

École Doctorale Sciences Pour l'Ingénieur

ULP-UY I

THÈSE

En Co – TUTELLE

Présentée pour obtenir le double grade de:

DOCTEUR DE L' UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR DE STRASBOURG I

Et

**DOCTEUR/PhD DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
DE L'UNIVERSITE DE YAOUNDE I**

Discipline : Sciences pour I (ingénieur (Productique-Maintenance))

Par **Eugène Désiré EFAGA**
Ingénieur – Mécanicien, Master of Science
D.E.A. Productique

**ANALYSE DES DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE POUR L'ORGANISATION DE LA
MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION DES PME/PMI DANS LE CADRE
DE LA MBF (MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE).**

Soutenu Publiquement le 1^{er} Décembre 2004

Membres du Jury:

Directeur de Thèse : Francis. BRAUN ,Professeur, Université Louis Pasteur Strasbourg I

Directeur de Thèse : M. Charles AWONO ONANA, Professeur, Université yaoundé I

Rapporteur interne : M. Francis KERN, Professeur, Université Louis Pasteur Strasbourg I

Rapporteur externe : M. Marc GABRIEL, Professeur, Université Henri Poincaré de Nancy I

Rapporteur externe : M. Médard FOGUE, Professeur, Université Yaoundé I

Examineurs: Mme Marie Christine SUHNER, Maître de conférences, Université Henri
Poincaré de Nancy I

Examineurs: M. Raïdandi DANWE, Chargé de cours, Université de Yaoundé 1

A tous ceux qui se sentiront honorés par les travaux de cette thèse.

AVANT – PROPOS

Les travaux décrits et présentés dans cet ouvrage sont l'aboutissement de cinq années réalisées dans le cadre d'une convention de thèse entre l'Université de Yaoundé 1 et l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (ULP). Ces travaux m'ont permis de faire plusieurs séjours de recherche en France notamment au Centre de Recherche en Automatique de Nancy situé à l'Ecole Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nancy (CRAN-ESSTIN) au sein de l'équipe de l'ingénierie de la maintenance et à ULP-IUT Louis Pasteur-Antenne de Haguenau. Ces travaux de recherche en co- tutelle sont réalisés en vue de l'obtention du Doctorat/PhD en science de l'ingénieur de l'Université de Yaoundé I et le Doctorat de L'Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Mes remerciements s'adressent dans un premier temps aux personnes qui ont permis la réalisation et l'aboutissement de cette thèse:

Le Pr **AWONO ONANA**, qui soutient la veille et la recherche au sein des Universités Camerounaises et l'appui qu'il m'a témoigné en acceptant être mon Directeur de thèse pour le compte de l'Université de Yaoundé 1.

Le Pr **Francis BRAUN**, Pour la confiance et l'appui en m'acceptant dans son équipe en tant que chercheur et sa disponibilité malgré ses multiples occupations pour l'encadrement de mes travaux de recherche pour le compte de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Le Pr **Marc GABRIEL**, Professeur à l'ESSTIN, pour m'avoir conseillé et orienté mes travaux.

Marie –Christine SUHNER, Maître de conférence à l'ESSTIN, Pour son soutien, son apport quotidien, ses conseils et ses observations critiques durant toutes les étapes de déroulement de mes travaux.

Dr **DANWE Raïdandi**, responsable du laboratoire de productique de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé (ENSPY), pour sa compréhension, son dévouement et son esprit clairvoyant.

J'adresse ensuite mes remerciements à tous les membres de l'équipe **CRAN-ESSTIN**, de l'**IUT Louis Pasteur de Strasbourg I** qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ces différents séjours de recherche.

Je remercie également le personnel de La **CICAM 1** et en particulier Mr **FOUTSO ADJI** qui a facilité l'application industrielle des travaux théoriques de cette Thèse.

Tous mes remerciements chaleureux à ma famille et celle de Francis Braun pour le soutien qu'elles m'ont apporté pendant toutes ces années (et celles qui ont précédé).

Enfin mes remerciements les plus affectueux à Rebecca, ma femme, pour le soutien sans faille et pour m'avoir supporté pendant ces absences répétées.

RÉSUMÉ

La taille des PME/PMI leur procure certes certains avantages, mais donne à leurs managers des soucis permanents. Il est très difficile de faire leur portrait robot car leur typologie est hétérogène, en taille, procédés de production, technicité, et qualification. Sans prétendre faire le tour de leurs difficultés on peut, sans se tromper, dire que leur fonctionnement implique une forte disponibilité des moyens de production.

Les développements conceptuels et méthodologiques de cette thèse ont pour but à partir des données du retour d'expérience, élaborer une stratégie d'organisation de la maintenance afin de formaliser le processus de production adaptée aux exigences et contexte des petites et moyennes entreprises.

Après avoir développé le contexte et la problématique de cette thèse, nous proposons une démarche globale qui fait appel à deux grands axes de développement. L'aspect organisationnel et l'aspect technico-économique des équipements. Ces deux études sont menées en parallèle et les phases de réorganisation de la maintenance servent de support et de référence pour l'application des stratégies et tactiques de maintenance choisies.

Pour l'aspect organisationnel, nous proposons une nouvelle structure d'organisation qui doit être le moteur de la productivité par la flexibilité, la réactivité, et l'adaptabilité à des conjonctures capricieuses et aux situations changeantes en s'appuyant sur les techniques de formation d'apprentissage par la pratique et d'apprentissage par l'usage.

Pour l'aspect technico-économique, l'étude est faite en tenant compte de l'information disponible, son analyse en terme de sûreté de fonctionnement, et finalement une prise de risque, soit au niveau de la sûreté soit au niveau économique. Cette façon de faire entraîne des analyses prévisionnelles de fiabilité, de disponibilité et d'impact économique des défaillances. Cette étude fait recours à d'autres connaissances plus subjectives relatives à l'expertise. Le problème du choix d'une méthode a priori se pose. A l'incertitude des données, on ajoute l'incertitude due au choix de la méthode. L'analyse de la théorie de BAYES nous permettra d'intégrer les connaissances subjectives des experts et ainsi d'obtenir un processus décisionnel portant sur des événements rares ou incertains.

Enfin la Stratégie Générale d'Organisation et de Gestion de la Maintenance Basée sur le Retour d'Expérience (SOGMBREX) que nous proposons va donc consister à représenter une structure qui intègre la dualité de l'étude sur l'aspect organisation et technico-économique afin d'accentuer les notions de flexibilité, relativité, et de complémentarité qui aideront les dirigeants des petites et moyennes structures industrielles de faire face aux difficultés évoquées au contexte de l'étude.

La méthode développée permet de proposer un modèle de configuration de la structure PME/PMI, de mettre à disposition des PME/PMI des outils permettant d'organiser le processus de production grâce à l'utilisation de l'expérience acquise et toutes formes de connaissances disponibles au sein de l'entreprise et enfin, d'obtenir des stratégies de maintenance qui permettent la mesure de l'efficacité et la pertinence des décisions prises.

Les PME/PMI Camerounaises (CELLUCAM et CICAM) ont fait l'objet d'une application des méthodologies développées dans cette thèse.

MOTS – CLÉS :

Organisation – Retour D'expérience - Analyses statistiques bayésiennes – Coût de maintenance- Stratégie de Maintenance – PME /PMI.

ABSTRACT

Though the size of Small and Medium Size Enterprises (SSE/MSE) give them certain advantages, their managers continue to endure permanent difficulties. Everyone has agreed that their typology is heterogenous, however, since they are too varying by size, production procedures, technical design, and importance. In a nutshell it is also agreed that their functioning implies an ever present availability of the production means.

The conceptual and methodological developments through this thesis, evolving from feedback data, are geared towards elaborating an organisational strategy of maintenance, in order to formalise the production process adapted to the exigencies and contextual frameworking of SSE/MSE.

After expanding upon the contexte and problems developed through this thesis, we propose general guidelines that takes into consideration two main aspects – the organisational and the technico-economic aspects of equipments. These two studies are carried out parallely, and the organisational phases of maintenance serve as support and reference for applying the strategies and tactics of the chosen maintenance policy.

As for the organisational aspect of maintenance, we propose a new structure of organisation that must be the motor of productivity through flexibility, reactivity, and adaptability to the capricious interactions and to fluctuating conditions while emphasising on the technical training and practice of regular users.

Asd concerns the technico-economic aspect, the study is carried on as long as there is information available. Its analysis is based on the certainty of functioning and finally risk taking, either at the level of that certanty of fonctionning or at the level of the economics. This procedure unequivocally introduces forecast analysis on the reliability, the aviability and the economic impact of the failures. This survey will recall us of other more subjective knowledge relating to expertise. Again the necessity of chosing a method a priori is confronted. In addition to the uncertainty presented by the collected data, is added the uncertainty of the right method to use. However, the Bayesian analysis will permit us to integrate and so understand the subjective reasonings of experts and so to get a decisional structural procedure over rare and uncertain events.

Lastly, the General Organisational Strategy on the MAnagement of MAintenance, Based on FEedback DAta (SOGMBREX) that we are proposing will consist of two main studies : the organisational as well as the technoco-economic aspects and so will enhance the notions of flexibility, relativity, and complementarity that certainly should help the leaders of small and medium size industrial structures to face the numerous difficulties exposed within the context of the survey.

The developed method should permit to propose a configured model for SSE/MSE structures; enhancing SSE/MSE with tools necessary in organising production process acquired through the use of experiences as well as all other available knowledge within the enterprise; and finally to obtain maintenance strategies that can weigh the efficiency, and the pertinence of decisions before they are undertaken.

Some Cameroonian SSE/MSE enterprises (CELLUCAM AND CICAM 1) have recently applied the methodologies developed in this thesis.

KEY-WORDS

Organization – feedback - Bayes statistical analysis – maintenance costs – maintenance strategies – SSE/MSE

Problématique et plan détaillé de la thèse

I.1 FORMALISATION DU PROBLEME

I.1.1 Contexte de l'étude

La taille des PME/PMI leur procure certes certains avantages, mais donne à leurs managers des soucis permanents. Il est très difficile de faire leur portrait robot car leur typologie est hétérogène, en taille, procédés de production, technicité, qualification. Sans prétendre faire le tour de leurs difficultés citons:

- la difficulté de gestion du temps;
- les budgets souvent approximatifs avec une certaine fragilité financière;
- les effectifs de maintenance faibles;
- la communication hésitante (excès de confidentialité) et une certaine méfiance des conseils;
- les besoins qui ne sont pas toujours bien cernés;
- une concurrence très âpre sur un marché mondial pas facile à cerner à l'échelle d'une petite entreprise.

On peut, sans se tromper, dire que leur fonctionnement implique une forte disponibilité des moyens de production. Cet engagement permanent des machines requiert une bonne politique de maintenance. Les plans de maintenance doivent être adaptés aux exigences de production, au régime de fonctionnement des machines et au caractère spécifique d'organisation des PME et PMI.

I.1.2 Objectifs de l'étude

Le problème d'organisation de la maintenance est un concept complexe dans la mesure où les paramètres d'organisation font intervenir ceux de sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité et logistique de maintenance). Dans un contexte PME/PMI l'association des paramètres de sûreté de fonctionnement et économiques permettra d'obtenir une stratégie de maintenance.

Le but de ce travail est, à partir des données contextuelles (des fournisseurs des équipements, de l'historique de la production, du savoir-faire des exploitants et techniciens de maintenance, de l'histoire de l'entreprise et son contexte de production), d'élaborer une stratégie d'organisation de la maintenance afin de formaliser le processus de production adaptée aux exigences et contexte des petites et moyennes entreprises.

I.1.3 Méthodologie de l'étude

L'étude fait appel à deux grands axes de développement. Le premier porte sur l'aspect organisationnel et le deuxième porte sur l'aspect technico-économique des équipements. Les deux études doivent être menées en parallèle et les phases de réorganisation de la maintenance serviront de support et de référence pour l'application des stratégies et tactiques de maintenance choisies.

A- Sur l'aspect organisationnel

L'étude sur l'organisation de la maintenance des équipements de production des PME/PMI trouve son originalité par l'utilisation dans cette thèse des idées innovantes pour la résolution des difficultés précitées au contexte de l'étude.

Nous tenterons de proposer une nouvelle structure d'organisation qui doit être le moteur de la productivité par la flexibilité, la réactivité, et l'adaptabilité à des conjonctures capricieuses et aux situations changeantes. Un avantage pour notre projet est de savoir que les évolutions structurelles des PME/PMI n'ont pas contrairement aux grandes entreprises, d'effets médiatiques significatifs, donnant ainsi aux dirigeants plus de libertés. Cette nouvelle structure devrait entraîner une certaine révolution organisationnelle pour la mise sur pied d'une bonne politique de maintenance. La fonctionnalité de cette structure nécessite la mise en œuvre des moyens humains, financiers et matériels.

Par exemple l'utilisation des techniques de formation (apprentissage par la pratique et l'apprentissage par l'usage) grâce aux méthodes pour apprendre à apprendre (MAXER, ATS, TANAGRA, AGA,...) permet de répondre aux besoins de qualification et formation des effectifs de maintenance.

La prise en compte des réalités industrielles en Afrique va permettre l'utilisation particulière du circuit local endogène grâce à la main d'œuvre locale et les techniques de récupération. De même, les accords d'assistance technique négociés dès l'acquisition du matériel sans arriération technologique pourront permettre de lutter contre l'insuffisance des moyens financiers et matériels de ces petites et moyennes structures.

La méthodologie à court terme consistera à éliminer ce qui paraît le moins critique afin d'évaluer les résultats dans un plan très ciblé et limité à l'essentiel. La démarche étant itérative, elle permettra d'obtenir à moyen et long terme une vision transversale des équipements de production.

B- Sur l'aspect technico-économique

A chaque niveau de la décomposition fonctionnelle et topologique des équipements, une étude technico-économique est faite en prenant compte l'information disponible, son analyse en terme de sûreté de fonctionnement, et finalement une prise de risque, soit au niveau de la sûreté soit au niveau technico-économique.

Cette façon de faire entraîne une analyse des défaillances fonctionnelles, l'estimation de la fiabilité et la disponibilité prévisionnelle et l'impact économique des défaillances. Ceci nécessite les données du retour d'expérience qui sont dans ce type de structure proposée incomplètes et /ou imprécises et ne suffisent pas à l'analyse. C'est la raison pour laquelle, nous avons recours à d'autres connaissances plus subjectives relatives à l'expertise. Le problème du choix d'une méthode a priori se pose. A l'incertitude des données, on ajoute l'incertitude due au choix de la méthode. L'analyse de la théorie de BAYES nous permettra d'intégrer les connaissances subjectives des experts et ainsi d'obtenir un processus décisionnel portant sur des événements rares ou incertains.

Ces décisions pourront tenir compte de la possibilité d'estimer en tant réel et de prédire le comportement des équipements de production en fonction de toutes informations disponibles. Elles seront prises en respectant la triple contrainte fiabilité – disponibilité - coûts.

L'emploi des indicateurs techniques (Fiabilité, maintenabilité, disponibilité) et économiques (Coûts de maintenance) offrira la possibilité de cette association. Elle sera quantifiée par l'utilisation de la théorie de la décision statistique bayésienne afin d'obtenir l'espérance de la décision de maintenance choisie. Cette espérance permettra de déduire le risque d'utilisation de cette politique de maintenance.

