute la vie avant de faire un choix d'acheter un actif. On trouve aussi des recherches qui utilise LCC comme outil d'aide à la décision de la maintenance afin d'améliorer la maintenance préventive (Frangopol M et al, 1997), autres propose de prendre en considération les performances environnementales dans le processus de prise de décision dans le stade de conception d'un équipement à l'aide de LCC (Norris A, 2001), etc....

LCC est utilisé aussi dans les travaux publique et particulièrement dans la construction des bâtiments, citons dans ce sens (Boussabaine A , Kirkham J, 2004) qu'ils ont insisté sur la prise en considération des coûts relatifs à l'environnement parmi les coûts de cycle de vie des bâtiments. Et parmi ces coûts:

- Le coût du contrôle des émissions atmosphériques
- Le coût des ressources (à savoir l'énergie et l'eau) de consommation utilisées dans l'extraction et la production de produits
- Le coût de l'élimination des déchets
- Le coût du traitement des déchets, y compris les déchets solides et autres
- Le coût des éco-taxes
- Le coût de la pollution des mesures de réadaptation
- Le coût de la gestion environnementale.
- Le coût de démolition et réutilisation des déchets
- Etc.....

#### 2. 4.1 Forme d'intégration de la dimension environnementale en LCC

Comme nous avons vu LCC est traité de point de vue et de manières très différentes, cependant, les recherches qui traitent les coûts de cycle de vie d'un équipement industriel de point de vue consommateurs, en relation avec les coûts environnementaux restent très rares.

Pour le cas d'un investissement matériel au sein d'une industrie, le rôle de l'application de LCC, est de savoir décider la stratégie de maintenance à suivre et le moment opportun pour le remplacement de cet équipement. Et cela basé sur les coûts cités dans le paragraphe 2.3.

Nous proposons ainsi de remplacer l'équipement, ou de changer la stratégie de la maintenance, de corrective à préventive par exemple, si celui-ci commence ou continue à nuire l'environnement.

Les coûts environnementaux cités par (Boussabaine A , Kirkham J, 2004) se résument en deux grandes familles : 'coût de la gestion de l'environnement' et 'coût de pénalité dû à la dégradation de l'environnement'.

D'après notre hypothèse de départ selon laquelle la gestion environnementale améliore la gestion de la maintenance industrielle, l'intégration du coût de gestion d'environnement parmi les coûts de la maintenance dans les coûts de cycle de vie, amène à une contradiction. Donc nous proposons d'intégrer le coût relatif à l'environnement (Cenv) sous forme de 'coût de pénalité dû à la dégradation de l'environnement'.

La formule du coût de cycle de vie devient :

$$LCC = Ca + Cexp + Cm + Crv \pm Cenv \quad (16)$$

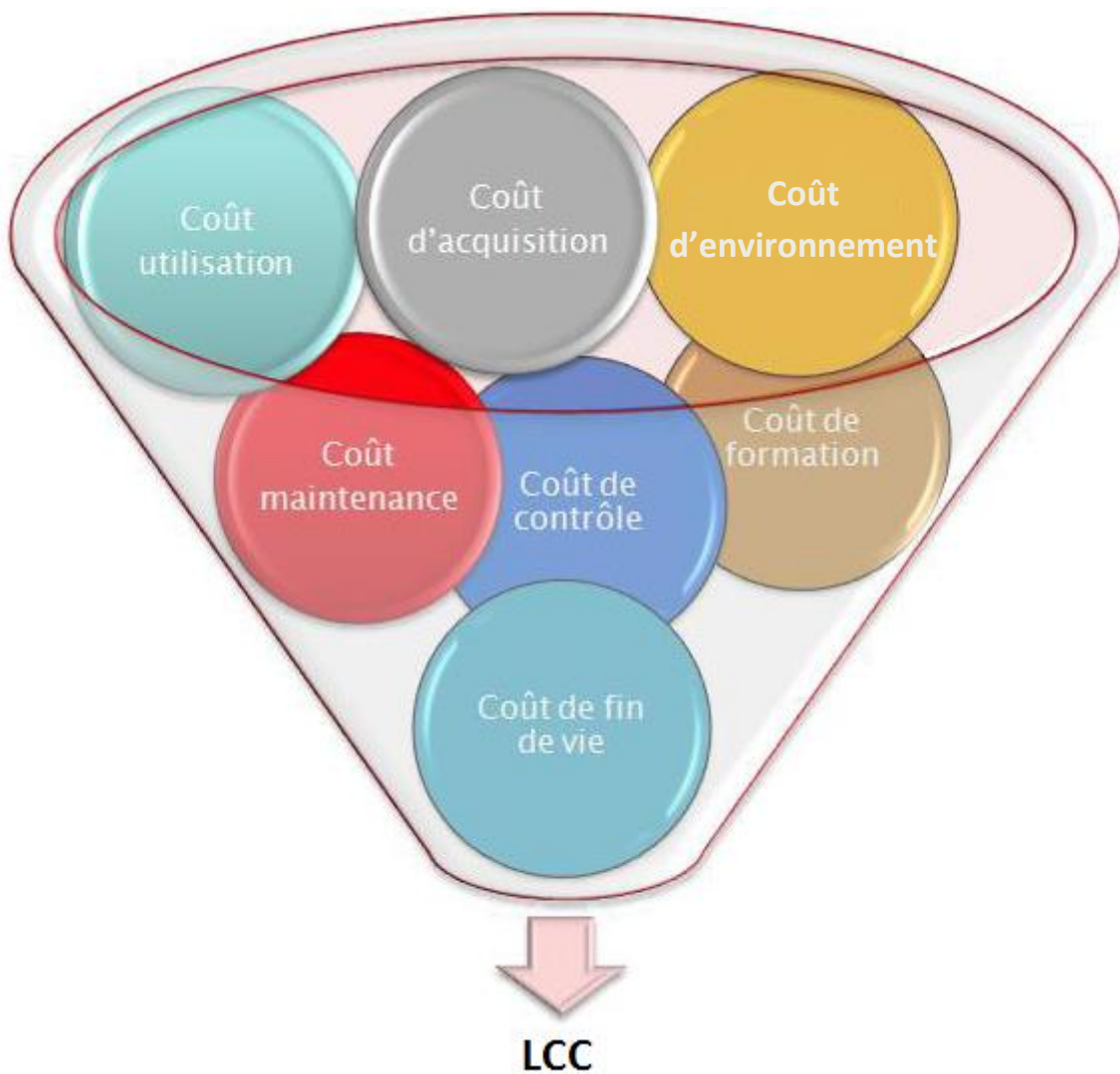


Figure 15 : Les composantes du coût de cycle de vie

## 2.4.2 La courbe représentative du coût de cycle de vie<sup>24</sup>

La courbe du coût du cycle de vie en tant qu'outil de prise de décision pour le remplacement d'un investissement matériel. Ce concept est fortement lié au pilotage de la gestion des actifs d'une entreprise.

Le coût de cycle de vie annuel augmente lorsque la durée de vie de l'équipement augmente, notamment en raison d'une augmentation des coûts d'exploitation (surconsommation de matières premières, besoin accru de lubrification, entretien de routine etc.) et surtout d'entretien et de réparation du matériel (pannes plus fréquentes, usure des organes).

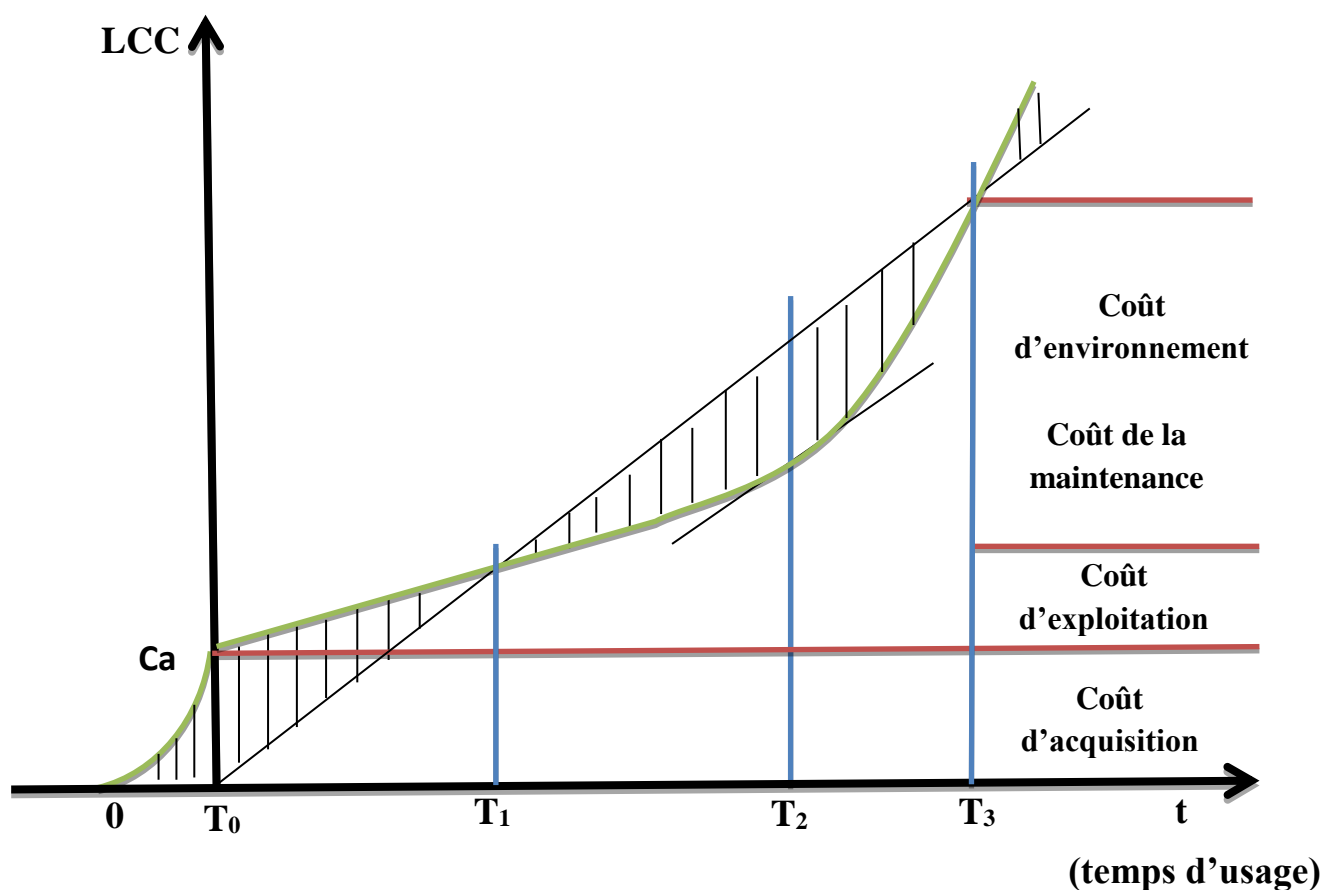


Figure 16 : La courbe représentative du coût de cycle de vie

<sup>24</sup> <http://wabtec.fr/gestion-life-cycle-cost-20.html>

- 0 : date de décision de l'investissement, où le responsable doit choisir un équipement durable
- $[0, T_0]$  : période d'études préliminaires à la mise en route  $T_0$ . Ca est le cumul des coûts d'acquisition.
- $[T_0, T_1]$  : période d'exploitation déficitaire.
- $[T_1, T_3]$  : zone d'exploitation rentable.  $T_2$  représente la période d'optimisation économique de l'équipement
- Au-delà de  $T_3$  : les coûts de maintenance ainsi les coûts d'environnement vont croître inexorablement. Le responsable maintenance doit intervenir afin de changer l'équipement qui influence l'environnement soit par les émissions soit par la surconsommation d'énergie, ou la politique de la maintenance.