Il est à préciser que, l'obtention d'une appréciation globale est délicate de par la nature très distincte des indicateurs. Certains ne sont pas quantifiables ou quantifiés et pour ceux qui le sont, les unités dans les quelles ils sont exprimés, n'autorisent pas forcément une comparaison directe.

La méthode générale d'organisation va donc consister à ne pas prendre un critère spécifique mais, rechercher à les concilier tous afin de représenter une structure qui intègre les éléments aptes à permettre leurs emplois.

I.1.4 Résultats attendus

La finalité de l'étude doit montrer les stratégies d'organisation de la maintenance à entreprendre face aux situations changeantes et capricieuses de l'environnement PME/PMI:

1. Proposer un modèle de configuration de la structure PME/PMI qui permet une bonne conduite des ressources productrices.
2. Mettre à disposition des outils permettant d'optimiser le processus de production grâce à l'utilisation de l'expérience acquise et toutes formes de connaissances disponibles au sein de l'entreprise.
3. Obtenir des stratégies de maintenance qui permettent la mesure de l'efficacité, la pertinence et l'efficience des décisions prises.
4. Chercher à considérer désormais que la maintenance est une activité productrice et non une charge pour l'entreprise. En effet, si produire c'est exploiter un équipement de production pour en obtenir des produits finis, maintenir c'est assurer la disponibilité de la production, donc l'assurance de la quantité et de la qualité du produit en tenant compte de toutes les exigences techniques et économiques.

La dualité de l'étude sur l'aspect organisation et technico-économique doit permettre d'accentuer les notions de flexibilité, relativité, et de complémentarité qui aideront les dirigeants des ces petites et moyennes structures industrielle de faire face aux difficultés évoquées au contexte de l'étude.

L'étude appliquée au milieu industriel Camerounais permettra d'introduire la dimension de la culture africaine sur la panne. De même montrer les forces d'adaptabilité des PME Camerounaises sur le modèle structurel proposé. La démonstration consistera à mettre en évidence les ressources disponibles et les indices prometteurs de réussite dans une PME/PMI.

I.1.5 Plan de la thèse

Notre thèse comprend trois parties. La première partie qui présente l'état de l'art est elle-même divisée en quatre chapitres qui décrivent les principaux concepts qui éclairent notre thèse: l'organisation de la maintenance des équipements de production (chapitre 1), les PME/PMI (chapitre 2), les données du retour d'expérience (chapitre 3), et les méthodes d'aide à la décision (chapitre 4). Ces concepts constituent la quadruple exigence théorique que doit prendre en compte notre stratégie originale d'organisation de la maintenance des petites structures industrielles.

La deuxième partie présente une proposition des solutions à la problématique posée. Les deux axes de développement de la méthodologie sont présentés. Une nouvelle structure d'organisation se présente comme le moteur de la productivité. La justification et l'emploi d'une méthode d'analyse des données du retour d'expériences issues de ce type de structure sont présentés. De même, la triptyque (Fiabilité, disponibilité, coûts) permet d'établir dans cette partie les stratégies de maintenance.

La troisième partie développe la mise en œuvre des stratégies de maintenance par étude de cas dans les PME/PMI Camerounaises. Il s'agit de montrer d'une part la force d'intégration des concepts développés et d'autre part d'exposer les mutations organisationnelles pouvant faire suite.

Enfin, la conclusion permet de préciser que, malgré les difficultés des PME/PMI précitées au contexte de l'étude, celles-ci constituent incontestablement le maillon fort de l'économie mondiale en général et de l'économie Africaine en particulier. De même que les outils et les méthodes présentés peuvent très bien être utilisés sans être une contrainte lorsque la structure de l'entreprise permet leurs emplois.

PLAN DETAILLE

PARTIE I : ETAT DE L'ART	11
INTRODUCTION	14
Chapitre 1 : ORGANISATION DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION	15
1.1 Cadre général de la maintenance	15
1.2 Enjeux et forme de la maintenance pour les PME/PM	15
1.3 Décomposition fonctionnelle et topologique des équipements de production	16
1.3.1 Définition et structuration	16
1.3.2 Décomposition fonctionnelle et topologique	16
Chapitre 2 : STRUCTURES PME/PMI	18
2.1 Définition	18
2.2 Les différentes structures	18
2.2.1 Modèle 1 : hiérarchique	18
2.2.2 Modèle 2 : structure fonctionnelle	19
2.2.3 Modèle 3 : hiérarchico –fonctionnelle	20
2.2.4 Modèle 4 : divisionnelle/lignes de produits	20
2.2.5 Modèle 5 : matricielle	21
2.3 Avantages et inconvénients de chaque type de structure	22
2.3.1 Avantages et inconvénients	22
2.3.2 Classement des formes structurelles théoriques	24
2.3.3 Structure optimale des PME/PMI pour la gestion du retour d'expérience	25
Chapitre 3 : DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE	27
3.1 Définition	27
3.2 Approche MBF	27
3.3 Approche AMDEC	29
3.4 Données nécessaires à l'analyse	29
3.4.1 Equipements à suivre	30
3.4.2 Données organisationnelles	30
3.4.3 Données techniques	31

3.4.4	Données économiques	33
	Chapitre 4: METHODE D'AIDE A LA DECISION	35
4.1	Aide à la décision	35
4.1.1	Définition de l'aide à la décision	35
4.1.2	Théorie de la décision	36
4.2	Les méthodes d'analyse	36
4.2.1	Approche globale	36
4.2.2	Approche déterministe ou classique	37
4.2.3	Approche probabiliste	39
4.2.4	Approche de la décision statistique bayésienne	41
4.2.5	Approche bayésienne	42
4.2.6	Approche systèmes experts classiques	44
4.2.7	Tableau de synthèse des différentes approches pour l'analyse du retour d'expérience	45
	CONCLUSION	48
	 PARIE II : PROPOSITION DE LA STRATEGIE D'ORGANISATION DE LA MAINTENANCE	49
	INTRODUCTION	52
	Chapitre 1: STRUCTURE DE L'ENTREPRISE	52
1.1	Forme schématique	53
1.2	Forme fonctionnelle	53
1.3	Moyens de mise en œuvre	54
1.3.1	Lutte pour la valorisation des moyens humains	54
1.3.2	Lutte contre l'insuffisance des moyens financiers et matériels	57
1.4	Force d'adaptation du modèle structurel proposé	57
1.5	Finalité de la structure proposée avec les objectifs de l'étude	58
	 Chapitre 2: ANALYSE DES DONNES REX PAR L'UTILISATION DES TECHNIQUES BAYESIENNES	61
2.1	Justification du choix des techniques bayésiennes	61
2.1.1	Utilisation de toutes formes de connaissances	61
2.1.2	Utilisation des expressions conjuguées	64
2.1.3	Utilisation de l'inférence bayésienne	65

2.1.4	Utilisation du nombre et la nature des données du retour d'expérience	66
2.1.5	Prise en compte des modifications d'équipement	67
2.1.6	Prise en compte du risque de décision	67
2.2	Différents cas de situation pour l'évaluation de la fiabilité	68
2.2.1	Historique faible complétée par l'expertise	70
2.2.2	Historique faible complétée par l'expertise bornée	72
2.2.3	Historique faible et expertise en contradiction	73
2.2.4	Existence de l'expertise uniquement	75
2.2.5	Historique et expertise importantes	77
2.3	Cas de l'évaluation de la disponibilité	79
2.3.1	Caractéristique	79
2.3.2	Contexte de l'étude	79
2.3.3	Evaluation classique de la disponibilité	80
2.3.4	Evaluation Bayésienne	81
Chapitre 3: ASPECT ECONOMIQUE		84
3.1	Evaluation des conséquences économiques	84
3.1.1	Méthodologie	84
3.1.2	Coût de la politique de maintenance : $C_{p,m}$	86
3.1.3	Coûts directs de maintenance : C_d	88
3.1.4	Coûts indirects de maintenance : C_{ind}	88
3.1.5	Coûts de remise en marche : $C_{r,m}$	89
Chapitre 4: PRISE DE LA DECISION		90
4.1	Méthodologie	90
4.2	Construction de l'arbre de décision	90
4.3	Expression de la fonction de perte	93
4.4	Risque de décision	94
4.5	Démarche sur la prise de décisions	94
Chapitre 5: STRATEGIE GENERALE D'ORGANISATION		98
5.1	Méthodologie	98
5.2	Stratégie d' Organisation et de Gestion de la Maintenance Basée sur le Retour d'EXpérience (SOGMBREX)	98

5.2.1	Mesure de l'efficacité	99
5.2.2	Mesure de la pertinence	101
5.3	Support définitif de pérennité de fonctionnement (SEOGIE)	101
Chapitre 6: SOGMBREX-DIMENSION CULTURELLE		103
6.1	Schéma général inter –relationnel	103
6.2	Prise en compte de la dimension culturelle	103
6.2.1	Conception Africaine de la panne	103
6.2.2	Gestion Africaine de la PME	104
CONCLUSION		105
PARTIE III: MISE EN ŒUVRE DE LA STRATEGIE DANS LES PME CAMEROUNAISES		106
INTRODUCTION		108
Chapitre 1: JUSTIFICATION DU CHOIX DES CONCEPTS THEORIQUES		109
1.1	Résultat de l'enquête	109
1.2	Constat sévère de la maintenance des équipements au Cameroun	111
Chapitre 2: VALIDATION DE LA STRATEGIE A LA CICAM 1		113
2.1	Présentation de la CICAM 1	113
2.2	Etude des équipements de production	113
2.3	Mise en place de la collecte des données du retour d'expérience	116
2.4	Evaluation de la fiabilité	117
2.4.1	Historique faible complétée par l'expertise	119
2.5	Evaluation de la disponibilité	122
2.6	Calcul des conséquences économiques	125
2.6.1	Coefficient d'occupation de la machine	125
2.6.2	Expression de la MTBF et du MTTR	125
2.6.3	Expression de C_u , N_f , C_h	126
2.6.4	Expression des C_d , C_{ind} , et $C_{r.m}$	126
2.6.5	Déduction des conséquences C_1 , C_2 , C_3 , C_4	126
2.7	Prise de décision	127
2.7.1	Risque de décision	127

2.8	Conclusion sur la structure de la CICAM 1	129
2.8.1	Structure de la CICAM 1 et la forme structurelle proposée	129
2.8.2	SOGMBREX et la CICAM 1	130
Chapitre 3: EVALUATION SEOGIE		132
3.1	Pour la CICAM 1	132
3.2	Pour la CELLUCAM	132
3.2.1	Présentation du contexte	133
3.2.2	SOGMBREX-Echec de la CELLUCAM	133
3.2.3	SEOGIE et CELLUCAM	133
CONCLUSION		136
CONCLUSION GENERALE		137
Références bibliographiques		142
Glossaire		157
Liste des abréviations		163
Liste des figures		166
Annexes		170
A1	FICHE D'ENQUÊTE	171
A2	FICHE DE RAPPORT D'INTERVENTION	173
A3	FICHES MBF	175

PARTIE I

Etat de l'art

INTRODUCTION	14
Chapitre 1 : ORGANISATION DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION	15
1.1 Cadre général de la maintenance	15
1.2 Enjeux et forme de la maintenance pour les PME/PM	15
1.3 Décomposition fonctionnelle et topologique des équipements de production	16
1.3.1 Définition et structuration	16
1.3.2 Décomposition fonctionnelle et topologique	16
Chapitre 2 : STRUCTURES PME/PMI	18
2.1 Définition	18
2.2 Les différentes structures	18
2.2.1 Modèle 1 : hiérarchique	18
2.2.2 Modèle 2 : structure fonctionnelle	19
2.2.3 Modèle 3 : hiérarchico –fonctionnelle	20
2.2.4 Modèle 4 : divisionnelle/lignes de produits	20
2.2.5 Modèle 5 : matricielle	21
2.3 Avantages et inconvénients de chaque type de structure	22
2.3.1 Avantages et inconvénients	22
2.3.2 Classement des formes structurelles théoriques	24
2.3.3 Structure optimale des PME/PMI pour la gestion du retour d'expérience	25
Chapitre 3 : DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE	27
3.1 Définition	27
3.2 Approche MBF	27
3.3 Approche AMDEC	29
3.4 Données nécessaires à l'analyse	29
3.4.1 Equipements à suivre	30
3.4.2 Données organisationnelles	30
3.4.3 Données techniques	31
3.4.4 Données économiques	33

Chapitre 4: METHODE D'AIDE A LA DECISION	35
4.1 Aide à la décision	35
4.1.1 Définition de l'aide à la décision	35
4.1.2 Théorie de la décision	36
4.2 Les méthodes d'analyse	36
4.2.1 Approche globale	36
4.2.2 Approche déterministe ou classique	37
4.2.3 Approche probabiliste	39
4.2.4 Approche de la décision statistique bayésienne	41
4.2.5 Approche bayésienne	42
4.2.6 Approche systèmes experts classiques	44
4.2.7 Tableau de synthèse des différentes approches pour l'analyse du retour d'expérience	45
CONCLUSION	48

INTRODUCTION

Cette partie divisée en quatre chapitres présente l'état de l'art de la maintenance des équipements. Une structure PME/PMI peu fonctionnelle entraîne des données peu crédibles, des résultats peu crédibles et disparition inéluctable de la base de données du retour d'expérience. La structure doit permettre la collecte des informations, l'analyse, la qualité des acteurs et une validation des différents enseignements reçus.

Le premier chapitre aborde les enjeux et les opportunités de la maintenance pour les PME/PMI. Par la suite le concept d'équipement de production est clarifié en précisant sa définition, sa structuration, sa décomposition fonctionnelle et topologique.

Le deuxième chapitre présente les différentes structures des petites et moyennes entreprises. Ceci permet d'établir les avantages et les inconvénients de chaque type de structure par rapport à l'analyse des données du retour d'expérience. La structure optimale souhaitée est présentée avec les consignes de coordination exigées.

Le troisième chapitre donne des éléments bibliographiques sur les données du retour d'expérience. Nous abordons les conditions nécessaires de recueil en précisant le type et la qualité de ces données pour les différentes analyses.

Enfin au quatrième chapitre, nous présentons les différentes méthodes d'analyse communément utilisées dans l'analyse des données du retour d'expérience. La synthèse de ces différentes méthodes va nous permettre de faire ressortir le pour et le contre de chacune des méthodes par rapport à l'objectif l' étude.

Chapitre 1 : ORGANISATION DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION

1.1 Cadre général de la maintenance

Le terme "maintenance" dans son histoire comme illustre[MON 00] est forgé sur les racines latines *manus* et *tenere*, est apparu dans la langue française au XII^e siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme maintenir (celui qui soutient), utilisée en 1169. Le terme est réapparu à l'époque moderne dans le vocabulaire des militaires "maintien dans les unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant". Définition intéressante car l'industrie l'a reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affecté à un combat économique.

Vers les années 1980 virent les entreprises obligées de s'adapter à des marchés plus fluctuants et élargis. La vie des entreprises est ainsi caractérisée par des mutations profondes: technologiques, économiques et sociales. Ces mutations suppriment certains types d'emplois, mais créent également des besoins nouveaux qu'il faut identifier, puis satisfaire en terme d'organisation et de gestion.