Notons bien que notre proposition reste théorique tant que la loi environnementale n'est pas encore en vigueur et tant que le coût relatif à l'environnement ( $C_{env}$ ) qui signifie 'coût de pénalité dû à la dégradation de l'environnement' n'existe pas au niveau du Maroc.

## **Chapitre 4 :L'expérimentation qualitative du modèle sur la relation « maintenance, environnement »**

### **I. Présentation de l'échantillon et du questionnaire**

Afin de valider notre modèle, nous avons collecté 30 réponses auprès de 13PMEs marocaines dans des secteurs d'activités variés : le secteur agro-alimentaire, le secteur de la construction automobile, le secteur d'emballage, le secteur d'énergie, le secteur d'agriculture et le secteur de la thermomécanique...

Dans chaque entreprise, nous avons essayé d'avoir les réponses des services concernés par notre problématique (la relation maintenance & environnement). Le nombre d'entreprise par secteur d'activité, le nombre de réponse par entreprise ainsi que la qualification du répondant sont récapitulés dans le tableau suivant :



Tableau 11 : Récapitulation sur les données de l'échantillon

Secteur d'activité	Nombre d'entreprises dans le secteur	Nombre de réponse	Qualification du répondant
<b>Agro-alimentaire</b>	1	3	Responsable maintenance/ responsable QSE/ responsable production
<b>Emballage</b>	1	1	responsable Système de Management Intégré (SMI)
<b>Thermomécanique</b>	1	1	Responsable Département Production
<b>Automobile</b>	3	7	Responsable environnement/ Responsable maintenance/responsable production
<b>Agriculture</b>	1	1	Responsable service maintenance groupe
<b>Energie</b>	2	2	Responsable maintenance / Responsable QSE
<b>Mines et Hydrométallurgie</b>	1	1	Responsable maintenance
<b>Electropompes immergées/Electropom pe de surface/Stations de pompage</b>	1	4	Responsable production /Responsable bureau de méthode/responsable contrôle qualité
<b>Poteaux béton/Compteurs d'eau et électriques</b>	1	3	Responsable production/responsable maintenance/contrôleur technique
<b>Electricité/ Eau /Electromécanique</b>	1	7	Responsable production/responsable maintenance/contrôleur technique/responsable méthode/ coordinateur technique
<b>Total</b>	13	30	

Le questionnaire que nous avons proposé se compose de deux types de questions, questions fermées et questions ouvertes, et propose d'évaluer deux dimensions:

- La première dimension vise à évaluer l'impact de la gestion de la maintenance sur la performance environnementale. Les questions posées dans ce sens permettent d'évaluer, pour les entreprises ayant un SME, si la gestion de la maintenance contribue à :
  - Prolonger la durée de vie de votre matériel,
  - Réduire des nuisances sonores (ex. : vibration d'un moteur),
  - Réduire la consommation de la matière et d'énergie (ex. : l'eau potable et l'électricité),
  - Réduire les déchets solides et liquides (fuite d'huile...) et la pollution de l'air (fuite de gaz...).
- La deuxième dimension vise à évaluer l'impact du SME sur la performance de la maintenance. Les questions posées dans ce sens sont destinées à évaluer si la mise en place d'un SME impacte la gestion de la maintenance. Dans le cas où cet impact est ressenti dans l'entreprise, notre questionnaire permet de situer cet impact dans les 5 M de la maintenance (Main d'œuvre, méthode, milieu, matière et matériel).

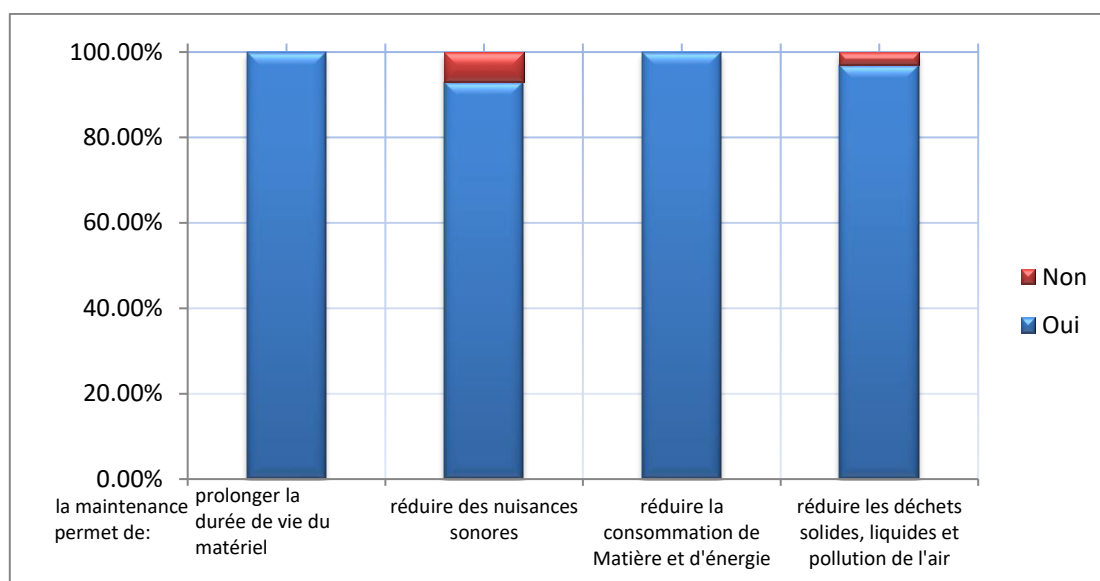
Toujours dans le cadre de l'évaluation de l'impact du SME sur la gestion de la maintenance, nous avons posé une question relative au Life Cycle Cost (LCC). Cette question permet d'évaluer si la mise en place du SME a permis de réduire le LCC (en réduisant les coûts relatifs aux pénalités résultants du non-respect de l'environnement).

Dans le même sens, une autre question a été posée sur l'impact du SME sur la réduction des coûts de maintenance.

## **II. Présentation des résultats**

### **1. L'impact de la maintenance sur l'environnement**

Toutes les réponses aux questionnaires ont confirmé que la maintenance permet de prolonger la durée de vie d'un matériel et réduire la consommation de matière et d'énergie. Aussi 93% de réponses ont souligné l'impact positif de la maintenance pour réduire les nuisances sonore et 97% des personnes interviewées ont agréé que les actions de la maintenance peuvent ainsi diminuer les déchets solide et liquide et la pollution de l'air (voir figure n° 17 suivante).



**Figure 17 : Evaluation de l'impact de la gestion de la maintenance sur l'environnement**

Les réponses aux questionnaires sont souvent basées sur le constat sur terrain. Les données tangibles permettant de supporter ces réponses ne sont pas forcément disponibles. En plus, le degré de maturité des SMEs des entreprises interviewées ne permet pas de répondre objectivement à certaines questions telle que 'l'impact de la maintenance sur la prolongation de la durée de vie du matériel'.

Globalement, nous allons estimer l'impact de la maintenance sur l'environnement en calculant le score total (SC total) obtenu pour toutes les questions en prenant en considération tous les répondants.

Le score total de cette dimension (SC total) est calculé en fonction du score obtenu par question (SC qst), du nombre de questions posées (nq) dans cette dimension et le nombre de répondants (nr). Ainsi, SC total est calculé comme suit :

$$SC\ total = \sum_{j=1}^{j=nr} \sum_{i=1}^{i=nq} (SCqst) \quad (17)$$

Le (SCqst) peut prendre deux valeurs : 0 quand la réponse est 'non' et 1 quand la réponse est 'oui'. Tous les répondants ont le même poids.

Sachant que  $0 \leq SC\ total \leq 120$ , nous allons considérer :

- L'impact est faible Si  $0 \leq SC \text{ total} \leq 30$ ,
- L'impact est moyen Si  $30 \leq SC \text{ total} \leq 60$  et
- L'impact est significatif Si  $60 \leq SC \text{ total} \leq 120$ .

Le dépouillement des questionnaires a donné un  $SC \text{ total} = \sum_{j=1}^{j=30} \sum_{i=1}^{i=4} (SCqst) = 117$ . Cela signifie que l'impact de la gestion de la maintenance sur l'environnement est significatif.

Les résultats obtenus confirment notre hypothèse selon laquelle la gestion de la maintenance améliore les performances environnementales.

## 2. L'impact du SME sur la gestion de la maintenance

L'évaluation de l'impact d'une mise en place d'un SME sur le fonctionnement du service maintenance est représentée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 12 : L'impact d'un SME sur la maintenance**

	<b>Pourcentage de réponses confirmant l'impact du SME sur les 5M maintenance</b>	<b>Pourcentage de réponses où l'impact du SME sur la maintenance n'est pas ressenti</b>
<b>La mise en œuvre d'un SME a-t-il impacté le fonctionnement du service maintenance ?</b>	<b>97%</b>	<b>3%</b>

97% des réponses ont confirmé l'impact de la gestion environnementale sur la gestion de la maintenance.

Les réponses ont permis de situer cet impact selon les 5M représentés ci-dessous sous forme d'un diagramme Ichikawa (voir figure n°18).

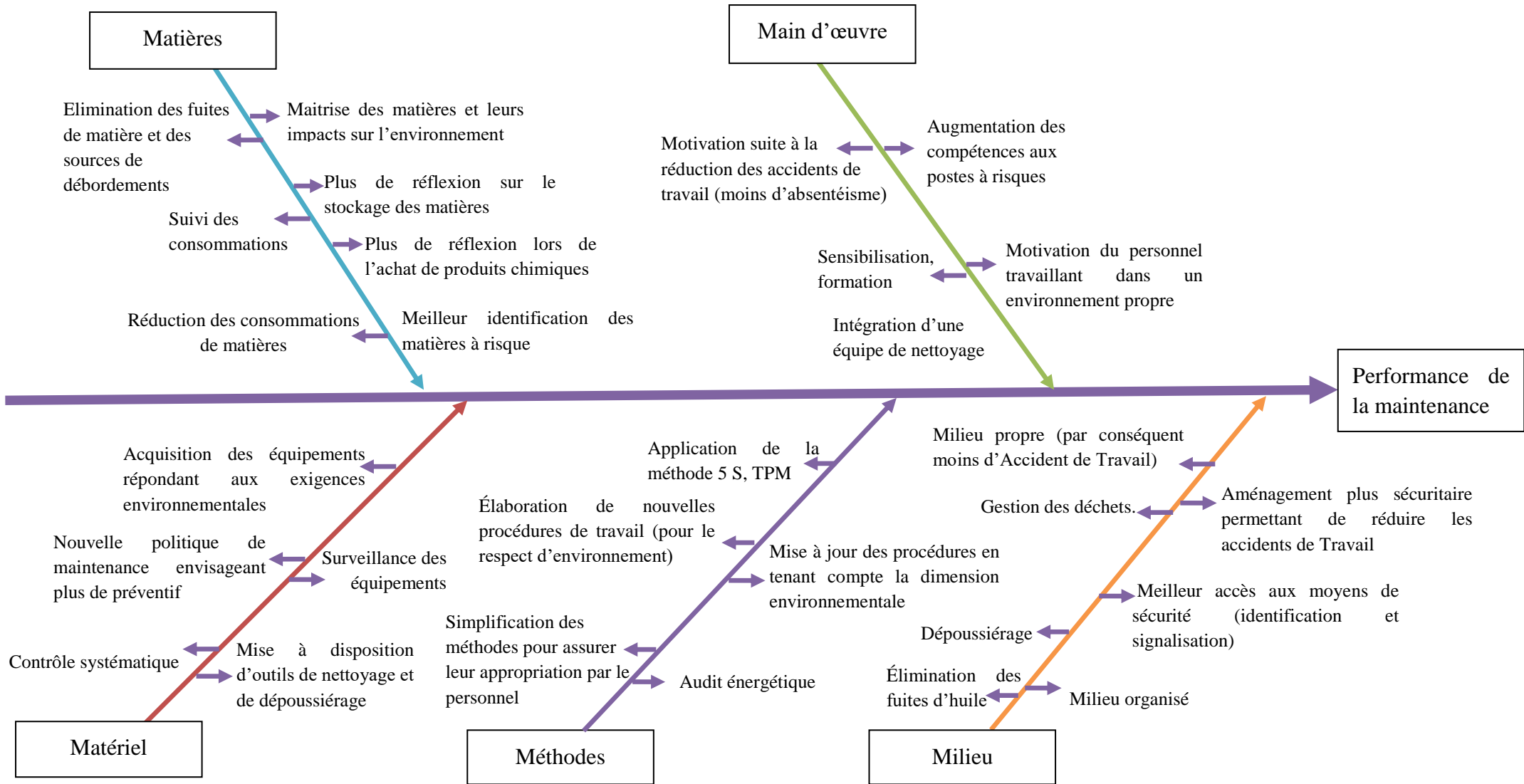


Figure 18 : L'impact de la mise en place d'un SME sur la gestion de la maintenance selon les 5M

Les réponses concernant l'impact du SME sur la gestion de la maintenance se basent principalement sur l'expérience sur terrain des différents répondants. Ces réponses confirment notre hypothèse selon laquelle le SME améliore le mode de management et les indicateurs de performance de la maintenance.

Aussi, nous n'avons reçu aucune réponse concernant l'impact du SME sur le Life Cycle Cost (LCC). Cela se traduit d'une part par le fait que, la loi environnementale au Maroc n'est pas encore applicable, d'autre part, le système d'information des entreprises de notre échantillon ne calcule pas le LCC et bien évidemment l'intégration des coûts relatifs aux pénalités suite au non-respect de l'environnement n'est pas encore faite. Enfin, nous n'avons pas reçu de réponse concernant la question sur l'impact du SME sur la réduction des coûts de maintenance pour les mêmes raisons citées avant.

## **Chapitre 5 : Expérimentation du modèle dans une entreprise marocaine**

### **I. Présentation de l'entreprise BOISGAZ**

L'entreprise BOISGAZ est un leader national agroalimentaire de boissons gazeuses. Elle met en bouteille et commercialise 14 marques avec ses différents parfums, ce qui totalise 104 références. Le processus de fabrication au sein de BOISGAZ passe par plusieurs étapes :

Le traitement d'eau ayant pour objectif d'avoir la bonne qualité d'eau à tout moment, l'élimination des substances colloïdes et les matières en suspension pouvant être présentes dans l'eau de ville, l'élimination de toute coloration, odeur et goût indésirables et la diminution de l'alcalinité.

Après l'étape de traitement des eaux vient celle de la fabrication de deux sortes de sirops : le Sirop simple et le Sirop fini.

En fin, vient l'étape de la mise en bouteille en deux types : bouteilles en verre et bouteilles en PET.

L'entreprise est certifiée OHSAS-18001 ; ISO-9001 ; ISO-14001, ISO-22000.

### **II. Analyse environnementale de l'entreprise BOISGAZ**

L'entreprise BOISGAZ est certifiée 14001 depuis 2005, elle est en 3<sup>ème</sup> phase de maturation<sup>25</sup> du SME. Cette entreprise présente des aspects divers à l'environnement, nous présentons ci-dessous le logigramme d'identification des aspects environnementaux au sein de l'entreprise BOISGAZ.

#### **1. Identification des aspects environnementaux dans l'entreprise BOISGAZ**

L'identification des aspects environnementaux est assurée par le RMQSE en collaboration avec les responsables concernés. Ceux-ci procèdent à l'identification des activités de tous les processus de BOISGAZ pouvant avoir des interactions avec l'environnement. Chaque

---

<sup>25</sup>AFNOR, *AFAQ Environnement par Etapes, La certification ISO 14001 à votre portée*, basée sur le fascicule de documentation (FD X 30-205).

activité est ensuite décortiquée en tâche afin de cerner tous les impacts et risques significatifs liés à l'environnement.

Pour chaque type de tâche ou opération effectuée, on procède à l'identification des aspects environnementaux. Une analyse de ces impacts permet de ressortir les aspects environnementaux dans les conditions normales et anormales.

Après avoir identifié les impacts négatifs, il est essentiel de déterminer si ces impacts sont significatifs ou non significatifs. La méthode d'évaluation des aspects environnementaux se base sur les règles suivantes :

- La définition du critère qui présente le produit de la fréquence de l'opération et donc de l'aspect, de la probabilité d'occurrence de l'impact et de la gravité de l'impact.
- La définition du seuil de significativité : un aspect est considéré comme étant significatif lorsque :
  - Il existe une réglementation ou une exigence de l'ISO 14001
  - Le produit de la fréquence\* probabilité\*gravité dépasse 24
  - La gravité est de 4

Après avoir ressortir les aspects environnementaux significatifs, le RMQSE en collaboration avec les responsables concernés procèdent à une hiérarchisation des aspects significatifs afin d'établir un plan d'action et des objectifs ou cibles pour les aspects les plus significatifs.

Les éléments de maîtrise existants et prévisionnels sont établit dans l'analyse pour l'ensemble des aspects.

Chaque modification dans les produits, la structure, l'activité, l'outil de production ou la logistique de BOISGAZ pouvant avoir un impact sur les aspects environnementaux, donnent lieu à une étude d'évaluation par le RMQSE, le responsable concerné et le chef de projet en cas de nouveau projet.

Une mise à jour, si nécessaire, de l'analyse environnementale est réalisée à la fin de chaque changement.



Les impacts environnementaux significatifs donnent lieu à l'élaboration des actions ou des mesures de maîtrise, l'élaboration d'un plan d'urgence selon la procédure de prévention des situations d'urgence.

## 2. La gestion des déchets

Les déchets produits par BOISGAZ sont de trois catégories :

Les déchets industriels spéciaux (DIS)<sup>26</sup> : Ces déchets contiennent des éléments polluant en concentration plus ou moins forte. Ils présentent un certain risque pour la santé de l'homme et l'environnement et doivent subir un traitement spécial et ne doivent être éliminés directement dans les décharges contrôlées.

Les déchets industriels banals (DIB)<sup>27</sup> : Appelés quelque fois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils sont véhiculés vers une décharge contrôlée et par un organisme qualifié. Pour chaque enlèvement, un bon d'enlèvement établi par le transporteur est cacheté au niveau de BOISGAZ et le cumule des différents bons sert à la vérification de la facture et delà au paiement du fournisseur à la fin de chaque mois.

Les déchets industriels inertes<sup>28</sup> : Ces déchets ne subissent pas d'évolution physique ou chimique importante. Ils sont essentiellement constitués de débarras et gravats et ne doivent pas être mélangé avec d'autres déchets.

L'ensemble de ces déchets est géré par l'entreprise soit par le recyclage (Par exemple : refondre les bouteilles en verre cassés pour en faire des neuves), soit par un traitement (réduction, dans des conditions contrôlées, du potentiel polluant initial des déchets et / ou des flux de déchets à mettre en décharge), soit par la valorisation (le réemploi, la réutilisation, le recyclage ou la régénération des déchets) ou par la vente des déchets.

---

<sup>26</sup> DIS : déchet toxique présentant un danger pour l'homme et pour l'environnement et nécessitant des précautions particulière lors de son traitement (pile, aérosols, peinture, ...)

<sup>27</sup> DIB : Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.

<sup>28</sup> Les déchets inertes (DI) : déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. ([http://212.43.237.181/normalisation/Fiche.aspx?chapitre\\_id=7&fiche\\_id=62](http://212.43.237.181/normalisation/Fiche.aspx?chapitre_id=7&fiche_id=62))

L'entreprise procède aussi à la mesure et l'analyse du niveau d'exposition sonore quotidienne dans l'usine. C'est-à-dire le niveau du bruit émit dans l'environnement par l'entreprise BOISGAZ.

Toujours dans le cadre de la gestion des déchets, l'entreprise possède une station d'épuration de l'eau (STEP) située à côté du site de production de BOIGAZ qui se trouve dans la zone industrielle. La station assure le traitement des eaux résiduaires de la société BOIGAZ et verse dans le réseau d'assainissement de la ville de Fès. La STEP est constituée :

- D'une chaîne de traitement composée d'un dégrilleur grossier, d'un tamis fin, d'un bassin d'homogénéisation, d'un bassin de répartition, de deux bioréacteurs, d'un bassin de floculation, d'un flottateur (clarificateur), d'un bassin de désinfection, d'un bassin des boues, d'une boucle de recyclage des boues, d'une centrifugeuse et d'un compresseur,
- D'un local technique contenant une armoire électrique permettant d'automatiser, de commander et de contrôler les actionnements électriques de l'installation.