Il en est ainsi pour la fonction maintenance, fonction qui a émergé dans les années 1970 à 1980 [MON 87] comme réponse à un besoin nouveau: celui de maîtriser l'organisation et la gestion des équipements de production dans un environnement PME/PMI qui est capricieux et changeant.

La maintenance devient un gisement d'enseignement sur la productivité, la qualité et la sécurité. Il faut donc savoir d'où elle vient (hier, nous subissons la dictature des équipements de production appelé en d'autres termes entretien) là où nous sommes (aujourd'hui, nous cherchons à maintenir) pour orienter notre avenir. Demain nous devons acquérir la pleine maîtrise de nos systèmes de production.

Pour se faire une vision transversale axée sur l'organisation et les méthodes d'analyse des données qui en découlent devient une nécessité.

1.2 Enjeux et forme de la maintenance pour les PME/PMI

La maintenance n'est pas une destination ou bien une fin en soi. La maintenance est une des fonctions de l'entreprise. A ce titre elle est parfois peu lisible et parfois méconnue des décideurs des petites et moyennes entreprises. Ils sous-estiment son impact et est considérée comme un centre de Coût[SOU 90]. Et pourtant elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise.

Bien organisée elle est un centre de profit [SOU 90], facteur important de productivité, qualité et sécurité. Le coût des conséquences d'une panne, sa médiatisation, joue un rôle dans la prise de conscience qu'on ne peut pas faire l'économie d'une maintenance efficace.

Il est assez difficile de positionner la maintenance au sein d'une grande entreprise, que fera t-on pour une PME/PMI? C'est l'objectif de cette Thèse, dans laquelle nous découvrirons au fil des chapitres l'enjeu que représente le maintien efficace des équipements de production.

I.3 Décomposition fonctionnelle et topologique des équipements de production

I.3.1 Définition et structuration

L'équipement de production peut être considéré comme un ensemble déterminé d'éléments discrets (ou composants) interconnectés ou en interaction dont le but est de réaliser la production [VIL 88]. L'accomplissement de la fonction production est généralement équivalent à la délivrance d'un service (Comportement d'un système tel qu'il est perçu par son ou ses utilisateurs [LAP 95].

Le terme équipement de production peut-être l'équivalent, d'un outil, d'une entité, d'une machine, d'un dispositif, et d'un système de production. Ainsi, dans un souci de clarification, on utilisera le terme équipement de production, mais, l'un ou l'autre des termes mentionnés peut-être utilisé.

L'équipement de production est fait de composants en interaction, on suppose ainsi que le système (équipement de production) n'est pas seulement égal à la somme de sous-système ou, de ses composants. En outre, si la nature physique d'un sous système ou d'un composant se modifie à la suite d'une défaillance, le système est lui-même modifié. C'est ainsi que tout système dans lequel un élément est défaillant devient un nouveau système différent du précédent. L'un des objectifs des travaux de cette thèse en dehors de l'aspect organisationnel est de savoir dans quel état le système peut encore produire en minimisant les conséquences économiques.

Les relations inclusives suivantes sont utilisés:

(pièce) \subset (composant) \subset (sous-système) \subset (système).

I.3.2 Décomposition fonctionnelle et topologique

La décomposition d'un équipement de production peut se résumer en trois différents aspects :

- Un aspect topologique représentatif du parcours du flux de production, ce qui permet de situer la position de l'équipement de production par rapport au processus de production (CCP,CCQ, CCS, CSCP, CSCQ).
- Un aspect hiérarchique représentatif de la décomposition organique de l'équipement de production tel représenté sur la figure 1.1 dans laquelle les champs sont reliés sous la forme arborescente.
- Un aspect fonctionnel représentatif des principales fonctions attendus au sein du système.

Les tâches qui composent un équipement de production sont classées en quatre catégories :

1. La fonction Conduire : fonction de base destinée à contrôler le comportement futur et immédiat du processus de production, pour atteindre les objectifs de production exprimés en terme de qualité et de productivité.

2. La fonction Maintenir : fonction de base destinée à assurer une disponibilité de l'équipement de production.
3. La fonction Suivre : fonction de base destinée à recueillir et à synthétiser les informations relatives au comportement de l'équipement de production.
4. La fonction Sécuriser : fonction de base destinée à assurer la non occurrence de défaillances catastrophiques qui pourraient mettre en danger le personnel d'exploitation, l'environnement, les installations de production, les produits.

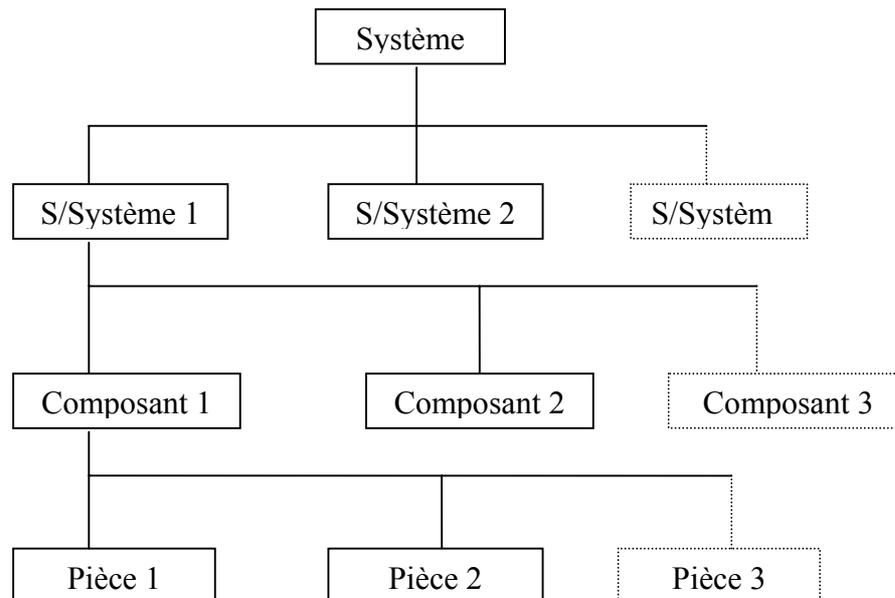


Figure 1.1 : Décomposition hiérarchique d'un équipement de production

En dépit de plusieurs types de représentations (relationnel, réseau, etc..) qui existent, le modèle hiérarchique est mieux adapté dans notre cadre d'étude. Le lecteur désireux de mieux faire connaissance avec les autres types de représentations peut consulter la référence mentionnée [TAS 92] dans notre bibliographie.

Chapitre 2 : STRUCTURES PME/PMI

2.1 Définition

La structure est une notion utilisée dans de multiples disciplines. Appliqué à l'entreprise, ce terme est le plus souvent complété d'un qualificatif : on parle ainsi de structure des activités, juridiques, financières, organisationnelles,... avec la volonté de suggérer une certaine stabilité pour chaque domaine considérée.

C'est évidemment au sens de structure d'activités organisationnelles qu'il conviendra dans nos travaux de comprendre le terme. Dans ce sens il faut mettre en évidence les formes schématiques, fonctionnelles et inter- relationnelles.

De part la multitude de définitions et de concepts qui entourent ce terme nous pouvons considérer comme définition celle de Gélinier [DES 92] qui stipule que « *La structure d'une entreprise est le cadre stable dans lequel se déploient les multiples actions du processus d'exploitation* ».

La présentation des différentes structures se fera de façon succincte. Le lecteur désireux de savoir plus, pourra consulter les références [DES 92], [HEL 96], [FAB 97], [CHA 94] de notre bibliographie.

2.2 Les différentes structures

2.2.1 Modèle 1 : Structure hiérarchique

La forme schématique est représentée sur la figure 1.2. Les caractéristiques de cette structure sont les suivantes :

- elle est centralisée,
- un subordonné n'a qu'un seul chef,
- le chef donne des instructions et le subordonné exécute,
- la communication entre les services est verticale,
- il y a pas de contact latéraux entre service,
- les tâches sont spécialisées,
- la rigidité dans la manière de fonctionner,
- seul le D.G a une vision générale de l'entreprise.

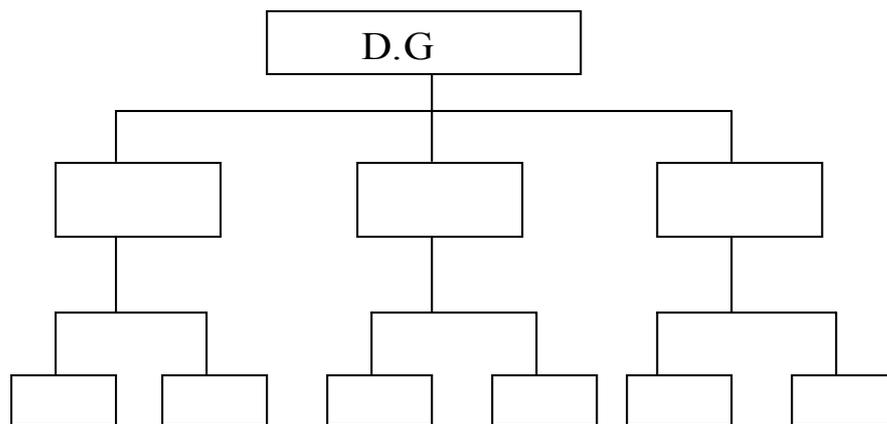


figure 1.2 : Structure hiérarchique

2.2.2 Modèle 2 : Structure fonctionnelle

C'est la départementalisation basée sur la nature des tâches : celles-ci sont classées en quelques grandes fonctions auxquelles correspondent des services ou des départements de l'entreprise. La figure 1.3 présente sa forme schématique.

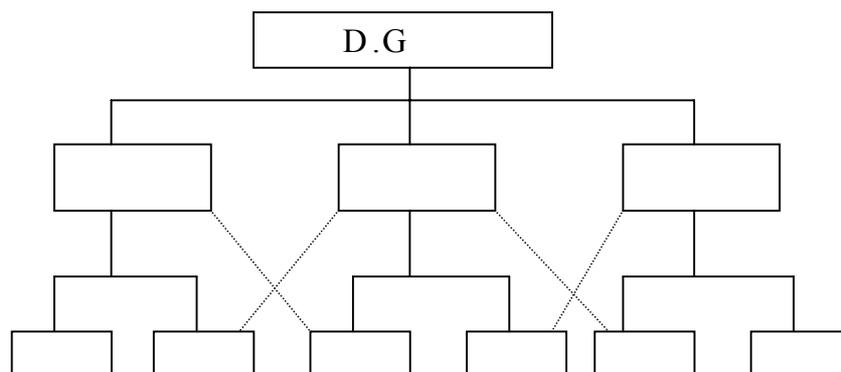


figure 1.3: Structure fonctionnelle

Les caractéristiques de base sont :

- un subordonné peut avoir plusieurs chefs,
- le principe de spécialisation est présent,
- la communication verticale et croisée est possible,
- il n'y a pas de contacts latéraux,
- elle est moins rigide que la structure hiérarchique,
- plus de souplesse au niveau de la vision générale de l'entreprise.

2.2.3 Modèle 3 : Structure hiérarchico – fonctionnelle

La figure 1.4 présente sa représentation schématique.

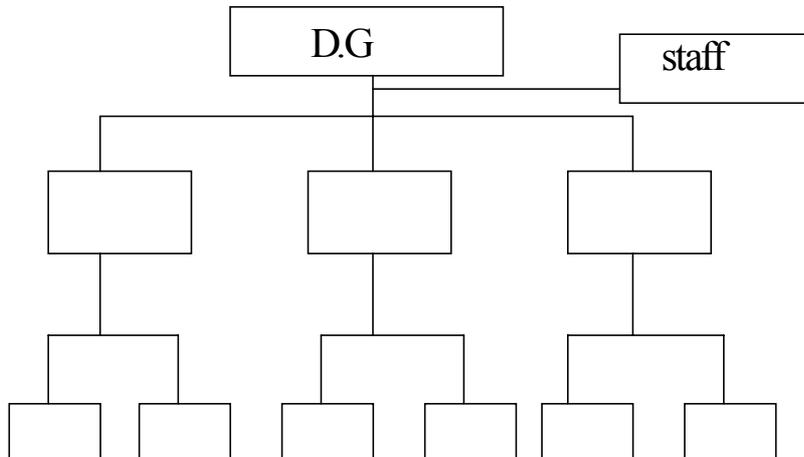


figure I.4: Structure hiérarchico-fonctionnelle

Les caractéristiques de cette structure sont :

- il existe un staff- conseil avec une position d'état -major qui conseille la direction et les services,
- le principe est hiérarchique,
- seule la communication verticale est présente,
- il n'y a pas de contacts latéraux,
- seul le D.G a une vision générale et donne les ordres,
- le staff organe à titre consultatif sans pouvoir de décision.

2.2.4 Modèle 4 : Structure divisionnelle/lignes de produits

La structure divisionnelle a constitué une innovation organisationnelle majeure au premier quart du XX^e siècle [DES 92]. Le principe consiste à découper l'entreprise en divisions chargée chacune d'un domaine d'activité, souvent défini par une famille de produits, d'une certaine nature technique et ayant une certaine clientèle ou des réseaux de distribution propres. La figure 1.5 présente sa représentation schématique.

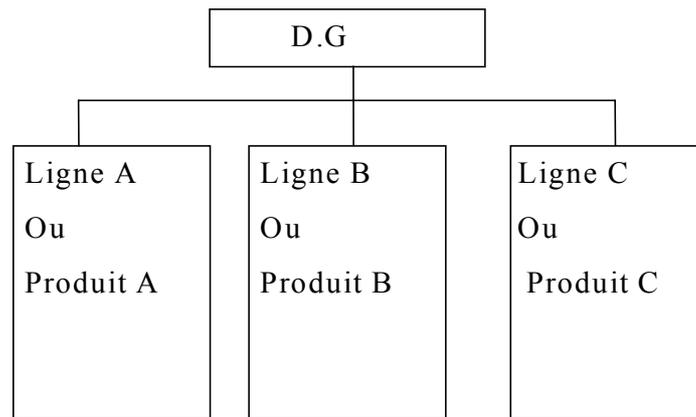


figure 1.5 : Structure divisionnelle

Elle se caractérise par:

- une nette séparation entre la direction générale et les divisions opérationnelles,
- une quasi-autonomie des divisions,
- la décentralisation ne dépasse pas l'échelon des responsables de division,
- elle ne concerne que les PME/PMI effectuant les produits différents ou ayant plusieurs lignes de production,
- à chaque division on retrouve une organisation fonctionnelle,
- il n'y a pas de contacts latéraux entre lignes ou produits,
- une grande capacité d'adaptation.

2.2.5 Modèle 5 : Structure matricielle

Cette structure apparaît vers les années 60 [HEL 96] pour désigner un mode d'organisation plus ancien, auparavant qualifié de gestion de projet ou de programme. C'est une forme d'organisation mise sur pied aux Etats –Unis durant la Seconde Guerre mondiale pour concevoir et construire la première bombe atomique[REI 80]. Elle est désignée structure matricielle parce qu'il est possible de représenter la double structuration au moyen d'une matrice (Figure 1.6).

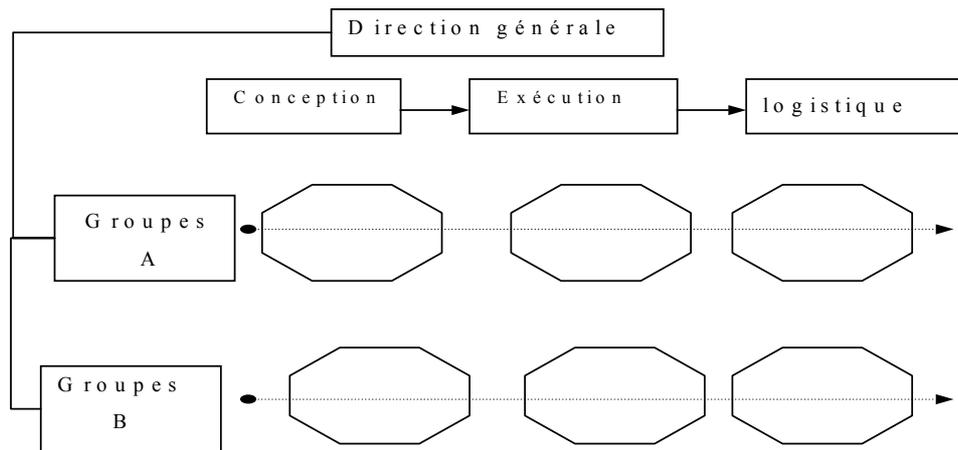


figure I.6: Structure matricielle

Elle est caractérisée par:

- une forte décentralisation,
- une création des groupes
- projets autonomes qui gèrent toutes les étapes du processus de production,
- elle limite tous les problèmes de coordination,
- les décisions sont prises le plus près possible du lieu des opérations,
- elle permet une plus grande efficacité,
- elle traite les tâches complexes, incertaines et changeantes requérant pluridisciplinarité,
- elle maintient un haut niveau de compétence technique avec utilisation efficiente des

ressources spécialisées rares.

2.3 Avantages et inconvénients de chaque type de structure

2.3.1 Avantages et inconvénients

Aucune organisation n'est parfaite, mais chaque type de structure doit cependant assurer le fonctionnement de la PME/PMI. Dans ce cas on adapte le traitement des données du retour d'expérience recueillies à la structure qui va les analyser et les gérer. Le tableau ci-dessous récapitule les avantages et les inconvénients de chaque type de structure par rapport à l'analyse de ces données du retour d'expérience, objet d'étude de nos travaux.

Tableau 1.1 :Avantages et inconvénients de chaque type de structure

Modèle	Analyse des données du retour d'expérience	
	Avantages	Inconvénients
Modèle 1 : structure hiérarchique	<p>La définition précise des tâches</p> <p>Définition des responsabilités</p> <p>Existence d'une unité de commandement</p> <p>Elle est centralisée</p> <p>Clarté dans l'exécution des tâches</p>	<p>Les cadres ne sont pas polyvalents</p> <p>Peu d'intérêts pour les exécutants</p> <p>Ambiance parfois tendue</p> <p>Esprit de paroisse</p>
Modèle 2 : structure fonctionnelle	<p>Plus de souplesse dans le commandement</p> <p>Les cadres sont spécialisés</p> <p>Le personnel est compétent</p>	<p>Autorité répartie</p> <p>Conflits fréquents</p> <p>Difficulté de coordination</p> <p>Inadaptation rapide aux changements</p>
Modèle 3 : structure hiérarchico - fonctionnelle	<p>Concilie les deux cas de structure précédents</p> <p>Décision hiérarchique on line</p> <p>Existence d'un conseil : staff</p>	<p>Responsabilité et autorité difficile à définir</p>

Suite du tableau 1.1

Modèle	Analyse des données du retour d'expérience	
	Avantages	Inconvénients
Modèle 4 : structure divisionnelle	<p>Les cadres sont plus spécialisés</p> <p>La structure évolue en fonction des besoins</p> <p>Plus d'autonomie dans le travail</p>	<p>Commandement affaibli</p> <p>Risque d'anarchie fonctionnelle</p> <p>Production à plusieurs vitesses</p> <p>Structure coûteuse</p>
Modèle 5 : Structure matricielle	<p>Création des groupes de travail autonome</p> <p>Diminution des problèmes de coordination</p> <p>Décisions proches des exécutants</p>	<p>Manque de commandement unique</p> <p>Risque de divergence de vue dans certains cas</p> <p>Conflits entre catégories de cadre</p> <p>Mauvaise adaptation à la conception Africaine de l'autorité et de la responsabilité</p>

2.3.2 Classement des formes structurelles théoriques

Le classement du tableau 1.2 a pour objectif d'essayer d'ordonner les forces de chacune des structures par rapport à l'analyse des données du retour d'expérience.

Tableau 1.2 : Classement des formes structurelles théoriques

Modèle	Classement	Commentaire
Modèle 2 : structure fonctionnelle	1 ^{er}	Les cadres sont spécialisés et le personnel est compétent
Modèle 1 : structure hiérarchique	2 ^{ième}	Existence d'une définition précise des tâches avec des responsabilités claires
Modèle 3 : structure hiérarchico - fonctionnelle	3 ^{ième}	Responsabilité et autorité difficile à tenir
Modèle 4 : structure divisionnelle	4 ^{ième}	Structure coûteuse avec l'existence de plusieurs lignes de production
Modèle 5 : Structure matricielle	5 ^{ième}	Aspect paradoxal et complexe. Difficile adaptation avec la conception africaine de l'autorité et la responsabilité

2.3.3 Structure optimale des PME/PMI pour la gestion du retour d'expérience

Après le classement des différentes structures existantes par rapport à l'analyse des données du retour d'expérience, nous pouvons faire ressortir les éléments de bases qui constituent le type de structure idéale des PME/PMI pour la gestion du retour d'expérience en terme de coordination et types de relations.

Pour la coordination, les caractéristiques suivantes sont retenues:

- Ajustement mutuel au fur et à mesure de la réalisation;
- Modification de procédure lorsqu'il y a problème;
- Supervision directe par un supérieur hiérarchique ;
- Standardisation des procédés(mode opératoire, ordre d'exécution, demande des travaux, rapports d'interventions);
- Mise en place des procédures;
- Rapprochement des services;
- Etablissement des groupes de travail;
- Prise de décisions par consensus;

- Communications et discussions sur les sujets d'intérêt commun.

Pour les types de relations, nous pouvons distinguer les relations formelles et informelles.
Pour cela nous avons:

- **Pour les relations formelles**

Se sont des relations qui sont prévues dans l'organigramme de la PME/PMI.

- **Pour les relations informelles**

Elles consistent à:

- simplifier les procédures,
- mettre en œuvre en cas d'urgence,
- rendre plus souple les rapports pour l'ensemble de l'entreprise (cerclé de qualité, groupe AMDEC, MBF, cercle 5S, ETC...).

Chapitre 3 : DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE

3.1 DEFINITION

Le retour d'expérience vise une meilleure connaissance du comportement d'un équipement de production et ses différents composants, de leurs modes de dégradation, de dysfonctionnement ou d'endommagement. Il est basé sur la collecte et la gestion des faits techniques, observés pendant toute la durée de vie de l'installation, de sa mise en service jusqu'à son démantèlement [LAN 94]. Dans ce contexte, la constitution d'un échantillon correct de données passe par la reconstitution de l'historique complet d'exploitation de ce matériel, pour une période d'observation déterminée.

L'obtention des données du retour d'expérience demande du temps, du bon sens et beaucoup d'abnégation et doit se faire à l'aide d'une méthodologie structurée progressive dans un cadre rigoureux telle que le prône la démarche MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité).

3.2 APPROCHE MBF

C'est à la fin des années 60 que des groupes d'étude concernés par la maintenance des avions civils (Maintenance Steering Group) ont proposé une démarche de maintenance adaptée: MSG [CEI 99]. Trois versions successives ont vu le jour et ont servi de base à l'élaboration de la maintenance des Boeing 747, DC10, CONCORDE et Airbus A340. Les évolutions lentes entre les trois versions de la MSG ont vu la diminution des révisions planifiées remplacées par un plus grand nombre d'actions de maintenance conditionnelle.

Dans le domaine industriel [SCH 96], ces méthodes ont donné naissance à la RCM (Reliability Centred Maintenance) ou MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) dont la définition générale pourrait être:

« Stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système » [HAR 94].

Dans le domaine des P.M.I., cette définition doit être modifiée: la disponibilité des équipements est plus importante que leur fiabilité intrinsèque. On pourrait définir en ce moment la MBD (Maintenance Basée sur la disponibilité) comme:

« Stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la disponibilité de l'équipement de production ».

On doit plutôt assurer la sûreté de fonctionnement à un coût raisonnable. On a affaire à des systèmes quasi uniques qui vont répondre à un éventail très large de besoins de production. La démarche doit être participative, agents de maintenance et opérateurs doivent collaborer pour apporter leur expertise complémentaire. On s'oriente alors vers une analyse non exhaustive mais essentielle ayant pour objectif un plan de maintenance optimisé.

Le budget du service maintenance ne permettrait pas de réaliser toutes les actions techniquement souhaitables si une analyse exhaustive était faite. Il est beaucoup plus important pour le responsable du service d'avoir un outil d'aide à la décision qui lui permette de hiérarchiser et de décider quelles sont les actions qu'il vaut mieux réaliser dans le cadre du budget dont il dispose.

Cette approche MBF utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues tels que la matrice de criticité, la méthode de Pareto [LYO 86] [LIG 92b], les grilles d'Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC) [AMD 85] et le logigramme de décision [GAB 98].

La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) apparaît au premier abord comme principalement destinée à élaborer un programme de maintenance préventive optimisé. Cependant, elle a un but beaucoup plus ambitieux. En effet, le second aspect de l'application de la MBF dans les entreprises, principalement dans les P.M.E., réside dans son utilisation comme vecteur principal d'amélioration de l'organisation de la maintenance, ceci malgré le manque de ressources générales observées. C'est la marche initiale nécessaire pour aller vers la certification. Un troisième aspect lié à la conservation des données de maintenance et de production (base de données pour le retour d'expérience) est également un objectif non négligeable de cette méthode.

La mise en place de la démarche doit se faire par une organisation en groupe de projet dans laquelle les différents acteurs sont impliqués pour la mise en place de la méthode MBF. Les différentes étapes de la méthode ont été présentées dans différents ouvrages [RIC 96], [ZWI 96]. Dans notre étude, il s'agit de prendre en compte les spécificités des PME et PMI. La démarche MBF est une démarche participative basée sur le travail en groupe. Trois groupes sont constitués: le "MBF Groupe Management", le "MBF groupe pilote" et le "MBF Groupe équipement".

La création d'un historique de maintenance pour chaque équipement critique et la mise en place d'un retour d'expérience pragmatique et efficace va permettre la validation du programme de maintenance planifiée et donc une mise à jour périodique (méthode dynamique). On obtient également une bonne traçabilité des prises de décision

La méthodologie consiste à rechercher les causes de défaillance d'un équipement par une analyse fonctionnelle qui permettra de définir les limites de l'étude, le milieu extérieur (éléments immatériels ou pièces en contact réel ou virtuel avec les utilités), les fonctions de services, de contraintes avec le milieu extérieur et les fonctions caractérisant les flux ou les contacts entre les machines de production. Cette approche constitue le moyen le plus sûr de recenser toutes les causes de défaillances. A chaque niveau de la décomposition organique, est effectuée une correspondance entre les causes (diagnostic), les effets (pronostic) et la criticité (décision).

Pour limiter l'étude d'un équipement et ainsi gagner du temps, les défaillances sont classifiées par ordre d'importance dans le but d'éliminer les moins influentes. Les plans de maintenance doivent évoluer, être optimisés en fonction des remarques de l'opérateur.

La MBF nécessite un retour d'expérience afin d'améliorer en permanence les plans de Maintenance. Le retour d'expérience, difficile à mettre en œuvre, doit être considéré avec soin car il est indispensable pour assurer la pérennité de la démarche. L'amélioration de plan de maintenance peut se faire à l'aide de l'historique recueilli à partir des fiches des rapports d'intervention

Ce retour d'expérience se présente sous la forme d'un processus itératif d'amélioration continue figure 1.7.

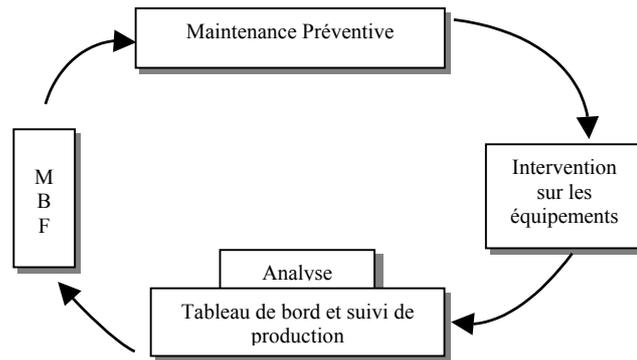


figure 1.7: Mise en place d'un retour d'expérience

Le retour d'expérience s'intègre naturellement dans le système de management d'une PME et PMI. Certes, il nécessite un investissement important mais la spécificité de l'accumulation des fonctions des PME et PMI permet une source de profits et de progrès.

3.3 APPROCHE AMDEC

Pour chacun des équipements impliqués dans les défaillances fonctionnelles critiques, une Analyse des Modes de Défaillances de leur Effet et de leur Criticité (AMDEC) simplifiée doit être réalisée. Elle consiste à étudier et lister les différents modes, causes et effets des défaillances des équipements en utilisant comme outils de communication au niveau du groupe des méthodologies généralement bien connues telles que les graphes de Pareto ou les diagrammes causes /effets [AMD 85]. Pour chaque mode de défaillance on peut trouver plusieurs causes de défaillance ainsi que plusieurs effets.

Le mode défaillance est défini au niveau des fonctions. La cause de défaillance est l'anomalie initiale susceptible de conduire au mode de défaillance. L'effet d'une défaillance est la concrétisation de la conséquence de cette défaillance sur le client de l'équipement étudié. Cet effet peut-être local ou agir sur son environnement. C'est au niveau de l'effet que se mesure la gravité de la défaillance de l'équipement. On peut donc parler de criticité pour chaque triplet (Cause- mode- effet) d'une défaillance. La valeur de la criticité est donné par le produit de la gravité, la fréquence et la probabilité de non détection. Cette valeur obtenue va permettre une hiérarchisation et une limitation de l'étude des différents modes de défaillance et des causes associées.

A la fin d'une étude AMDEC, nous disposons d'une liste hiérarchisée, volontairement limitée aux plus critiques, des modes et des causes de défaillances dont nous voulons éviter ou diminuer les conséquences en mettant en place des actions de maintenance adaptées. Les analyses et les actions obtenues constitueront une source de données du retour d'expérience pour une meilleure organisation de la maintenance adaptée aux petites et moyennes structures industrielles.

3.4 Données nécessaires à l'analyse

Généralement on distingue principalement deux types d'observation [PRO 92]:

Les données du type I : l'observation se termine au temps T avant que tous les composants (N) soient défaillants . Le critère d'arrêt de l'observation est donc une durée.