Il faudrait noter que BOISGAZ, dans l'attente du fonctionnement de la STEP de la ville de Fès, elle doit répondre aux normes exigés par la société mère et les normes définie par la RADEEF, qui sont les normes marocaines de rejets indirects, puisque l'usine déverse ces effluents dans le réseau d'assainissement de la ville de Fès.

A l'entrée de la STEP le pH est basique du fait que les effluents de l'eau à l'entrée sont riches par la soude utilisée pour le nettoyage des bouteilles. La température de l'eau et les concentrations DBO5, DCO5 et ME dépassent les valeurs indiquées par la norme marocaine des rejets indirects et de BOIGAZ (voir le tableau n°13)

**Tableau 13 : Normes marocaines des rejets indirects de BOIGAZ**

<b>Industrie</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>	<b>DBO5 (mg/l)</b>	<b>DCO (mg/l)</b>	<b>ME (mg/l)</b>
<b>Valeurs</b>	6---9	35	500	1000	600

### 3. Les indicateurs environnementaux de BOISGAZ

Les indicateurs environnementaux de BOISGAZ sont regroupés en famille et sont calculés comme suite:

- Ratio énergétique (électricité, fuel, soude):
  - ELECTRICITE (LPF/KWh): la production du produit fini en litre (l)/consommation d'électricité en KWh
  - FUEL (LPF/KG): la production du produit fini en litre (l)/ la consommation de fuel en Kg
  - SOUDE (GR/LPF) : la consommation de la soude en gramme (GR)/la production du produit fini en litre (l)
- Rendement de la matière première (concentré, l'eau, sucre, CO2)
  - CONCENTRE : la quantité de concentré théorique utilisée /la quantité de concentré utilisée
  - SUCRE : la quantité de sucre théorique utilisée /la quantité de sucre utilisée
  - CO2 : la quantité de CO2 théorique utilisée /la quantité de CO2 utilisée
  - EAU (L/LPF) : la consommation de l'eau en (l)/la production du produit fini en litre (l)
- Rendement de la matière d'emballage (bouchon, capsule, étiquette)
  - BOUCHONS & CAPSULES : nombre de bouchon qu'il faut utiliser théoriquement (calculer à partir de la production de produit fini) /nombre de bouchon utilisé
  - ETIQUETTES : nombre d'étiquette qu'il faut utiliser théoriquement / nombre d'étiquette utilisé
- Ratio déchets : la quantité de déchets en Kg/ la production du produit fini en (l)
- Rendement de la STEP : la quantité d'eau entrant non traité/ la quantité d'eau sortant traité

Les objectifs sont fixés et exigé par la société mère, ils sont généralement les meilleures valeurs atteintes par les différents sites.

### **III. Analyse de l'organisation maintenance de BOISGAZ**

Le service maintenance chez BOISGAZ a pour objectif d'assurer la disponibilité et le bon fonctionnement du matériel.

Pour assurer le bon fonctionnement de ses moyens matériel, BOISGAZ assure la maintenance des équipements selon des modalités spécifiées de maintenance préventive (le cas échéant) et corrective (par le biais de demande d'intervention).

Indicateur de performance :

- Taux de maintenance préventif = durée intervention préventif / durée intervention totale
- Rapport préventif /correctif
- Disponibilité =  $MTBF / (MTBF + MTTR)$  = Temps de production réel/ Temps de production théorique.
- Respect du budget maintenance
- Nombre d'AT (accident de travail)

La maintenance s'occupe de l'entretien de tous les équipements de la société et garantie à ses derniers un bon état de fonctionnement surtout aux machines servant à la production. Pour cela les différentes politiques de maintenance correctif et préventif sont adoptées par le service et appliquées en fonction des situations qui peuvent se présenter.

### **IV. Expérimentation de la relation « environnement - maintenance »**

#### **1. L'impact de la gestion de la maintenance sur la gestion de l'environnement**

Afin de mesurer l'impact de la maintenance sur l'environnement, nous avons commencé par analyser le tableau de bord (ou le reporting) environnement. Ce TDB est constitué d'un ensemble d'indicateurs regroupés en trois familles : la famille 'matières premières', la famille 'matière énergétique' et la famille 'matière d'emballage'.

Au sein de chaque famille, un ensemble d'indicateurs est défini, calculé et ensuite comparé avec l'objectif de l'année en question (voir tableau n°14).

Le calcul de ces indicateurs pour l'année 2014 a montré plusieurs écarts négatifs. Ces écarts interpellent le service maintenance et nécessitent de prévoir un plan d'action (voir tableau n°15).

**Tableau 14 : Le reporting relatif à l'année 2014**

		<b>Ecart 14Vsubj</b>
MATIERES PREMIERES (%)	CONCENTRE	<b>-0,04</b>
	SUCRE	<b>-0,08</b>
	CO2	<b>-0,59</b>
	EAU (L/LPF)	<b>0,25</b>
MATIERES ENERGETIQUES	ELECTRICITE (LPF/KWh)	<b>-1,29</b>
	FUEL (LPF/KG)	<b>-18,88</b>
	SOUDE (GR/LPF)	<b>-0,3</b>
MATIERES D'EMBALLAGES (%)	BOUCHONS & CAPSULES	<b>-0,05</b>
	ETIQUETTES	<b>0,04</b>

Tableau 15 : Un plan d'action de maintenance relatif à l'année 2014

Indicateur de suivi		Ecart/objet	analyse de cause	Action	Resp	Status
Matières premières	Rendement concentré et sucre	<b>-0,04</b> <b>-0,08</b>	température ambiante de la salle est élevée.	Climatisation (refroidissement) de la salle de siroperie.	RP/RM	Planifié
			Température de sirop est élevée.	Mise en place d'un nouvel échangeur.	RM	Planifié
			Fluctuation de brix.	Contrôle pipes, débitmètres et clapets	RM	Planifié
	CO2	<b>-0,59</b>	Analyse de rendement CO2.	Montage de la vanne ce désaération V2, Changement de détendeur Air Liquide Vérification du circuit CO2 : Mixeur et soutireuse (fuite et pression)	RM	Planifier
matière énergétique	Rendement Fuel	<b>-18,88</b>	Rendement chaudière faible.	Analyse du rendement de la chaudière	RM	Planifié
			Rendement chaudière faible.	Mesurer la température de la fumée	RM	
				Analyse de la combustion, ramonage de la chaudière N° 3		
				Vérification de la détente entrée laveuse V1 et filtre à charbon		
				Traitement anti tartre et Contrôle des purgeurs		
	Installation d'une détente à l'entrée de la laveuse V2 et des filtres à charbon					
	Electricité	<b>-1,29</b>	Colmatage des échangeurs LV1/LV2.	changement des joints des échangeurs LV1/LV2.	RM	Planifié
			Colmatage échangeurs NH3/Glycol.	Révision des échangeurs de froid	RM	Demande offre
			Colmatage des échangeurs siroperie.	Révision échangeur contimol et changement du refroidissement SS	RM/RP	Planifié
			Fuites d'air.	Elimination des fuites d'air.	RM	Planifié
Analyse consommation d'électricité.			Automatisation des convoyeurs lignes verre, sensibiliser les conducteurs sur l'arrêt des convoyeurs en cas de l'arrêt de production.	RM	Planifié	
Soude	<b>-0,3</b>	consommation de soude élevée.	Baisser le nombre de vidange laveuse par une meilleure extraction étiquettes	RM	Planifié	
			Suivi de la consommation de soude (Fuites, Laveuses) maitrise de la consommation de soude	RM/RP	Planifié	
Matière d'emballage	Bouchon couronne	<b>-0,05</b>	Analyse de rendement bouchons.	Systématiser le comptage des réceptions suite à une baisse de rendement	RM	Planifié
				Révision de la tête capsuleuse défectueuse	RM	Planifié
				Vérifier le réducteur soutireuse V2 et les étoiles d'entrée pour baisser le taux de bouteille non remplie	RM	Planifié

La mise en œuvre du plan d'action a amélioré, pour l'année 2015, l'ensemble des indicateurs qui représentaient problème pour l'année 2014. Ainsi, en 2015, la comparaison des performances réalisées au niveau de l'environnement avec l'objectif 2015 (le même objectif 2014) montre une amélioration des performances environnementales comme l'indique le tableau n° suivant :

**Tableau 16: Le reporting récapitulatif relatif à l'année 2015 et l'année 2014**

		<b>Ecart 14Vsobj</b>	<b>Ecart 15Vs Ob</b>
MATIERES PREMIERES (%)	CONCENTRE	<b>-0,04</b>	<b>0,11</b>
	SUCRE	<b>-0,08</b>	<b>0,15</b>
	CO2	<b>-0,59</b>	<b>0,92</b>
	EAU (L/LPF)	<b>0,25</b>	<b>-0,29</b>
MATIERES ENERGETIQUES	ELECTRICITE (LPF/KWh)	<b>-1,29</b>	<b>0,34</b>
	FUEL (LPF/KG)	<b>-18,88</b>	<b>-6,52</b>
	SOUDE (GR/LPF)	<b>-0,3</b>	<b>-0,14</b>
MATIERES D'EMBALLAGES (%)	BOUCHONS & CAPSULES	<b>-0,05</b>	<b>0,00</b>
	ETIQUETTES	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>

En conséquence, les actions maintenance ont amélioré pour l'année 2015 les performances environnementales. Ceci confirme notre hypothèse selon laquelle une amélioration de la maintenance améliore les performances environnementales.

Au niveau de la STEP, la disponibilité est indispensable pour limiter les rejets liquides dans l'environnement. Cependant, nous avons constaté que la station subie plusieurs pannes avec des durées d'arrêts importantes pouvant atteindre jusqu'à 3 jours (voir figure n°19).