Le temps T est fixé et les instants de défaillances correspondent à des variables aléatoires.

Les données du type II : l'observation se termine au temps de la k-ième défaillance. le critère d'arrêt de l'observation est donc un nombre de défaillances.

Le nombre k de défaillances est fixé et les instants de défaillances correspondent aussi à des variables aléatoires.

Qu'il s'agisse des données collectées du type I ou II on se trouvera à la tête d'un échantillon de données de type retour d'expérience qui est un mélange très complexes d'observations dont les caractéristiques sont les suivantes:

- données rares, éparses, incomplètes;
- données sur les équipements similaires mais différentes;
- avis des spécialistes.

Afin de définir plus précisément les données à collecter, il est nécessaire de préciser:

- sur quels matériels il convient de faire cette collecte;
- quelles sont les informations à collecter pour ces matériels;
- quelle structure de données doit être adoptée;
- quel est le niveau de qualité souhaité.

3.4.1 Les équipements à suivre

Tous les équipements d'une installation industrielle ne font, général, pas l'objet d'un suivi dans le système de gestion du retour d'expérience. Seul les matériels critiques nécessitent que leur comportement soit surveillé et justifient qu'on cherche à modéliser leur durée de vie, ces matériels répondent à au moins un des critères suivants :

- matériel critique pour la sécurité de l'installation et du personnel ;
- matériel responsable de pertes de production, pour la disponibilité de l'installation ;
- matériel à fort coût de maintenance.

3.4.2 Données organisationnelles

Une approche simplifiée de la méthode AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) [AFN 94] [VIL 88][AMD 85] pour les défaillances fonctionnelles est utilisée pour chaque moyen de production. L'élimination de ce qui paraît le moins critique pour les différents groupes de décision est utile pour faciliter l'assimilation de la méthode et évaluer les résultats d'un plan très ciblé.

Une approche globale est pourtant souhaitable pour éliminer tous risques d'oubli qui ferait croire à l'inadaptation de la méthode MBF. Il est vrai que la mise à l'écart de certaines

défaillances fonctionnelles (après classement) peut en effet laisser de côté plusieurs causes de défaillances qui pourraient être critiques. Mais cette façon de faire permet en priorité la mise en œuvre d'un programme de maintenance préventive réduit et donc plus facilement applicable dans une phase initiale.

Néanmoins, en cas d'oubli, le retour d'expérience permettra de pallier cette conséquence.

Généralement, les données sont collectées à partir de plusieurs sources disponibles :

- Fiche signalétique (choix du matériel et taille de l'échantillon), prise en compte des moyens de l'entreprise, caractéristique générale à tous les matériels (constructeur, numéro de série, date de fabrication, date de mise en service, date de mise à jour...).
- Fiche de défaillance (circonstance, description, mode, cause) ;
- Fiche de fonctionnement (temps, nombre de sollicitations, moyen d'obtention des données, compteur horaire, relevé automatique, estimation forfaitaire, texte libre, informations provenant d'autres matériels similaires).

Les données à collecter doivent permettre de renseigner six rubriques :

- les généralités concernant la défaillance ou la dégradation ;
- l'impact de la défaillance ou de la dégradation sur la disponibilité de l'installation ;
- la description de la défaillance ;
- l'analyse logique de la défaillance ;
- l'intervention de maintenance ;
- les données de fonctionnement relatives au matériel

3.4.3 Données techniques

Le recueil des données de retour d'expérience, tel que nous l'avons décrit, a un caractère multidimensionnel et il n'est pas facile de sélectionner un échantillon pertinent. Les principaux critères de sélection qu'il convient de fixer pour définir l'échantillon sont les suivants:

- les dates de début et de fin d'observation;
- le matériel concerné (les unités où il est installé, le type de matériel, la famille de matériels, l'état et la situation du matériel, un niveau de décomposition dans l'arborescence matérielle, les limites du matériel);

- le mode de défaillance du matériel (on constate en effet souvent que les modes de défaillance d'un matériel sont associés à des modèles de durée de vie différents car ils sont représentatifs de processus physiques différents);
- les caractéristiques techniques du matériel (l'échantillon doit porter sur des matériels ayant les mêmes caractéristiques de conception);
- les conditions de fonctionnement du matériel (le profil d'utilisation des matériels choisis doit être sensiblement le même, en termes de temps moyen annuel de fonctionnement et de nombre moyen annuel de sollicitations subies);
- Les dates et les heures de maintenance préventive;
- les dates et heures des dégradations;
- Les dates et les heures de réparation;
- les conditions d'environnement (température, humidité,...);

Le respect de ces critères de sélection permet d'aboutir à un échantillon homogène. Pour qu'on soit sûr de sa pertinence, une validation - dite secondaire - des faits techniques associés à ces critères de sélection doit être réalisée.

La qualité des données du retour d'expérience doit être très bonne, sans laquelle, il n'est guère possible d'obtenir des résultats et des enseignements fiables et utilisables. L'utilisateur doit examiner la justesse, la pertinence de son échantillon et sa représentativité.

La maintenance corrective (curative et palliative) est réalisée après une défaillance fortuite du matériel. Ce qui permet de calculer les heures de défaillance et de réparation cumulées. Une opération de maintenance corrective effectuée remet la machine sur son régime de fonctionnement nominal.

Les heures de fonctionnement sont estimées à partir d'une valeur cumulée mensuelle à l'aide d'un compteur horaire fixé sur chacune des machines.

Les dates et les heures de fonctionnement par dégradation sont obtenues à partir des signalements sur la fiche des opérateurs qui indique la durée d'une anomalie survenue soit au niveau de l'allure de production de la machine, soit à la qualité du produit fabriqué. En général cette valeur n'a pas une exactitude mathématique, mais estimée.

Les dates et les heures de maintenance préventive sont obtenues à partir du planning du cahier de quart du service maintenance. Elles sont effectuées soit à partir d'un échéancier (systématique), soit à partir des résultats d'une observation de l'état du matériel ayant abouti à la décision d'intervention (conditionnelle). Dans tous les cas de figure, au moment de l'opération de maintenance préventive, le matériel considéré n'est pas défaillant. Tout au plus, on peut juger suffisamment son état de dégradation pour craindre la survenue d'une défaillance avant le prochain contrôle prévu. Les opérations de maintenance préventive effectuées sur notre matériel ne modifie pas son âge.

3.4.4 Données économiques

En effet, une défaillance technique, un arrêt machine, une dégradation engendrent normalement des besoins en main-d'œuvre et en pièces de rechange pour chaque intervention mais aussi, pénalisent sous forme de divers manques à gagner l'activité productive et le bénéfice attendu. Ces coûts « cachés » doivent donc aussi être imputés au coût global de cycle de vie.

Les données économiques font appel à différents coûts de maintenance.

1. Les coûts directs de maintenance, à savoir la somme :

- des coûts de main-d'œuvre,
- des frais fixes du service maintenance (ramenés à l'heure ou exprimés en % du coût de maintenance),
- des dépenses en consommables (auxquelles s'ajoute le coût de possession des stocks),
- des dépenses externes (contrats de maintenance, travaux sous-traités).

Globalement ces coûts directs de maintenance vont dépendre :

- de la façon dont le constructeur a intégré la maintenabilité lors de la conception,
- de la politique de maintenance après vente du constructeur (services fournis, coût des pièces détachées...),
- du mode de mise en œuvre et d'usage par l'utilisateur (rythme d'utilisation, état de l'environnement industriel...),
- de la politique de maintenance mise en place par l'utilisateur,
- des objectifs de disponibilité que se fixe l'utilisateur.

2. Les coûts indirects ou coûts de non maintenance

Les coûts de non-maintenance correspondent aux coûts résultant de l'indisponibilité ou des dégradations de fonction des équipements. Il s'agit en fait d'un coût de "non-maintien" des caractéristiques fonctionnelles des équipements.

Ils peuvent inclure, par exemple:

- les pertes de bénéfices induites par un arrêt intempestif de production programmée,
- les coûts de reprise des rebuts et les défauts de non qualité,
- les pénalisations induites par des reports de délais,
- la perte d'image de marque,
- etc.

En clair, tous les responsables de maintenance ayant comme souci de justifier des décisions d'actions ou d'investissements lors des négociations budgétaires annuels ne peuvent pas ignorer ces deux notions de coûts directs et indirects.

Une politique de maintenance sera donc caractérisée par :

- Son impact sur les coûts directs d'intervention.
- Son impact sur le taux de rendement et sur les charges fixes.
- Son influence sur la pénalisation globale annuelle calculée à partir de la valeur horaire unitaire de perte de rendement (prenant en compte la rémission).

Chapitre 4 : METHODE D'AIDE A LA DECISION

4.1 Aide a la decision

4.1.1 Définition de l'aide à la décision

Comme le dit [LAB 01], une décision comporte deux composantes : des éléments objectifs et des éléments subjectifs. Un ensemble de décisions est valable pour les équipements de production sur un horizon temporel qui peut varier entre le long, le moyen et le court terme.

Une stratégie à moyen et long terme repose sur des éléments objectifs, ce qui suppose l'existence de critères : la productivité, la rentabilité, la qualité, fiabilité, disponibilité... Tous ces critères peuvent être mesurés par des ratios rassemblés dans les tableaux de bord. Cependant une stratégie suppose une prise de risque et par conséquent une conception de l'avenir par le décideur. Il est donc possible de modifier de manière dynamique le comportement des équipements de production par des décisions sur les politiques de maintenance prises au cours du temps.

Les décisions à court terme doivent répondre aux besoins immédiats de l'équipement fixant rapidement la réponse à adopter à l'apparition d'événements perturbateurs.

Les décisions doivent être prises en respectant la triple contrainte fiabilité - disponibilité-coûts.

4.1.2 Théorie de la décision

En effet, les défaillances des composants critiques de l'équipement critique peuvent avoir des conséquences graves tant sur les paramètres techniques, organisationnels que économiques.

L'état de ces composants est dû à des formes variées de causes, se traduisant par l'augmentation de la probabilité des défaillances en fonctionnement avec des conséquences diverses sur l'équipement de production.

Les décisions de maintenance dépendent ainsi de la possibilité d'estimer en tant réel et de prédire le comportement réel de ces composants en tenant compte de toutes les informations disponibles provenant tant de la conception que de l'exploitation.

L'objectif principal est de fournir une description prédictive de l'évolution du risque de défaillance (probabilité de défaillance) aux preneurs de décisions tant sur l'influence des paramètres techniques que économiques. Toute la méthodologie doit être basée sur la compréhension des mécanismes de défaillance et leurs effets sur l'équipement de production.

En fin de compte, soit le décideur prend la décision en fonction de l'évaluation de la probabilité d'apparition des défaillances, soit il considère qu'il faut disposer de plus de données de retour d'expérience auquel cas, la révision de l'échantillon de données du retour d'expérience devient nécessaire.

Dans tout état de cause, ce choix doit dépendre bien entendu de l'objectif de sûreté fixé et des possibilités de conduite que dispose chaque PME/PMI.

4.2 Les méthodes d'analyse

4.2.1 Approche globale

Ces méthodes ont vu le jour vers les années 60 par Barlow, Proschan, Jorgenson, MC Call, Radner et Hunter. Leurs différents résultats sont résumés dans [McCall 65] et [Bar 65].

Pour Dekker dans [DEK96], fondamentalement, un modèle d'optimisation de la maintenance est un modèle mathématique dans lequel les coûts et les bénéfices de la maintenance sont quantifiés (mesurés) et qu'un équilibre entre eux est obtenu tout en tenant compte des contraintes de production. En général les modèles d'optimisation de la maintenance couvrent quatre aspects :

- La description technique du système, ses fonctions et son importance;
- La modélisation du système de défaillance du système et les conséquences possibles;
- La description des informations sur le système et les actions de gestion du système qui s'imposent;
- La détermination de la fonction objective avec des techniques d'optimisation qui s'imposent pour rechercher l'optimum possible;

Tous ces modèles utilisent les techniques de programmation linéaire et non linéaire, programmation dynamique, les décisions de Markov, les arbres de défaillances, la décision statistique bayésienne, l'analyse bayésienne, systèmes experts ...

Les résultats attendus de ces différents modèles sont différents:

- la comparaison des politiques de maintenance avec les paramètres de fiabilité et de rentabilité;
- l'obtention de la structure optimale des politiques;
- l'aide à la synchronisation des actions de maintenance;
- la planification des opérations de maintenance;
- l'obtention des plans de maintenance technique tenant compte des contraintes;

Il en demeure pas moins que de nombreux problèmes existent sur les modèles d'optimisation de la maintenance. Les plus fréquemment rencontrés sont:

- la collecte et l'analyse des données ;
- le problème de résolution numérique;
- de modélisation de la défaillance;
- compréhension et interprétation difficile des modèles pour les techniciens de

maintenance et de production;

- L'écriture en langage mathématique;
- La confidentialité des informations détenues par les entreprises pour des raisons de concurrence;
- Le manque d'intérêt des entreprises pour la publication.

Il n'existe pas de modèle générique d'optimisation de la maintenance, l'essentiel est d'indiquer la meilleure décision à prendre et obtenir les informations sur la disponibilité.

Les perspectives d'avenir pour les modèles d'optimisation de la maintenance sont intéressantes à cause de deux raisons essentielles:

- La poussée technologique et la nécessité économique;
- L'augmentation du capital d'investissement;

En général les modèles auront donc pour mission d'évaluer les conséquences économiques des décisions prises.

Il faut savoir que chaque problème du retour d'expérience est un cas particulier et on ne peut définir des méthodologies et des outils stricts. Le choix des modèles appropriés devant être laissée à l'analyste du retour d'expérience. Il n'est pas exclu que certains problèmes de retour d'expérience exigent des études longues de mise au point.

4.2.2 Approche déterministe ou classique

Elles sont principalement utilisées lorsque le nombre de données de retour d'expérience est suffisamment important.

Parmi ces méthodes on peut noter l'utilisation des diagrammes, des histogrammes, de l'AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité), de l'étude MBF, La méthode d'espace des états(Markov), des arbres de défaillances, les réseaux de pétri Stochastique..... Ces méthodes sont et beaucoup plus utilisées pour le calcul de la disponibilité.

Généralement pour la méthode d'espace des états, le système est modélisé sous forme des états: l'état i dans lequel se trouve le système à un instant t ne dépend que des états $(i-1)$ ou $(i+1)$. Le passage d'un état à un autre se réalise suivant une loi exponentielle, le taux de défaillance λ et de réparation μ est souvent supposé constant. Les différents états de fonctionnement et de pannes sont définis par un graphe où l'on fait apparaître la possibilité de passage d'un état à l'autre. C'est ce que l'on appelle un graphe de transition. Les probabilités de passage d'un état à l'autre caractérisent la disponibilité du système. La probabilité de fonctionnement d'un système se stabilise vers une valeur constante au cours du temps. C'est l'asymptote de la fonction de disponibilité $A(t)$. Les travaux de [JHAN 97] [CAR 91] où la connaissance de l'état du système se fait lors d'un arrêt dû soit à une inspection ou à une intervention corrective exprime clairement cette idée. La fonction objective étant de minimiser le coût moyen à long terme.

L'application industrielle de Deniau dans [DEN 99], pour les besoins de maintenance préventive d'équipements de ALSTOM, conduit à développer un modèle qui repose sur le concept de réparation minimale enrichi par l'introduction de l'actualisation des données. L'optimisation est basée sur le concepts de maximisation du revenu global d'exploitation.

L'applicabilité de ces méthodes déterministes trouvent également des applications au niveau économique sur les travaux de [MAT 97] où le besoin du retour d'expérience se fait ressentir pour la réduction des écarts entre le niveau d'inventaire prévu et le niveau réalisé.

Des efforts restent à réaliser pour déterminer l'appréciation de la distribution des paramètres des lois de fiabilité. Elles sont utilisables dans les cas simples représentant les cas d'application directs de la théorie de la probabilité, mais leur utilisation nécessite certaines hypothèses qui sont rarement rencontrés dans le cadre de problèmes scientifiques réels. Leur utilisation nécessite de choisir une statistique par intuition plutôt que par la théorie des probabilités avec des critères qui ne sont pas contenus dans les lois des probabilités(Intervalles de confiance, zone d'acceptation de tests d'hypothèse ..).

D'autres méthodes classiques inductives comme AMDEC [AMD 85] ou déductives telles que les arbres de défaillance et les arbres de maintenance nécessitent:

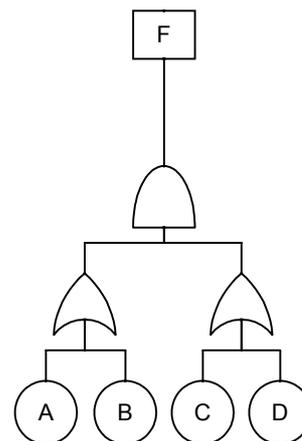
- Une mise en œuvre détaillée de la machine ou équipement de production;
- Une historique complète;
- Une structuration arborescente rigide qui peut pénaliser l'évolution du modèle.

Les Arbres de Défaillance (AdD)sont des représentations graphiques qui à partir d'un **événement redouté (noté F)** donné, ont pour but d'identifier séquentiellement l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires.

On considère un **système (noté S)** dont l'AdD est représenté ci-contre.

On distingue alors deux types d'éléments :

- Les **composants** (A, B, C, D) qui constituent le système.
- Les **portes (OU, ET, 2/3...).**



L'Analyse quantitative d'un AdD consiste à calculer la probabilité de l'événement redouté connaissant les probabilités de défaillance des composants.

L'événement redouté F est la défaillance du système S.[VILL 88] donne beaucoup plus de détail sur la méthode.

4.2.3 Approche Probabiliste

Elles sont les seules permettant de prendre en compte l'impact de la maintenance sur la loi de fiabilité des matériels. Dans ce cadre on peut citer la méthode des diagrammes d'influence, des décisions statistiques bayésiennes et les réseaux bayésiens, etc...

- Utilisation des diagrammes d'influences

Les travaux de [VATN 96], [VATN 97] illustrent une parfaite application de ces méthodes où Selon VATN, la plupart des articles sont abstraits et les modèles difficilement identifiables. Pour apporter des améliorations conséquentes, il y a un réel besoin d'intégrer la maintenance avec tous les autres secteurs d'activité d'une entreprise et formuler une approche théorique avec des bases solides.

Cette modélisation est basée sur la conception des diagrammes d'influence. Ce diagramme permet de visualiser l'analyse globale du cadre d'étude. Il démontre les relations entre les décisions à prendre, concernant le type et la fréquence de maintenance, et les diverses mesures de l'exécution du système. Cette modélisation est composée de différents nœuds:

- **Le nœud de décision** (qualité du composant, tâches de maintenance, et la logistique) ;
- **Le nœud de performance**(nombre de pannes, temps d'arrêts, nombre d'accidents, nombre de blessés, nombre de morts, et le m³ cube de pollution);
- **Le nœud de valeur** qui donne une certaine valeur à la fonction de perte.

Le but essentiel de cette modélisation par diagramme d'influence étant de favoriser la communication entre les personnes impliquées dans le processus de production de l'usine. L'analyse de cette modélisation contient quatre principales étapes:

- La définition du problème: définition des bornes et l'objectif de l'analyse;
- Etablissement de la fonction de perte et les préférences avec identification des principales activités de l'usine;
- Modélisation de la fiabilité;
- Compilation des résultats : La valeur prévue de la fonction de perte est établie, et une minimisation de cette fonction est effectuée avec identification des fréquences des activités de maintenance;

VATN stipule que les méthodes actuelles d'optimisation ne doivent pas tenir compte des théories statistiques poussées, mais d'en tirer les bénéfices des éléments offerts par ces théories.

Les décisions statistiques sont basées sur deux éléments:

Le premier est normatif et traite des préférences et des conditions d'optimisation (augmenter la fiabilité, protéger l'environnement, augmenter la sécurité, diminuer les coûts, etc....).

Le second est descriptif, décrit comment les besoins normatifs peuvent être répondus en mettant en application les diverses actions de maintenance.

La modélisation de l'effet des actions de maintenance met en relation les caractéristiques des composants du système et ceux des variables aléatoires du système.

Lorsque les ressources humaines et matérielles sont limitées, il est impossible d'avoir toutes les caractéristiques de fiabilité des composants. Il serait donc judicieux de les classer en fonction de leur criticité. Les caractéristiques du système sont traités comme variables aléatoires. L'approche efficace est de modéliser l'effet de la maintenance au niveau des composants, ensuite modéliser la relation entre les différents composants et les variables du système.

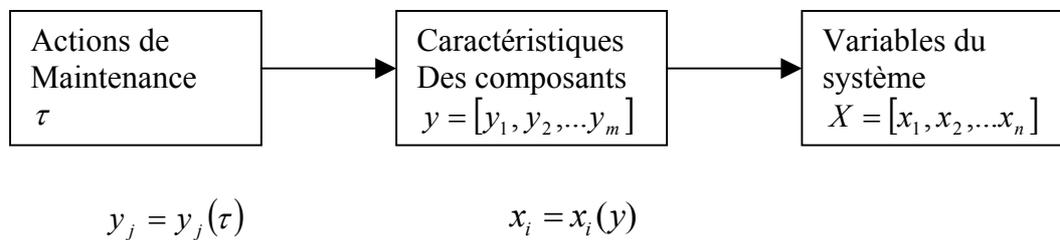


figure 1.8: modélisation de l'effet de la maintenance

La relation $x_i = x_i(a)$ ne pourra pas être établit d'avance car x_i est traité comme variable aléatoire de X où la distribution de probabilité dépend des actions a . Il faut optimiser les variable x_1, x_2, x_n . La théorie de Jorn Vatn propose pour la résolution de ce système deux situations :

- Si le problème est déterministe, on peut mesurer l'effet des actions de maintenance et calculer la fonction de valeur.
- Si les actions de maintenance sont mesurées en terme de probabilité, l'incertitude apparaît sur la décision. Il est donc judicieux d'exprimer la fonction d'utilité et le décideur tiendra compte du risque associé.

L'action optimale sera celle qui maximise la fonction d'utilité. Le diagramme d'influence montre la relation entre les actions de maintenance, les variables aléatoires et la fonction d'utilité.

Cette méthode tombe dans le coup des méthodes très généralistes qui ne cerne pas le problème d'un point de vu ciblé:

- Le principe de modélisation met en jeu toutes les composantes d'une entreprise;
- l'incertitude sur le choix des décisions de maintenance car fixé par l'avis des experts.
- L'objectif assez restreint étant d'augmenté la fiabilité et la sécurité du matériel.

4.2.4 Approche de la décision statistique bayésienne

La théorie de la décision statistique Bayésienne pour le problème d'optimisation de la maintenance permet de déceler les limites de la MBF dans le processus d'optimisation de la maintenance. Il ressort que l'approche MBF a des limites lorsque:

- le retour d'expérience est petit ou rare ou,
- qu' il faut proposer une fréquence optimale de maintenance.

Dans ces deux cas l'expérience des experts sera associée avec le retour d'expérience(Approche Bayésienne) et la combinaison du risque de pannes et ses conséquences économiques sont prises en considération (Théorie de la décision statistique).

Pour réaliser l'aide au choix réelle des décisions de la politique de maintenance, la théorie de la décision statistique bayésienne semble par contre la plus adaptée. Elle est basée sur trois concepts complémentaires :

- Le choix d'options de maintenance établi par des experts compte tenu de leurs connaissances et du retour d'expérience passé.
- L'évaluation bayésienne du risque associé à chacune des décisions proposées. Un retour d'expérience existe et constitue la probabilité à priori et l'expertise la fonction de vraisemblance qui va être jointe à la densité de probabilité a priori.
- Enfin une évolution probabiliste des conséquences induites par chacune des décisions réalisée. Elle consiste à comparer l'espérance des fonctions d'utilité ou des fonctions de perte de chaque option. Les fonctions de conséquences sont exprimées soit par des fonctions de coûts, soit de façon plus objective (impact sur la sécurité, image de marque, effet médiatique).

Si l'on raisonne en fonction de perte par exemple, la décision optimale sera celle qui conduira à l'espérance de la perte probable la plus faible.

On peut citer l'application de cette méthode sur les travaux de:

PAPAZOUGLOU [PAP 99] où l'utilisation de la fonction d'utilité a contribué à l'estimation des gains prévus pour une décision prise.

MAZZUCHI [MAZ 96] dont l'idée repose sur la modélisation de la stratégie optimale de remplacement en fonction de la durée du cycle et le coût par cycle.

PROCACCIA [PRO 97] dont l'application de la théorie de la décision statistique Bayésienne au problème d'optimisation de la maintenance permet de déceler les limites de la MBF dans le processus d'optimisation. Il s'inspire d'un exemple tiré de l'alimentation électrique de secours des centrales thermiques par deux groupes électrogènes assurant une redondance de 100%. Leur fonctionnement en état dégradé est pratiquement inconnu et les conséquences d'une défaillance éventuelle ne sont pas estimées. L'analyse statistique classique du retour d'expérience grâce à des banques de données de fiabilité SRDF, OMF, s'est avérée insuffisante pour optimiser la périodicité de maintenance systématique et la probabilité d'assurer la

mission en état dégradé. La prise en compte du jugement d'experts a permis d'estimer les risques de défaillance par une démarche bayésienne. Ces risques ont été associés avec les conséquences induites afin de choisir parmi toutes les décisions raisonnables sur la périodicité de maintenance, celle qui conduit à un optimum sur le couple risque x conséquences .

Il faut noter que l'utilisation des diagrammes d'influences ou des décisions statistiques bayésiennes ont une plu value bayésienne accessoire. Le principe étant d'associer les probabilités conditionnelles aux coûts.

La décision statistique bayésienne est également utilisée dans la stratégie de la décision médicale .La mesure des conséquences d'un test ou d'un traitement est effectué avec la mesure du concept d'utilité en exprimant l'espérance de vie attendue, l'arbre de décision et l'analyses des coûts d'efficacité sont exprimés. Le calcul des probabilités conditionnelles se fait par inversion du théorème de Bayes. En supposant que l'observation d'un certain symptôme S est associé à une maladie M, sachant que dans la littérature, on nous dit que lorsque la maladie M est présente, nous pouvons écrire, P(symptôme)/Maladie). En pratique, en fait, nous sommes en situation « inverse »: nous avons le symptôme et voulons savoir si la maladie est présente. Nous cherchons donc à connaître P(Maladie/Symptôme):

Le théorème de Bayes dans ce cas nous permet d'écrire:

$$P(M / S) = \frac{P(S / M).P(M)}{P(S / M).P(M) + P(S / M).P(M)} \quad (1.1)$$

Les travaux de [MAR 99], [SOX 99], dans « Medical making butterworths et de Grenier B. donnent de plus en plus d'explication sur la méthode. Le théorème de Bayes est à l'origine de tout une série de système de diagnostic automatique en médecine.

4.2.5 Approche Bayésienne

Ce théorème [ROB 92][CHA 68][PRI 58] a été présenté dans une communication datant du 23 décembre 1763 à la Royal Society. Deux ans après la mort de BAYES par PRICE.

Cette méthode fait partir d'une logique inductive par opposition à la logique déductive s'appliquant en particulier aux problèmes mathématiques et aux jeux du hasard .En logique inductive , on connaît les effets (ou observations) et on essaie de déterminer les causes possibles qui ont pu les générer. Ce type de problème est nettement plus difficile à résoudre . Sa résolution consiste à réaliser la meilleure inférence à partir des données en exploitation et de toute connaissance a priori disponible, en réservant le droit de réviser sa position si une nouvelle information devient disponible.

Afin de formaliser cette inférence, il est nécessaire de trouver certaines règles générales quantitatives qui s'appliquent au raisonnement inductif. C'est la problématique générale de l'analyse des données du retour d'expérience.

Dans les travaux de [SUHN 94], Marie Christine SUNHER nous fait revivre l'histoire de la méthode . Comme Bernoulli (1713), Bayes (1763) et Laplace (1812), une probabilité représente un degré de croyance. Au 19^{ème} siècle, cette définition semblait trop vague et subjective. Elle est redéfinie comme la fréquence relative d'un événement répété un très grand nombre de fois (de façon infinie). Cependant la plage de validité de la définition est plus

limitée car elle ne s'applique qu'aux variables aléatoires et n'est pas adaptée à de nombreux problèmes scientifiques. Cette prise de conscience a conduit à l'invention des statistiques. La statistique devient la variable aléatoire sur laquelle peuvent être appliquées les règles de la théorie des probabilités.

- Principe de L'analyse

Si on considère un événement incertain A, de probabilité non nulle (par exemple la défaillance d'un équipement) et que E soit le résultat d'expériences relatives à cet événement ,la probabilité prévisionnelle conditionnelle pour que A se produise, sachant que l'événement E est déjà réalisé, est:

$$P(A/E) = K. P(E/A).P(A) \quad (1.2)$$

$P(A)$ est la probabilité que l'on prévoit a priori sur l'occurrence de l'événement A avant que l'on connaisse E: C'est l'état des connaissances a priori.

$P(E/A)$ est la probabilité d'obtenir les observations E, si $P(A)$ était vraie: c'est la vraisemblance des connaissances a priori.

$$K = \frac{1}{p(E/A).P(A) + P(E/\bar{A}).P(\bar{A})} \text{ est une constante de normalisation.}$$

Le principe de Bayes montre comment la vraisemblance modifie la probabilité a priori.

Cette vraisemblance peut-être issue soit des observations du retour d'expérience, soit des opinions d'expert. On peut aussi noter que lorsqu'une information complémentaire E_1 devient disponible, on peut écrire:

$P(A/E,E_1) = K. P(E/A). P(E_1/A,E). P(A)$. et cette relation se généralise lorsque de nouveaux flux d'informations sont accessibles.

Le principe de cette propriété est la réactualisation vivante des paramètres dans la démarche d'optimisation de la maintenance en conformité avec la Méthode MBF[GAB 98].

Dans [ISD 97] l'approche bayésienne et ses applications industrielles sont illustrées. [SUH 94] permettent d'intégrer l'analyse bayésienne au cycle de vie du produit en profitant au mieux des informations disponibles aux différents stades de développement de ce produit.