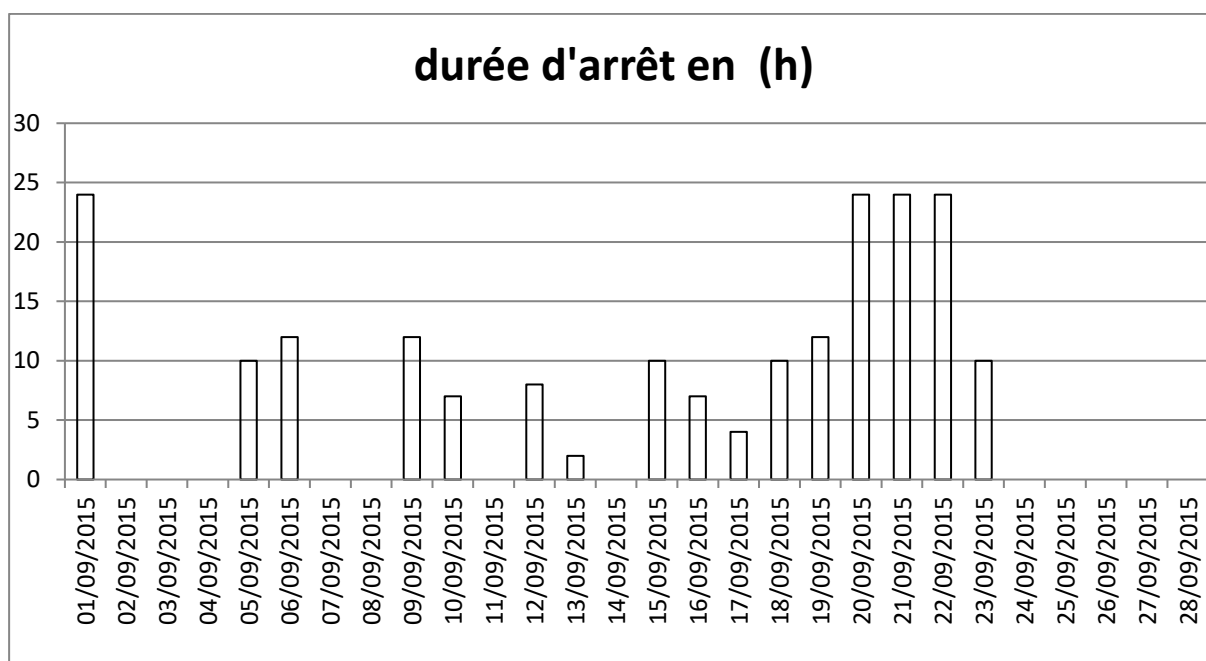


Figure 19 : Temps d'arrêt de la station STEP en septembre 2015 (selon le menu d'alarme)

La réduction de ces pannes nécessite une action maintenance. Cependant, nous avons constaté un manque d'intérêt porté à la station. En effet, la maintenance de la STEP n'est pas une priorité pour le service maintenance. D'un autre côté, les indicateurs de performance concernant la STEP calculent différents rendements mais ce calcul ne tient pas compte de la disponibilité de la STEP (le rendement est calculé quand la STEP est en marche).

Ainsi, un manque de maintenance au niveau de la STEP entraîne une dégradation environnementale (voir par exemple le tableau n° 17 sur les valeurs des indicateurs environnementaux à l'entrée de la STEP). En effet, le PH ainsi que les différentes concentrations DBO5, DCO et ME dépassent de loin les valeurs exigées par la réglementation (voir tableau n° 13 sur la réglementation).

Ceci confirme notre hypothèse selon laquelle un manque de maintenance entraîne une dégradation environnementale.



**Tableau 17: Les valeurs des indicateurs environnementaux à l'entrée de la STEP**

<b>Mois 04/2014</b>					
<b>Paramètres</b>	<b>T (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>DCO (mg/l)</b>	<b>DBO 5 (mg/l)</b>	<b>MES (mg/l)</b>
<b>E</b>	27	10,2	2513,1	595	281,6

## **2. L'impact de la gestion de l'environnement sur la gestion de la maintenance**

Afin de mesurer l'impact de la gestion de l'environnement sur la maintenance chez l'entreprise BOISGAZ, nous avons analysé le SME de l'entreprise particulièrement comment l'entreprise a répondu aux exigences du paragraphe 4.4.1, qui traite entre autre les exigences relative à la maintenance. Cette analyse a montré qu'on a tenu compte, lors de la conception et la mise en œuvre du SME, d'une organisation particulière du processus maintenance exigeant de celui-ci de prévoir plus de maintenance préventive que de maintenance corrective. Cette organisation s'est traduite par les nouveaux indicateurs de performance :

- Taux de maintenance préventif = durée intervention préventif / durée intervention totale
- Rapport préventif /correctif = 95/5

Notons que ces deux indicateurs (imposés par le service QSE) ont un impact positif sur la disponibilité (indicateur de performance maintenance) calculée aussi par le service maintenance de BOISGAZ selon la formule suivante :

- Disponibilité =  $MTBF / (MTBF + MTTR)$

Le tableau n°18 suivant récapitule le calcul des différents indicateurs maintenance pour l'année 2015.

**Tableau 18: Récapitulation du calcul des indicateurs de maintenance pour l'année 2015**

Maintenance		Réalizations											
Indicateurs de Performance	Objectifs	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Taux de maintenance préventive	Sup 95 %	94.5	98.5	95	97	95.5	98.9	99.6	93.8	97.6	98.7	95	
Taux de maintenance corrective	Inf 5 %	5.5	1.5	5	3	4.5	1.1	0.4	6.2	2.4	1.7	5.1	
Taux de disponibilité de la ligne	97,5 %	94	98	96	98	97	98	99	82	98	99	95	

D'un autre côté, le management environnemental exige d'identifier pour l'ensemble des processus de l'entreprise, y compris le processus maintenance, les aspects environnementaux et leurs impacts. L'analyse des différents aspects environnementaux montre qu'il y a des aspects propres à la maintenance (mode de fonctionnement normal du service maintenance). D'autres aspects liés à la production apparaissent en mode de fonctionnement anormal de la production à cause d'un arrêt ou une dégradation du matériel.

Ainsi, la gestion de ces aspects et la maîtrise de leurs impacts exige des actions particulières au sein du service maintenance. Ces actions permettront de réduire la significativité des aspects.

Nous présentons dans le tableau suivant (tableau n°19), un extrait de notre analyse sur les aspects environnementaux.

Tableau 19 : Un extrait d'une analyse sur les aspects environnementaux significatifs

Activité		Aspect	Domaine	Impact	S=F.G.P
Production	Embouteillage	Rejet produit fini	Eau	Pollution DBO/DCO	24
	Codage	Fuite de solvant et encres	Eau	Contamination de la nappe phréatique par infiltration	24
	Lavage & Inspection des Bouteilles	Rejet d'eau chaude / Produits chimiques	Eau	Élévation de la température, Dégradation du réseau d'assainissement, dégradation faune et flore	27
CIP	Sanitation Equipements, Nettoyage et entretien	Rejets de soude caustiques de désinfectants et d'eau chaude	Eau	Contamination de la nappe phréatique / Faune et flore Dégradation du réseau d'assainissement	36
Traitement des eaux	Coagulation / Désinfection	Fuite de chlore et coagulant	Eau	Contamination de la nappe phréatique	36
	Régénération des résines	Rejet de Produits chimiques (HCl)	Eau	Contamination de la nappe phréatique	32
Général	Consommation des ressources	Consommation eau	Ressource	Épuisement de la ressource	48
		Consommation Électricité	Ressources	Épuisement de ressource	48
Maintenance industrielle & Travaux neufs	Montage, démontage et réglage	Rejet de chiffons souillés	Sol	Dégradation du paysage, contamination sol par infiltration	32
		Rejets des huiles usagées	Sol / Eau	Contamination de la nappe phréatique par infiltration, dégradation paysage	27
	Soudage & découpage	Rejet de déchets solides (Chutes...)	Sol	Dégradation du paysage	16

F:Fréquence de l'opération / Aspect  
G:Gravité de l'impact sur le milieu récepteur

P:Probabilité de manifestation d'un incident environnemental  
S: Significativité de l'aspect

Un plan d'action a été développé pour réduire la significativité des impacts, de nombreuses actions concernent le service maintenance tel que le développement et la gestion des procédures (par exp : les procédures de gestion des déchets liquides et solides et des procédures sur les consignes d'urgence), ainsi que des actions de formation/sensibilisation.

La maîtrise de ces aspects et leurs impacts nécessite une grande disponibilité du matériel. Pour y arriver le service maintenance (avec une recommandation du service QSE) envisage une organisation particulière à travers le développement d'un ensemble de procédures et l'adoption de la maintenance préventive (un taux de 95%).

## Conclusion générale

Si l'impact négatif d'un système de production sur l'environnement et l'impact de la gestion de la maintenance sur le système de production semblent évidents, les impacts directs entre la maintenance et l'environnement ne le sont pas toujours. Notre recherche s'inscrit dans ce cadre et montre que la gestion de la maintenance impacte la performance environnementale, ainsi une bonne gestion environnementale au sein d'une industrie influence la gestion de la maintenance.

Au terme de ce manuscrit, il apparaît utile de synthétiser les développements précédents afin d'être en mesure de dégager l'apport de notre modèle.

Les deux premiers chapitres sont consistés à présenter l'objet du présent travail de recherche à savoir l'environnement, le SME et la maintenance.

Nous avons procédé tout d'abord à une étude approfondie sur l'environnement et sa relation avec l'entreprise à travers un SME et son coté normatif à l'aide de l'ISO 14001 puisque nous avons constaté que c'est la norme la plus utilisée,

Nous avons souligné l'enjeu de l'environnement à travers l'analyse des relations de l'environnement et le trio « entreprise, société et réglementation » et la définition des actions internationales et national en matière environnementale. Et nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à définir ce que recouvrait exactement la mesure de la performance environnementale. Cette présentation générale a mis en avant l'importance des notions d'indicateurs et de pilotage, et la nécessité de définir selon nos propres objectifs, les indicateurs de performance environnementale adaptés à la maintenance industrielle.

Afin de prolonger l'identification des risques environnementaux des entreprises, nous avons mené une analyse sur les aspects environnementaux des entreprises sur l'environnement au Maroc.

Puis, nous avons mené notre état de l'art par la définition de la maintenance, ses objectifs, ses types, ses stratégies et ses politiques, en mettant l'emphase sur la mesure de performance de la maintenance. Nous avons proposé ainsi dans ce chapitre, une définition de la maintenance verte qui prend en considération la dimension environnemental, aussi,

la contribution de la maintenance verte durant toute la vie d'un matériel à la protection de l'environnement.

Durant le troisième chapitre nous avons analysé la relation « environnement-maintenance». A l'issue de cette analyse nous avons proposé un modèle permettant d'illustrer, l'impact de la maintenance sur l'amélioration des performances de l'environnement, ensuite, les effets de la gestion de l'environnement sur la gestion de la maintenance.

Ensuite, et dans le même chapitre, nous avons proposé d'intégrer la dimension environnementale dans les outils d'aide à la décision de la maintenance AMDEC et LCC.

En fin, nous avons expérimenté notre modèle dans le contexte marocain, selon deux types d'expérimentation : l'approche qualitative et l'approches quantitative.