Les techniques bayésiennes constituent un outil statistique performant à divers étapes de la démarche fiabilité. C'est une occasion de mettre en commun les connaissances de chacun. nous pouvons diviser ces techniques avec deux sous groupes:

Estimation des probabilités avec avis des experts. Par exemple dans les travaux de HOFER [HOF 99] l'auteur montre un exemple de deux étages de modélisation bayésienne pour déterminer le taux de panne spécifique à une usine (dans un cadre nucléaire). L'idée est d'appliquer le théorème de bayes à l'aide de l'expérience accumulée sur les installations . Toute expérience est donnée en (S_i, t_i) , où S_i est le nombre de défaillances (ou événement) observé dans l'usine i pendant le temps t_i . La densité de probabilité à posteriori est ainsi estimée :

Estimation des probabilités sans avis d'experts et mise à jour des données du retour d'expérience. Dans [MAN 97], Man –Suk Oh propose une approche de simulation basée sur l'obtention de la densité de probabilité a posteriori à partir d'un échantillon simple de données. La méthode consiste à exprimer la fonction a posteriori comme espérance du produit des densités de probabilités conditionnelles. Si celles-ci sont inconnues, il les remplace par des variables arbitraires de densité connue. La fonction a posteriori est donnée comme moyenne de l'échantillon de la fonction appropriée. Si la taille de l'échantillon augmente, la fonction posteriori converge vers des valeurs beaucoup plus réalistes et raisonnables. Si toutes les probabilités conditionnelles sont connues, on peut bien estimer plusieurs fonctions a posteriori désirées. Cette méthode n'exige pas les méthodes d'approximations compliquées.

4.2.6 Approche systèmes experts

La naissance de l'intelligence artificielle remonte à 1956 durant la réunion de Darmouth college (Hanover, New hampshire) où fut présenté par Newell, Shaw et Simon, le programme de démonstration de propositions logiques « logic Theorist ». Le vocable « Intelligence artificielle » fut inventé la même année par John McCarthy. Le premier système expert est né vers les années 60 à l'Université de Stanford où J. Leberberg met au point le programme DENDAL. C'est un premier programme pour « non-informaticien ».

Le système expert peut se résumer par un système faisant le travail d'un expert. Un expert ou un spécialiste part d'un certain nombre de faits ou de données, il les analyse et rend un verdict. Il est naturellement très difficile de connaître les étapes du raisonnement d'un expert. Certains faits vont évoquer une situation et un retour, cette situation va entraîner certaines conclusions. Ce processus peut-être formalisé sous forme de règles, s'appuyant sur des faits, et permet de générer d'autres faits qui déclencheront à leur tour d'autres règles. Les règles s'enchaîneront alors jusqu'à la conclusion du raisonnement. Un tel système va raisonner plutôt que de calculer, manipuler des faits plutôt que des données numériques. Il est plutôt déclaratif que procédural.

La base de connaissance consigne le savoir et le savoir faire du ou des experts du domaine concerné. La représentation des connaissances peut se faire en utilisant les règles de production du type:

Si (condition1), (condition2),

Alors (action1, (action 2)).

La base des faits contient des faits connus et des données relatives à l'étude. C'est l'espace de travail du système expert qui s'enrichit au fur et à mesure du déroulement du système. Le moteur d'inférences permet cet enrichissement en partant des données initiales de la base des faits, ce moteur déduit de nouveaux faits en utilisant les règles contenus dans la base de connaissances.

En effet, la technique des systèmes experts est susceptible d'apporter une réponse à plusieurs problèmes généraux présents en particulier dans les opérations de maintenance. Entre autres, ce sont :

- L'analyse de données volumineuses et si possible avec des temps de traitement très courts.

- La recherche de configurations particulières dans les données volumineuses;
- Le raisonnement sur des informations incomplètes ou imprécises;
- La mémorisation et le partage du savoir –faire.

De façon plus précises les systèmes experts permettent la détection des défauts, et les aides au diagnostic à partir de descriptions structurelles et fonctionnelles de l'équipement concerné. Les applications ayant trait au diagnostic technique, à la maintenance ou aux analyses de fiabilité sont intenses, mais on constate peu de produits commerciaux. On peut citer entre autres les travaux de [LEB 60], [ERM 89],[WEB 95],[GAB 87], [LIAO 98]. Les systèmes experts sont une méthode moins déterministe, moins rigoureuse, avec une mise en œuvre plus aisée. Par rapport aux méthodes classiques, elle permet d'apporter des explications sur:

Le raisonnement;

- Sur l'introduction d'un résultat d'observation ou de test non proposé par le système;
- Sur la possibilité d'éluder temporairement ou définitivement la réponse à un test;
- Sur la possibilité de prendre en compte l'expérience de l'expert, en mettant en œuvre des raisonnements intuitifs et empiriques, tels ceux utilisés par des réparateurs humains;
- La possibilité d'apprentissage automatique: face à une situation nouvelle, le système expert devrait être capable de mémoriser et de résoudre un cas identique s'il se présente.

4.2.6 Tableau de synthèse des différentes approches pour l'analyse du retour d'expérience

L'optimisation des différentes politiques de maintenance est un problème délicat car on dénombre généralement plusieurs types de politiques applicables et des facteurs sur lesquels elles interviennent sont très nombreux. La prise de décision, à chacun des niveaux prend en compte l'information disponible, son analyse en terme de sûreté de fonctionnement, finalement une prise de risque, soit au niveau de la sûreté soit au niveau technico-économique.

Le tableau 1.3 résume les différentes méthodes d'optimisation de la maintenance par rapport à notre problématique. Il est important de noter que, la colonne avantage synthétise les éléments que nous allons prendre en compte pour le développement de notre méthodologie alors que la colonne inconvénients est constitué des éléments qui n'entrent pas dans notre structure de développement.

Tableau 1.3: tableau de synthèse

CATEGORIES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Approche Globale	<ul style="list-style-type: none"> -Description du système -Modélisation du système de défaillance -Définition des actions de gestion du système. -Synchronisation des opération se Maintenance -Obtention du plan de maintenance technique -Evaluation des conséquences des décisions 	<ul style="list-style-type: none"> -Compréhension et interprétation difficile du modèle pour les techniciens. -Problème de résolution numérique -Ecriture en langage mathématique -Obtention de la structure optimale -Manque d'intérêt pour les entreprises
Déterministe	<ul style="list-style-type: none"> -Interprétation d'un phénomène observé -Nécessité du retour d'expérience -Calcul de la disponibilité -Taux de réparation et défaillance supposés constants -Modélisation en états 	<ul style="list-style-type: none"> -Pénalisation sur l'évolution future du système -Structuration arborescente rigide -Pénalisation de l'évolution du modèle -Manque de la théorie des probabilités (intervalle de confiance, zone d'acceptation des tests)
Probabilistes	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessité du retour d'expérience et avis d'experts -Prise en compte des décisions de maintenance sous forme arbre de décisions -Calcul des probabilités conditionnelles -Etablissement de l'utilité ou de la perte -Structure évolutive -Décèle les limites de la MBF 	<ul style="list-style-type: none"> -Diagramme d'influence -Etablissement des réseaux -Pas de prise en compte de l'avis des experts

Suite du tableau 1.3 : tableau de Synthèse

CATEGORIES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Analyse Bayésienne	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation des experts -Sans avis des experts avec mise à jour des données du retour d'expérience -Logique inductive (Particulier au général) la statistique devient la variable aléatoire où s'applique la théorie des probabilités -Utilisation de l'influence 	<ul style="list-style-type: none"> -Seulement pour l'estimation de la fiabilité
Systemes Experts	<ul style="list-style-type: none"> -Bases de connaissances -Mémorisation et partage du savoir faire -Utilisation des experts 	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessité des données volumineuses -Moins rigoureuse -Logique procédurale -Ne fait pas de calcul numérique -Nécessaire pour les gros Systemes

CONCLUSION

Les décisions sont prises soit à partir d'une approche déterministe, soit grâce à une démarche probabiliste. Dans ces deux cas, toute expérience opérationnelle passée doit être traitée statistiquement, afin de fournir des informations synthétisées au preneur de décision. La question qui se pose est de savoir quand intervenir sur un équipement subissant des opérations de maintenance préventive et curative, sachant que seule la connaissance du retour d'expérience associé à ce matériel est disponible ?

Le problème se pose encore avec beaucoup plus d'importance au niveau des PME et PMI où :

- L'organisation est le fruit d'une histoire où le poids des traditions quelques fois familiales, souvent fondées sur l'intuition et la centralisation des décisions constitue un frein aux mutations trop brutales.
- L'Optimisation de la maintenance apparaît comme secondaire voir n'apparaît pas du tout .
- L'entretien, puisqu'il s'agit du terme encore le plus souvent rencontré, reste l'un des derniers bastions de la tradition où se sont réfugiés les « rebelles » à ces changements ce qui a creusé le fossé déjà important qui existait traditionnellement entre maintenance et production.

Pour répondre à cette problématique, une nouvelle démarche spécifique aux PME doit être développée afin de permettre l'évolution rapide de la maintenance. Ce qui fait l'objet de la deuxième partie.

PARTIE II

PROPOSITION DE LA STRATEGIE D'ORGANISATION DE LA MAINTENANCE

INTRODUCTION	52
Chapitre 1: STRUCTURE DE L'ENTREPRISE	53
1.1 Forme schématique	53
1.2 Forme fonctionnelle	54
1.3 Moyens de mise en œuvre	54
1.3.1 Lutte pour la valorisation des moyens humains	55
1.3.2 Lutte contre l'insuffisance des moyens financiers et matériels	57
1.4 Force d'adaptation du modèle structurel proposé	57
1.5 Finalité de la structure proposée avec les objectifs de l'étude	58
Chapitre 2: ANALYSE DES DONNES REX PAR L'UTILISATION DES TECHNIQUES BAYESIENNES	61
2.1 Justification du choix des techniques bayésiennes	61
2.1.1 Utilisation de toutes formes de connaissances	61
2.1.2 Utilisation des expressions conjuguées	64
2.1.3 Utilisation de l'inférence bayésienne	65
2.1.4 Utilisation du nombre et la nature des données du retour d'expérience	66
2.1.5 Prise en compte des modifications d'équipement	67
2.1.6 Prise en compte du risque de décision	67
2.2 Différents cas de situation pour l'évaluation de la fiabilité	68
2.2.1 Historique faible complétée par l'expertise	70
2.2.2 Historique faible complétée par l'expertise bornée	72
2.2.3 Historique faible et expertise en contradiction	73
2.2.4 Existence de l'expertise uniquement	75
2.2.5 Historique et expertise importantes	77
2.3 Cas de l'évaluation de la disponibilité	79
2.3.1 Caractéristique	79
2.3.2 Contexte de l'étude	79
2.3.3 Evaluation classique de la disponibilité	80
2.3.4 Evaluation Bayésienne	81
Chapitre 3: ASPECT ECONOMIQUE	84
3.1 Evaluation des conséquences économiques	84

3.1.1	Méthodologie	84
3.1.2	Coût de la politique de maintenance : $C_{p,m}$	86
3.1.3	Coûts directs de maintenance : C_d	88
3.1.4	Coûts indirects de maintenance : C_{ind}	88
3.1.5	Coûts de remise en marche : $C_{r,m}$	89
Chapitre 4: PRISE DE LA DECISION		90
4.1	Méthodologie	90
4.2	Construction de l'arbre de décision	90
4.3	Expression de la fonction de perte	93
4.4	Risque de décision	94
4.5	Démarche sur la prise de décisions	94
Chapitre 5: STRATEGIE GENERALE D'ORGANISATION		98
5.1	Méthodologie	98
5.2	Stratégie d' Organisation et de Gestion de la Maintenance Basée sur le Retour d'EXpérience (SOGMBREX)	98
5.2.1	Mesure de l'efficacité	99
5.2.2	Mesure de la pertinence	101
5.3	Support définitif de pérennité de fonctionnement (SEOGIE)	101
Chapitre 6: SOGMBREX-DIMENSION CULTURELLE		103
6.1	Schéma général inter –relationnel	103
6.2	Prise en compte de la dimension culturelle	103
6.2.1	Conception Africaine de la panne	103
6.2.2	Gestion Africaine de la PME	104
CONCLUSION		105

INTRODUCTION

Cette partie divisée en quatre chapitres a pour objet de détailler la proposition de l'organisation de la maintenance des équipements des petites et moyennes entreprises.

Le premier chapitre aborde la proposition d'une nouvelle structure PME/PME qui sera le support de l'application de la méthodologie. Les moyens de mise en œuvre sont présentés ainsi que les forces d'adaptation du modèle proposé au contexte de l'étude.

Le deuxième chapitre justifie le choix de l'utilisation des techniques bayésiennes. Il présente les différents cas de situation pour l'évaluation de la fiabilité et disponibilité. C'est le cas le plus délicat de l'étude : comment modéliser une probabilité de défaillance à partir de la qualité et la quantité des données du retour d'expérience d'une part et ceux du jugement d'experts d'autre part dans un environnement PME/PMI. La démarche bayésienne est utilisée car elle répond bien au problème posé.

Le troisième chapitre permet de faire une estimation des conséquences économiques. Nous nous intéressons aux différents coûts relatifs aux différentes conséquences économiques.

Le quatrième chapitre permet d'aborder la démarche de la prise de décision. La fonction de perte permet de modéliser la perte associée à chaque décision aux conséquences économiques. Le but n'est pas de déterminer une décision optimale mais de monter les risques que présentent une décision prise. La démarche de la prise de décision présentera le meilleur compromis entre le risque pris et le coût consenti.

Le cinquième chapitre nous permet de proposer une stratégie originale d'organisation et de gestion des données du retour d'expérience(SOGMBREX). La triptyque(fiabilité, disponibilité et coût) apparaît comme le « référent de la stratégie d'organisation de la maintenance dans nos travaux. Le jeu d'opposition entre ces trois paramètres va nous permettre de décrire la stratégie générale d'organisation de la maintenance en fonction de l'orientation des objectifs des petites et moyennes structures industrielles.

Enfin au sixième chapitre nous présentons le schéma général inter-relationnel de gestion et d'organisation de la maintenance. Cette dichotomie de tâches conditionnent la pérennité de fonctionnement des équipements de production. L'un des principes de notre processus original de recherche repose fondamentalement sur une réévaluation des variables du modèle SOGMBREX (Temps, Moyens financiers, moyens humains, résultats à court termes). Il tient compte de la culture africaine et la dimension de la maîtrise technologique.

Chapitre 1 : STRUCTURE DE L'ENTREPRISE

La raison d'être des PME/PMI est souvent la valorisation des idées innovantes, beaucoup plus que l'accès à un marché. Leur originalité, correctement mise en valeur est un défi permanent.

La guerre économique sans relâche constitue le moteur d'évolution. Les données du retour d'expérience doivent être pour eux un outil stratégique, à la fois défensif et offensif.

La nouvelle structure que nous proposons doit participer à la productivité par la flexibilité, la réactivité, l'adaptabilité à des conjonctures capricieuses et aux situations changeantes. Un atout est de savoir que les évolutions structurelles des PME/PMI n'ont pas contrairement aux grandes entreprises, d'effets médiatiques significatifs, donnant ainsi aux dirigeants plus de libertés.