Pour l'approches qualitative à travers un questionnaire, nous avons collecté un échantillon de 30 réponses, auprès de 13 entreprises certifiées ISO 14001 ou ayant un SME, dans des secteurs variés : le secteur agro-alimentaire, le secteur de la construction automobile, le secteur d'emballage, le secteur d'énergie, le secteur d'agriculture et le secteur de la thermomécanique etc.

Le taux de réponse des questionnaires était de 38%, en effet, nous avons ciblé 80 personnes travaillant dans 40 entreprises dans les différents secteurs. Seulement 30 personne dans 13 entreprises qui ont répondu à notre questionnaire, par conséquent, la taille de l'échantillon était faible et ne permet pas une étude très fiable, d'ailleurs, c'est pour cela que nous avons eu recours au deuxième type d'expérimentation.

Pour la deuxième approche, nous avons tenté de valider quantitativement notre modèle auprès d'une PME marocaine dans le secteur agroalimentaire certifiée ISO 14001, à travers une étude de cas.

Ces deux types d'expérimentation, qualitative et quantitative, ont confirmé la relation entre la gestion de la maintenance et l'amélioration de la performance environnementale et aussi la relation entre la gestion environnementale et l'amélioration de la performance de la maintenance.

## Références bibliographiques

### 1. Articles et ouvrages

Aberre A et al. (2008). Supply chain verte : Enjeux et maturité des entreprises. 2e édition, *Observatoire de la supply chain* , 56 p.

ADEME . (2007). GUIDE DES FACTEURS D'EMISSIONS, Version 5.0, Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, l'ADEME .

AFNOR. (2011). principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grande consommation - partie 0 : principes généraux et cadre méthodologique. 30-323.

Agenda21. (1992). Agenda 21, <http://www.agenda21france.org/>.

André S. (2009). Evaluation de la performance non financière des entreprises : Apport des méthodes multicritère d'aide à la décision. *Thèse, Université Paris Dauphine* , (207 pages).

Arabian-Hoseynabadi H et al. (2010). Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines. *Electrical Power and Energy Systems* 32 , 817–824.

Arts, R. H. P. M, Knapp, G.M, Mann, L. (1998). "Some Aspects of Measuring Maintenance Performance in Process Industry." . *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , 4(1): pp6-11.

Artto K. (1994). " Life cycle cost concepts and methodologies ". *Cost Management* , pp 28-32.

Asiedu Y, Gu P. (2010). Product life cycle cost analysis: State of the art review. *International Journal of Production Research* , pages 883-908.

Badreddine A, BenRomdhane T, Ben Amor N. (2009b). A Multi-objective Approach to Implement an Integrated Management System: Quality, Security, Environment, Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol I, WCE , London, U.K.

Badreddine A, BenRomdhane T, Ben Amor N. (2009a). A New Process-Based Approach for Implementing an Integrated Management System: Quality, Security, Environment, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS, Hong Kong. Vol II.

Bahrami M et al. (2012 ). Innovation and Improvements In Project Implementation and Management; Using FMEA Technique, The First International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management.

Bamber C.J et al. (2003). Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , 9/3 : 223 - 238.

Barends D.M et al. (2012 ). Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* .

- Barthélemy B, Courrèges P. (2004). *Gestion des risques Méthode d'optimisation globale*. 2ème édition augmentée: Éditions d'Organisation,472 p.
- Beit M. (2004). PLANIFICATION DE LA PRODUCTION ET DES STRATÉGIES DE MAINTENANCE DES SYSTÈMES DE PRODUCTION, ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.
- BenAyed R. (2012). Eco-conception d'une chaîne de traction ferroviaire, thèse de doctorat, L'ÉCOLE CENTRALE DE LILLE.
- Ben-Daya M , Alghamdi A. S. (2000). On an imperfect preventive maintenance model. *International Journal of Quality and reliability Management*, Vol. 17, No. 6 , pp. 661-670.
- Berland N. (2009). Mesurer et piloter la performance. *e-book, www.management.free.fr* , p. 131-132.
- Berrah L. (1997). Une approche d'évaluation de la performance industrielle : Modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif, Thèse de Doctorat de l'INP Grenoble en Génie Industriel.
- Berrah L. (2013). La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières : de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs. *Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance* .
- Berrah L. (2002). *L'indicateur de performance : concepts et applications*. Editions Cépaduès. .
- Bescos P et al. (1993). *Contrôle de gestion et management*. Montchrestien, 2° édition.
- Bessire D. (1999). Définir la performance . *Comptabilité Contrôle Audit, septembre* , pp.127-150.
- Besson C, Ecoeur P, Frutschi J. (2014). Banc d'essais pour pompes de circulation, comparaison de l'efficacité énergétique des circulateurs, étude à HEIG-VD.
- Boiral O. (2009). Le système de management environnemental comme moyen de contrôle de la déclinaison et de l'émergence des stratégies environnementales, Université de Poitiers, Thèse de doctorat en sciences de gestion, soutenue en novembre .
- Bouches N. (1997). *La gestion des risques environnementaux dans les entreprises*. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Service de l'environnement industriel.
- Boucly F . (1998) . « *Le management de la maintenance évolution et mutation* » . Editions AFNOR.
- Boufateh Ben Arari I. (2011). contribution à l'évaluation de la supply Chain pour la filière textile : définition de critère de développement durable. *thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, France* .
- Bougerra S. (2012). intégration des stratégies de maintenance dans le calcul des extensions de garantie, Université de Lorraine – METZ, thèse.
- Bouquin H. (1986). *Le contrôle de gestion*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bouquin H. (2001). Le contrôle de gestion. *Presses Universitaires de France, Paris, 5ème éd* , 462 pages.



- Bouquin H. (2004). *Le contrôle de gestion, Presses Universitaires de France*, . Paris: Collection Gestion, 6ème édition, ,508 p.
- Bourguignon A. (1995). Peut-on définir la performance ? . *Revue Française de Comptabilité, juillet août* , pp.61-66.
- Bourreau L. (2012). Contribution de la dimension conformité règlementaire à la mesure de la performance des systèmes de management environnemental : Proposition d'un outil de mesure, l'École nationale supérieure des mines de Paris Spécialité " Sciences et génie des activités.
- Boussabaine A , Kirkham J. (2004). *Whole Life-cycle Costing Risk and Risk Responses*,Blackwell Publishing Ltd.
- Bachelet D , Thibault F. (2000). « *Indicateurs de maintenance des outils à la mesure d'une fonction* ». Publication du Centre Technique des Industries Mécaniques ( CETIM).
- Brundtland G H. (1987). «*Our common future*». In *Commission mondiale en environnement (Novembre 1987)*.
- Cabanne C. (1984). *Lexique de géographie humaine et économique*. éditions DALLOZ.
- Cândeia G et al . (2014 ). Usage of case-based reasoning in FMEA-driven software,8th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET "Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution, .
- Capron M. (2009). La responsabilité sociale d'entreprise. . In *L'Encyclopédie du Développement Durable. Auteurs. Capron. [http://encyclopedie-dd.org/IMG/pdf\\_N\\_99\\_Capron.pdf](http://encyclopedie-dd.org/IMG/pdf_N_99_Capron.pdf)* .
- Castka, Balzarova MA. (2018). An exploration of interventions in ISO 9001 and ISO 14001 certification context – A multiple case study approach. *Journal of Cleaner Production* , Volume 174, Pages 1642-1652.
- Chelbi A , Aït-Kadi D. (2009). *Inspection strategies for randomly failing systems. In Handbook of Maintenance Management and Engineering, 303–335. Springer, London.*
- Chin K.S et al. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *Int J AdvManufTechnol* , 36:633–649.
- Chouikhi H. (2012). Optimisation des stratégies de maintenance verte pour les systèmes de production de biens et de services, thèse, École doctorale IAEM Lorraine, UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique – Metz.
- Cikankowitz A. (2008). méthodologie d'évaluation des performances environnementales de techniques en vue de les comparer puis de les valider « meilleures techniques disponibles ». *thèse, l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne* .
- Coates D. J. (1992). Overview of ARP 4294: Data formats and practices for life cycle cost information. *SAE international* , Paper Number: 920970.

Cross M. (1988). "Engineering maintenance Organization Performance an Assessment of the Evidence from over 200 sites". *Management Research News*, Vol. 11 No. 1/2 , pp. 20-23.

De Groote P. (1995). "Maintenance performance analysis: a practical approach" . *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 1 No. 2 , pp. 4-24.

Dell'Isola A, Kirk S.J. (2003). *Life Cycle Costing for Facilities*. Kingston : Reed Construction Data.

DeSimone, L.D. F et al. (1997). Popoff and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Eco-efficiency. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, United States of America, 306 pages.

Desmazes J, Lafontaine J-P. (2007). L'assimilation des budgets environnementaux et du tableau de bord vert par les entreprises. *28e Congrès de l'association francophone de comptabilité, Poitiers* .

Dhillon B.S. (1989). *Life Cycle Costing: Techniques, Models, and Applications*. Amsterdam: Gordon & Breach Science pub.

Dias-Sardinha I. et al. (2002 ). From Environmental Performance Evaluation to EcoEfficiency and Sustainability Balanced Scorecards . *Environmental Quality Management - Vol. 12 - Issue 2* , p 51- 64, 14 pages.

Ding Z et al. (2018). A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages . *Journal of Cleaner Production* , volume 176, Pages 676-692.

El Aoufir H. (2003). contribution à la gestion des coûts de maintenance et l'aide à la décision des stratégies de maintenance, thèse de doctorat, l'École Mohammadia des Ingénieurs (EMI).

Eltayeb, T. K , Zailani S, Ramayah T . (2011). Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes. *Resources. conservation and recycling*, vol. 55, no 5 , 495-506.

Eti M. C, Ogaji S. O. T, Probert S. D. (2005). "Maintenance schemes and their implementation for the Afam Thermal-Power station". *Applied Energy*, Vol. 82 , pp. 255-265.

Färe R et al. (2000). An Index Number Ap-proach to Measuring Environmental Performance: An Environmental Kuznets Curve for the OECD Countries. *Department of Economics Working Paper, Oregon State University* .

Feili H.R et al. (2013). Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique, *Energy Conversion and Management* 72 . 69–76.

Fortuin L. (1988). Performance indicators, why, where and how? *European Journal of Operations Research*, 34 , pp. 1-9.

Francastel J.C. (2005). *Externalisation de la maintenance stratégie – méthodes – contrats*. Paris: 2ème édition, Dunod.

Frangopol M et al. (1997). Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures. *Journal of Structural Engineering* , Volume 123, Issue 10 (October) .

- Gautier F , Giard V. (2001). Vers une meilleure maîtrise des coûts engagés sur le cycle de vie, lors de la conception de produits nouveaux, Site de l'IAE de Paris : <http://panoramix.univ-paris1.fr/IAE/>.
- Gendron C. (2004). La gestion environnementale et la norme ISO 14001. *Les Presses Universitaires de Montréal, Montréal*.
- Giraud S. (2002 ). Introduction de L'intégration de la contrainte environnementale dans les entreprises concurrentielles: conditions et avantages des stratégies de protection de l'environnement.
- Glade M. (2005). *Modélisation des coûts de cycle de vie : prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité. Thèse de l'écolecentrale de Lyon*.
- Goffin L. (1992). *Problématique de l'environnement*. . Arlon: Fondation universitaire luxembourgeoise.
- Gormand C. (1995). Le coût global, pratique et études de cas, AFNOR, Paris.
- Gormand C. (1986 ). « *Le coût global (life cycle cost) pour investir plus rationnellement* » . Editions AFNOR .
- GRI. (1997). Global report initiative, <https://www.globalreporting.org/pages/default.aspx>.
- GRI. (2006). Indicateurs & protocoles : Environnement (EN), version 3.0. 29 p.
- Griffin J, Mahon J. (1997). The corporate social performance and corporate financial performance debate: twenty-five years of incomparable research. *Business and Society* , 36(1): 5–31.
- Halley P, Boiral, O. (2008). Les systèmes de gestion environnementales au Canada : Enjeux, et implications pour les politiques publiques. In Université Laval. Chaire de recherche. Chaire de recherche sur les normes de gestion du développement.
- Hansen R.C. (2001). *Overall equipment effectiveness: a powerful production /maintenance tool for increased profits*. Industrial Press.
- Hoffmann G. (2014). Coûts du cycle de vie (CCV): le développement durable comme facteur du succès économique, CONSTRUCTION & TECHNOLOGIE.
- Hubbard G. (2009). Measuring Organizational Performance: Beyond the Triple Bottom Line. *Business Strategy and the Environment, Bus. Strat. Env.* 18 , 177–191.
- IFEN. (1997). Indicateurs de performance environnementale de la France. *Orléans: IFEN, Paris : Lavoisier Tec&Doc* , 125p.
- Janicot L. (2007). « Les systèmes d'indicateurs de performance (IPE), entre communication et contrôle », . *Comptabilité Contrôle Audit, tome 13, vol. 1* , pp.47-68.
- Jannin M. (2000). *démarche d'Eco-conception en entreprise, un enjeu : construire la cohérence entre outils et processus*. ENSAM Chambéry: thèse de doctorat.

Jardine A. K. S, Joseph T, Banjevic D. (1999). Optimizing condition-based maintenance decision for equipment subject to vibration monitoring. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5, No. 3 , pp. 192-202.

Komonen K . (2002). "A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking". *International Journal of Production Economics*, Vol. 79 , pp. 15-31.

Konar S, Cohen RA. (2001). Does the market value environmental performance? *Review of Economics and Statistics* , 281–289.

Kumru M et al. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing* 13 , 721–733.

Laratte B. (2013). Evaluation dynamique et cumulative des impacts environnementaux dans le cadre d'une analyse de cycle de vie. *thèse de doctorat, l'UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE TROYES* .

Lebas M. (1995). Oui, il faut définir la performance . *Revue Française de Comptabilité, juillet- août* , pp.66-71.

Levine DI, C. A. (2006). Breaking down the wall of codes: evaluating non-financial performance measurement 48(2). *California Management Review* , 29–51.

Lyonnais P. (1992). *Maintenance mathématique et méthode*, . France: troisième édition, technique et édition Lavoisier.

Mahfoud H et al. (2015). Etude des stratégies de maintenance biomédicale : Situation actuelle et perspectives, article publié à la Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

majernik M , chovancova j. (2009). Application of Environment Management Systems in Environmental Security and Risk Prevention . *ActaMechanicaSlovaca* , 13 (3): 74-83.

Mandal S et al. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach, *Expert Systems with Applications* .

MDP. (2004). *Rapport d'une étude sur le développement d'un programme de communication sur le Mécanisme pour un Développement Propre*, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement, Royaum.

Melbouci L. (2008). L'ENTREPRISE ALGÉRIENNE FACE À QUEL GENRE D'ENVIRONNEMENT ? *La Revue des Sciences de Gestion, Direction et Gestion n° 234 – Stratégie* .

Méquignon M.A. (2011). Comment la durée de vie des bâtiments peut-elle influencer les performances en termes de développement soutenable, thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

Metais E . (2004). *DEVINCI Conseil - Stratégie et organisation industrielle - Ingénierie des produits et des process*.

MIL-HDBK. (1983). MIL-HDBK-259 ( NAVY), Military handbook, life cycle cost in in navy acquisitions.

- Mishra S, Siddiqui N. A. (2017). A Review of CSR Activities Under Companies Act 2013 and Enterprise Social Commitment Under Environment Clearance for Major Cement Industries in India. *Advances in Health and Environment Safety* , 145-150.
- MNP. (2011). Sustainable supply chain logistics guide. Smart steps, [En ligne] <http://www.metrovancouver.org/about/publications/Publications/Sustainable%20Supply%20Chain%20Guide.pdf> .
- Monchy F. (1991). *La fonction maintenance: Formation à la gestion de la maintenance industrielle, Collection technologies de l'université de l'industrie, MASSON.*
- Monchy F. (1996 ). «*La fonction maintenance, formation à la gestion de la maintenance industrielle* ». Paris : Editions Masson .
- Monchy F, Pichot C. (2003). *Maintenance Méthodes et organisations* . Paris: Dunod, Usine Nouvelle.
- Moreau F. (2002). *Comprendre et gérer les risques*. Editions d'Organisation, 222 p.
- Mortgat B. (2002). Mesurer la performance environnementale des entreprises. *Environnement & technique*, , n°15 , p. 21-26.
- Murmura F et al. (2018). Evaluation of Italian Companies' Perception About ISO 14001 and Eco Management and Audit Scheme III: Motivations, Benefits and Barriers. *Journal of Cleaner Production*.
- Nakajima S. (1987). *La maintenance productive totale (TPM), nouvelle vague de laproduction industrielle*. Afnor Gestion.
- Nash J, Ehrenfeld J. (2001). Factors that shape EMS outcomes in firms. p.62.
- Norris A. (2001). Integrating life cycle cost analysis and LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 6, Issue 2* , pp 118-120.
- OECD. (1994). Organization for Economic Cooperation and Development, Environmental Indicators (OECD), Paris.
- OFEN. (2012). Économiser de l'énergie et de l'argent avec des pompes de circulation classe A.
- Orlitzky M, Schmidt FL, Rynes SL. (2003). Corporate social and financial performance: a meta-analysis. *Organization Studies* , 24(3): 403–441.
- Parida A , Kumar U. (2006). "Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges". *Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12 No. 3, pp.*
- Parida A, Chattopadhyay G. (2007). "Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM)". *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , vol.13(3): pp241-258.
- Park G-Y et al. (2014). Software FMEA analysis for safety-related application software, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/anucene](http://www.elsevier.com/locate/anucene).

Patriota de Siqueira I. (2008). INTER-INDUSTRIAL COOPERATION FOR APPLICATION OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE, <http://www.tecnix.com.br>, Companhia HidroElétrica do São Francisco, Brazil.

Pellegrin C. (1997). *Fondements de la décision de maintenance*. Paris: Economica.

Picherit M.L. (2010). Evaluation environnementale du véhicule électrique : Méthodologies et application, l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne.

Pérès F, et al. *la maintenance dans l'évaluation des performances des systèmes de production : une approche par simulation*. laboratoire de Génie de Production.

PNUE. (21). Contribution du programme des Nations Unies pour l'environnement au sommet mondial pour le développement durable – Les affaires et l'industrie dans le contexte d'action 21 : Assurer la viabilité à long terme des entreprises, UNEP/GCSS.VII/INF/4.

Pricket P.W. (1999). An integrated approach to autonomous maintenance management. *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 10. No. 4 , pp. 233-243.

Raouf A. (1993). "On Evaluating Maintenance Performance". *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 10 No. 3 , pp. 33-36.

Retour D et al. (1990). Où va la maintenance industrielle, . *Problème économiques No 2159* , pp7-13.

Reverdy T. (2005). les normes environnementales en entreprise : la trajectoire mouvementée d'une mode managériale, sociologies pratiques, N10,.

Riedinger N , Thévenot C. (2008). La norme ISO 14001 est-elle efficace? Une étude économétrique sur l'industrie française. *Economie et statistique n°411* .

Salim H.K et al. (2018). Global trends in environmental management system and ISO14001 research. *Journal of Cleaner Production* , Volume 170, Pages 645-653.

Schaltegger S et Synnestvedt T. (2002). The link between 'green' and economic success: environmental management as the crucial trigger between environmental and economic performance. *Journal of Environmental Management* , 339-346.

Sharma A, Yadava G, Deshmukh S. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , 17(1), 5–25. 13.

Sherwin D. (1999). A review of overall models for maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.6, No.3 , pp.138-164.

Shields M.D, Young S.M. (1991). " Managing product life cycle costs : an organizational model ". *Cost Management* , pp 39-52.

Silva M.M et al. (2014). A multidimensional approach to information security risk management using FMEA and fuzzy theory. *International Journal of Information Management* 34 , 733–740.

Souris JP. (1993). *La maintenance source de profit*. Paris: Editions d'organisation.

- Souris J.P. (1990). *La maintenance source de profits*. Editions d'organisation.
- Surender K, Shivananda S. (2018). Corporate Participation in Voluntary Environmental Programs in India: Determinants and Deterrence, . *Ecological Economics* , Volume 147, Pages 1-10.
- Susman G.I. (1989). " Product life cycle management ". *Cost Management* , pp 8-22.
- Tähkämö L. (2013). Life cycle assessment of light sources – Case studies and review of the analyses, thèse de doctorat, Université de Toulouse III – Paul Sabatier.
- Tairbahre O, et al. (2015). Stratégie de maintenance dans un environnement incertain, article publié à la Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.
- Tajri H, El hammoumi M, Herrou B. (2015b). « Mesure de performance d'un système de management environnemental (SME). Cas de la maintenance industrielle », à la Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI, Tanger, Maroc.<hal-01260824>.
- Tajri H, El hammoumi M, Herrou B. (2015c). «Integration of the environmental dimension in maintenance decision support tool fmea: case of a moroccan foundry», dans le journal Global Journal of Engineering Science and Research Management, ISSN 2349-4506, Octobre, 2(10).
- Tajri H, El hammoumi M, Herrou B. (2017). analysis and modeling of the relationship "maintenance-environment" case study of an SME in the agri-food sector. *International Journal of Engineering and Technology* , ISSN (Online) : 0975-4024.
- Tajri H, El hammoumi M, Herrou B. (2018). Analysis and modeling of the relationship"maintenance - environment" qualitative experiments on Moroccan SMEs samples. *Journal of Engineering and Applied Sciences* , Volume 13(15).
- Tajri H, El hammoumi M, Herrou B. (2014). Intégration du système de management environnemental (SME) en maintenance industrielle à la 5ème édition du Colloque International sur « Les Systèmes Industriels et Logistique » à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Marrakech, Maroc.
- Tajri H, Mohammed El hammoumi, Herrou B. (2015a). Intégration du système de management environnemental (SME) en maintenance : contrainte et opportunité à la première édition du colloque international pluridisciplinaire des doctorants sous le thème "devenir un bon chercheur". *la faculté Polydisciplinaire de Tétouan* .
- Taskin F et al. (2000). Searching for a Kuznets curve in environmental efficiency using kernel estimation. . *Economics Letters* 68 , 217– 1223.
- Tazi D. (2008). *EXTERNALISATION DE LA MAINTENANCE ET SES IMPACTS SUR LA SECURITE DANS LES INDUSTRIES DE PROCEDES*. Toulouse: thèse à l'institut National polytechnique, spécialité: systèmes industriels .
- Terrier. (2002). La maintenance, DESS Quassi, département qualité depuis (Tazi D, 2008).
- Torell W, Avelar V. (2004). *Mean Time BetweenFailure ou Temps Moyen de Bon Fonctionnement : Définitions et normes* . American Power Conversion.

- Trafialek J. ( 2014). Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for audit of HACCP system, Food Control.
- Tsang A.H.C, Jardine A.K.S, Kolodny H. (1999). measuring maintenance performance : a holistic approach. *International Journal of Operations and Production Management, Vol 19, No. 7* , pp. 691-715.
- Tyteca D. (2002). Problématique des indicateurs environnementaux et de développement durable. *Congrès de la Société de l'Industrie Minérale, Liège* , p.1.
- Vernier J. P. (1998). la fonction maintenance, dans technique de l'ingénieur, traité génie industriel. pp. A8300-1, A8300-15.
- Vincent C. (2004 ). approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance. *ECOLE NORMALE SUPERIEUR DE CACHAN* .
- Visser, J. K, Pretorius M.W. (2003). "The Development of a Performance Measurement System for Maintenance." . *SA Journal of Industrial Engineering* , 14(1): pp83-97.
- Vrignat P et al. (2012). Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi paramétrique et par une approche markovienne, hal-00684468.
- Wackennann G. (2004). *La géographie des risques dans le monde*. Éditions Ellipses marketing, 501 p.
- Waddock SA, Graves SB. (1997). The corporate social performance–financial performance link. I . *Strategic Management Journal* , 18(4): 303–319.
- Wang S. (1999). An object-oriented approach to plant configuration management information systems analysis . *Industrial management and Data Systems, Vol. 99, No. 4* , pp. 159-167.
- Weber A, Thomas R. (2006). Key Performance Indicators: Measuring & Managing the Maintenance Function. *Ivara Corporation* .
- Whisterkamp T. A. (1998 ). Evaluating the maintenance process. *IIE solution* , pp. 22-27.
- White G.E , Ostwald P.F. (1976). “ Life cycle costing ” . *Management Accounting* , pp 39-42.
- Woodward G. (1997). Life cycle costing—Theory, information acquisition and application. *Original Research Article International Journal of Project Management, Volume 15, Issue 6* , Pages 335-344.
- World Bank. (1992). World Tables (International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, Washington, D.C.
- Xiao N et al . (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority numberevaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis* 18 , 1162–1170.
- Yuriev A et Boiral O. (2017). Adopting, ISO Management Standards in Africa: Barriers and Cultural Challenges, ISO 9001, ISO 14001, and New Management Standards . 59-82.
- Zaim O . (2004). Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: a DEA framework. *Ecological Economics* 48 , 37– 47.



Zaim O et al. (2000). A Kuznets curve in environmental efficiency: an application on OECD countries . *Environmental and Resource Economics* 17 , 21– 36.

Zamoun S, Tabutin D, Yakoubd A. (1995). *Ali Kouaci Population et l'environnement au Maghreb*. Editions l'Harmattan.

Zhou P et al. (2007). in press-b. A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal of Operational Research* .

Zhou P et al. (2008). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *ENERGY ECONOMICS* .

Zille V. (2009). Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants, thèse de doctorat, l'Université de Technologie de Troyes, Institut Charles Delaunay.

Zwingelstein G. (1996). La maintenance basée sur la fiabilité. Hermes. Paris . 666 pages.

## 2. Standards internationaux

- [1] Norme ISO14001 :2004. Systèmes de management environnemental – exigences et lignes directrices pour son utilisation.
- [2] Norme ISO 14005:2010 : Systèmes de management environnemental — Lignes directrices pour la mise en application par phases d'un système de management environnemental, incluant l'utilisation d'une évaluation de performance environnementale,
- [3] Norme ISO 14031 : 1999 – Management environnemental – Evaluation de la performance environnementale.
- [4] NF X-60-020. Indicateurs de maintenance. Norme AFNOR. 1995.
- [5] Norme Française NF EN 13306
- [6] Norme AFNOR, NF X 60-010
- [7] Norme AFNOR, *FD X 60-000*
- [8] E41.50.530.N : Comite de normalisation des moyens de production, Juin 1994

### 3. Sites internet

- [1] <http://wabtec.fr/gestion-life-cycle-cost-20.html>
- [2] [http://212.43.237.181/normalisation/Fiche.aspx?chapitre\\_id=7&fiche\\_id=62](http://212.43.237.181/normalisation/Fiche.aspx?chapitre_id=7&fiche_id=62)
- [3] [https://fr.wikipedia.org/wiki/ISO\\_14001](https://fr.wikipedia.org/wiki/ISO_14001)
- [4] [www.Ceres.org](http://www.Ceres.org)
- [5] <http://www.ecology.or.jp/isoworld/english/analy14k.htm>
- [6] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Responsabilit%C3%A9\\_soci%C3%A9tale\\_des\\_entreprises#cite\\_note-livretvert-1](https://fr.wikipedia.org/wiki/Responsabilit%C3%A9_soci%C3%A9tale_des_entreprises#cite_note-livretvert-1)
- [7] [www.commaissancedesenergies.org](http://www.commaissancedesenergies.org)
- [8] <http://ozone.unep.org>
- [9] <http://www.cop22.ma/fr/content/la-cop22-%C3%A0-marrakech%C2%A0-la-cop-de-l%E2%80%99action>
- [10] <http://www.caue-martinique.com/media/fichepr-11-pollution-des-sols.pdf>
- [11] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution\\_des\\_sols](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_des_sols)
- [12] <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/sante-environnement/pollution-du-sol.html>

## Annexes

### Annexe n°1 : Grille de Notation G, F, D

#### Grille de Gravité G(E41.50.530.N):

Note	Gravité G	Critères de sélection
1	Mineure	Défaillance mineure, aucune dégradation notable du matériel,
2	Moyenne	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée,
3	Majeure	Défaillance importante, nécessitant une intervention de longue durée, ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen
4	Catastrophique	Défaillance grave, ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise), ou Dommage matériel important (sécurité des biens)
5	Sécurité /Qualité	Accident pouvant impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention, ou Non-conformité du produit envoyé en clientèle (l'automobiliste)

## Grille de Fréquence F(E41.50.530.N)

Note	Fréquence	Critère de sélection
1	Pratiquement inexistant	Défaillance pratiquement inexistant sur des installations similaires en exploitation, au plus 1 défaut sur la durée de vie du moyen
2	Rare	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par an ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire
3	Occasionnel	Défaillance apparue occasionnellement sur du matériel similaire existant en exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par trimestre
4	Fréquent	Défaillance apparue fréquemment sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant sur une exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par mois, ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire

### Grille de Non-Détection D(E41.50.530.N)

Note	Non-détection	Critère de sélection
1	Détection totale	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave, provoqué par la défaillance pendant la production
2	Détection exploitable	La cause ou le mode de défaillance sont décelables, mais le risque de ne pas être perçus existe
3	Détection faible	La cause ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables
4	Sans détection	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise

## **Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur**

### **Résumé de la thèse**

L'intégration de critères environnementaux dans le fonctionnement des sites industriels est aujourd'hui une donnée incontournable pour les entreprises. L'implantation d'un système de management de l'environnement est pour elles le moyen d'intégrer ces critères, et la certification de ce système (selon la norme ISO 14001) le moyen de prouver à différentes parties intéressées la validité de leurs démarches environnementales.

L'objectif principal de toute entreprise consiste à maximiser les profits et minimiser les pertes. Ainsi, les stratégies de maintenance adoptées s'orientent vers la réduction des coûts des actions de maintenance et/ou l'amélioration de la disponibilité du système de production à maintenir. D'autre part, les actions de maintenance peuvent contribuer à l'amélioration de la qualité de l'environnement. Ce dernier peut être en effet dégradé suite à la défaillance, voire même à l'exploitation, du système de production.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail de recherche qui a pour objectif de permettre d'assurer une exploitation rationnelle et une performance nominale des systèmes industriels d'une part, et maintenir une qualité élevée du produit et répondre aux exigences des normes de protection de l'environnement d'autre part. Pour cela, nous avons intégré la dimension environnementale en maintenance en commençant tout d'abord, par sa définition, pour proposer une définition du nouveau concept de la maintenance verte et sa contribution durant toute la vie d'un matériel à la protection de l'environnement, puis, dans ses outils d'aide à la décision et notamment l'AMDEC et LCC.

Ensuite, nous avons proposé un modèle de la relation « maintenance-environnement » permettant d'illustrer, l'impact de la maintenance sur l'amélioration des performances de l'environnement, et, les effets de la gestion de l'environnement sur la gestion de la maintenance. Ce modèle a été validé premièrement d'une façon qualitative à l'aide d'un questionnaire auprès d'entreprises certifiées ISO 14001 ou ayant un SME, dans des secteurs variés à savoir, le secteur des mines et hydrométallurgie, le secteur agro-alimentaire, le secteur de la construction automobile, le secteur d'emballage, le secteur d'énergie, le secteur d'agriculture et le secteur de la thermomécanique etc. Dans un deuxième temps, la validation du modèle était quantitative, sous forme d'une étude de cas, dans une industrie de boisson gazeuse. Les deux approches d'expérimentation, qualitative et quantitative, ont confirmé les différentes relations d'émergence de performance de notre modèle.

**Mots clés** : MAINTENANCE, ENVIRONNEMENT, SME, ISO 14001.