Il est important de souligner que le « patron » le premier visé dans la petite et moyenne entreprise a besoin d'écouter, mais aussi d'être écouté. Son intelligence ne peut se développer que dans un environnement méthodique de capitalisation du savoir faire.

Il n'a pas souvent de culture maintenance suffisante, mais doit considérer que la maintenance est une source de gains de productivité plus qu'une dépense. Il a besoin d'accéder à des banques de connaissances, à des indicateurs, des ratios crédibles et éprouvés.

Dans la compétition internationale, il doit produire pour vendre et non pour produire. C'est la production « utile » et pas le « flux tendu à tout prix » où tous les moyens flexibles, y compris l'externalisation des services dans le circuit local naturel constituent la stratégie payante.

1.1 Forme schématique

Elle aura pour nom d'identification « structure Relationnelle et Complémentaire ». La figure 2.1 présente sa forme schématique.

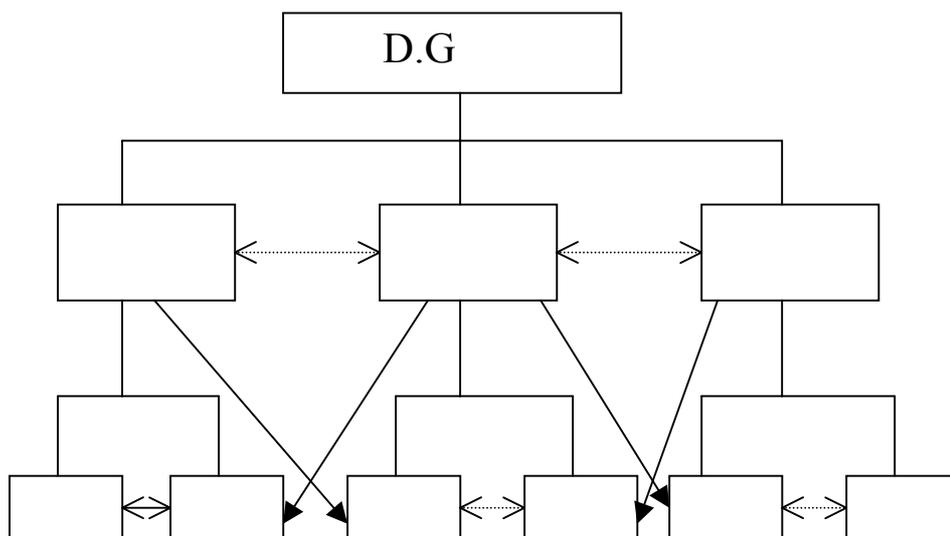


figure 2.1 : Proposition d'un nouveau type de structure

1.2 Forme fonctionnelle

Le fonctionnement proposé a pour caractéristique de développer les atouts des PME/PMI et participer à combler leurs lacunes à commencer par celle des dirigeants. Le cadre fonctionnel doit déboucher sur un retour d'expérience, une capitalisation des résultats et l'accompagnement des PMI sur le marché international avec l'utilisation prioritaire des techniques d'analyse de données proposées dans cette partie.

Les quelques caractéristiques de cette structure sont:

- un seul DG,
- l'existence des relations inter-service,
- une complémentarité en cas de besoin,
- un principe hiérarchique au sein d'un service,
- l'existence d'une communication verticale, horizontale et croisée,
- des contacts latéraux souhaitables,
- des équipes pluridisciplinaires et polyvalents.

Cette structure entraînera une certaine révolution organisationnelle pour la mise sur pied d'une bonne politique de maintenance. Elle favorisera:

1. Une bonne connaissance du matériel, de sa technologie, de ses points faibles et de sa vie (utilisation, incidents).
2. La rapidité d'exécution des tâches de maintenance, ce qui entraînera une bonne disponibilité du matériel.
3. Les Contacts permanents entre techniciens de maintenance et production, mais sans dépendance hiérarchique. Ceci aura pour effet d'entraîner une concertation « maintenance- production » et facilitée, la cohérence de la politique de maintenance avec la création des groupes autonomes de productions.

1.3 Moyens de mise en œuvre

La complémentarité des compétences va créer un nouveau cadre d'apprentissage de gestion, d'animation, de formation et ainsi que de négociation.

L'homme de maintenance par la modification de l'environnement de travail aura à faire face à une nouvelle stratégie de maintenance (figure 2.2) qui exigera la mise en Œuvre des moyens financiers et humains. La stratégie de la figure 2.2 proposé existe et c'est ce que différentes entreprises essayent de mettre en place. Mais la fonctionnalité de leur structure d'entreprise ne leur permette pas d'atteindre cet objectif. La nouvelle structure que nous proposons entre en harmonie avec cette stratégie surtout dans le contexte de complémentarité et de répartition des actions de maintenance en associant la production (1), et l'appel à l'expertise extérieure.(3)

Le transfert des tâches de maintenance de niveau 1 et 2 à la production afin de développer l'auto maintenance nécessitera une certaine valorisation pour le technicien de production, un management, une motivation, par conséquent une certaine formation par l'élaboration des gammes de procédures.

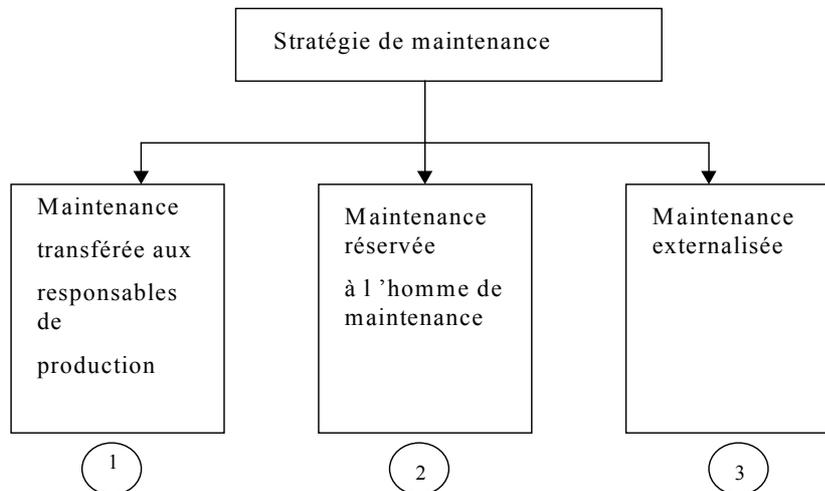


figure 2.2: Nouvelle stratégie de maintenance

1.3.1 Lutte pour la valorisation des moyens humains

La figure 2.3 schématise la structure d'aide à la valorisation des moyens humains au sein d'une PME/PMI. L'insuffisance des moyens humains des effectifs de maintenance dans les PME/PMI peut être comblée par le biais de la formation et de la qualification. L'utilisation des techniques de formation (apprentissage par la pratique et l'apprentissage par l'usage) grâce aux méthodes pour apprendre à apprendre (MAXER, ATS, TANAGRA, AGA,...) permet de répondre à ces besoins.

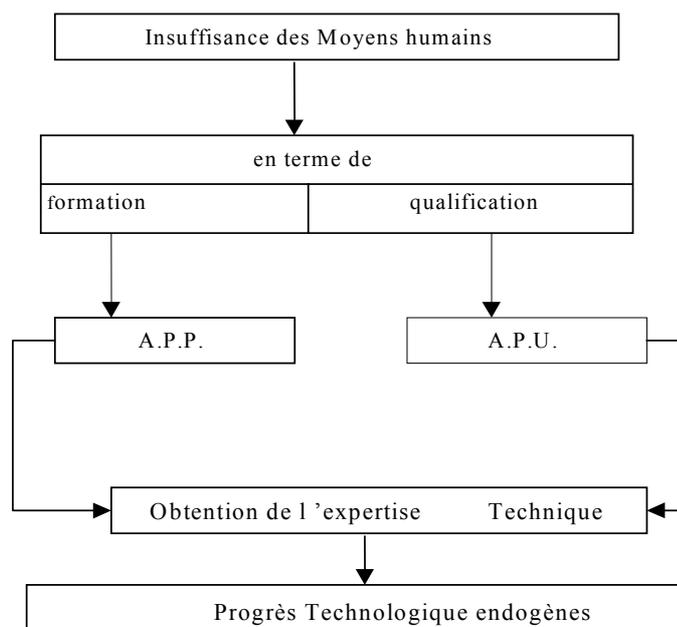


figure 2.3: Structure pour la valorisation des moyens humains

La maîtrise de la technologie des équipements doit être opérée par les forces internes d'une PME. D'où l'inspiration de cette thèse de quelques éléments de la croissance endogènes [KOU 94]. Les facteurs humains que possèdent les PME ne suffisent pas pour déclencher un processus d'organisation de maintenance autonome c'est à dire qui peut se passer de la contribution des experts et des différents contrats de maintenance qui coûtent chers. Il faut dire que la croissance endogène elle exige des moyens financiers, humains, culturels et matériels.

Dans [BEN 91][EHR 90] nous relevons quelques éléments théoriques de la croissance endogène:

1. la croissance perpétuelle s'effectue par le jeu des forces internes d'une entreprise;
2. l'accumulation de la connaissance est le moteur de la connaissance;
3. la connaissance prend la forme de niveau d'éducation, d'habileté, de savoir-faire technologique;
4. le progrès technique résulte de l'apprentissage non intentionnel et de la compétence qui s'acquiert par la pratique.

Ces éléments nous permettent de relever que la valorisation des moyens humains d'une PME/PMI se fera grâce au processus de formation par l'Apprentissage Par la Pratique (APP) et la qualification par l'Apprentissage Par l'Usage (APPU). Ces techniques permettront d'obtenir une expertise technique, valeur ajoutée dans le processus d'exploitation des équipements de production.

L'APP consiste à prendre en compte les considérations suivantes:

1. L'équipement de production nécessite des connaissances technologiques qui requiert une formation technologique minimale des hommes tant sur les opérations de maintenance correctives que préventives.
2. Le transfert de certaines tâches de maintenance à la production afin de développer l'auto maintenance nécessitera une certaine formation par l'élaboration des gammes de procédures.
3. Le processus de formation pourra se faire à l'aide des forces propres existant dans l'entreprise ou lors des réunions de groupe de travail mettant en œuvre des relations formelles et informelles mentionnées sur la rubrique I.3.
4. Cette formation peut également se faire par un établissement spécialisé par des contrats d'externalisation de maintenance bien précis comme le présente la référence bibliographique [FAN 01].

L'APU consiste à considérer que la connaissance s'acquiert:

1. par l'usage antérieure et postérieure des actions de maintenance corrective et préventive;

2. par l'exécution des tâches pratiques de production et de maintenance;
3. par le contact permanent avec les pièces détachées de l'équipement ce qui constitue un savoir faire important.

Cette façon de faire par l'utilisation des APP et APU permet de formaliser la nouvelle structure d'entreprise proposée. La formation et la qualification du personnel permettra une bonne complémentarité lors de l'exécution des opérations de maintenance. La relation entre les différents pavés de l'entreprise sera assurée par une meilleure connaissance et responsabilité de chacun.

1.3.2 Lutte contre le manque des moyens financiers et matériels

Nous considérons essentiellement qu'un développement local endogène de la PME/PMI est possible, c'est à dire un développement qui se fonde et exige les moyens financiers internes. Notre stratégie consiste à **Rechercher des Techniques Adaptées aux Besoins Locaux (RTABL)** [ROS 82] [KER 96]. En effet la prise en compte des différents facteurs RATABL s'avèrent nécessaire :

1. Il ne doit pas avoir d'arriération technologique, c'est à dire l'importation des technologies et techniques nouvelles de production et de suivi des équipements sans que leur opportunité ne soit justifié.
2. La remise en état de fonctionnement des équipements de production à l'aide de la main d'œuvre locale.
3. Le principe de récupération doit - être pris en compte.

Les travaux de cette thèse tiennent compte de l'environnement et du contexte industriel Camerounais. Les points 4, 5,6 s'appliquent particulièrement à ce contexte.

4. Les accords d'assistance technique négociés dès l'acquisition de l'équipement. Etablir un partenariat entre PME/fournisseurs d'équipement avec définition des priorités relevant des compétences locales.
5. L'obtention des pièces de rechange selon les pratiques locales « existence d'un marché Informel » ce qui peut palier les pertes dues à l'importation des pièces.
6. L'exploitation des équipements en dehors du seuil de durabilité normal c'est à tenir au maximum avec ce qu'on a en espérant renouveler les immobilisations productrices.

1.4 Force d'adaptation du modèle structurel proposé

Il n'existe pas de structure proposée dans les PME/PMI mais celles existantes ont les capacités et les moyens d'adaptation à cette nouvelle structure proposée pour plusieurs raisons:

- La récente dévaluation monétaire de la zone franc qui exige plus de productivité et de compétitivité.

- La globalisation de l'économie mondiale avec les exigences de nouvelles normes de production.
- Le recours vers les projets de certification.
- La remise en cause des méthodes de travail et la recherche d'amélioration permanente.
- La mise à disposition des PME/PMI des techniciens qualifiés par les I.U.T récemment créés au Cameroun et les ingénieurs de l'Ecole Nationale Supérieur Polytechnique de Yaoundé (ENSPY) par exemple.
- La mise à disposition des PME/PMI par les pouvoirs publics au Cameroun des programmes d'appui telles:
 - le programme PAME (Programme d'appui aux Micro- entreprises du Cameroun) financé par L'African Development Foundation, organisme créé par le congrès américain [KER 96].
 - le programme PEDEmploi Diplômé (Programme Emploi Diplômé) soutenu par le PAME est conçu pour apporter une assistance intégrée au développement des PME/PMI dont le programme comprend un volet d'aide technique en formation et conseil de gestion, et un volet financier sur l'achat du matériel de production ou aux besoins en fond de roulement. Les crédits sont remboursables sur une durée minimale de trois ans et au taux de 10% hors taxes.
 - le décret N°97/002 du 3 janvier 1997 du Président de la République portant création d'une Commission technique de réhabilitation des entreprises du secteur public et para public. Ce décret stipule que les financements sont accordés aux PME/PMI qui justifieraient:
 - Des méthodes de gestion, de suivi et de contrôle efficaces,
 - Une politique de prise en main sans participation de l'état,
 - Toute mesure tendant à créer un cadre de travail basé sur la compétence, la technicité et le savoir faire.

1.5 Finalité de la structure proposée avec les objectifs de l'étude

Le profil du donneur d'ordre évolue avec les structures des entreprises. Les exigences de flexibilité, réactivité, productivité ont plus de chance d'être résolues par la « géométrie variable » des moyens intérieures et extérieures. Le savoir faire fait place au savoir faire. Un nouveau flux organisationnel s'impose.

1. Le transfert de certaines tâches de maintenance de niveau 1 au personnel de production figure 2.4. Les tâches de maintenance corrective et préventive niveau 1 pourront être exécutées avec aisance par le personnel de production.
2. La formation des groupes autonomes de production(techniciens maintenance, les opérateurs de production, qualité, logistique, ou n experts suivent les problèmes abordés). Ce groupe aura pour responsabilité la recherche des problèmes:

- techniques (taux de défaillance, taux de réparation) qui ont le plus pénalisé la production,
- d'équilibre technico-économique des différentes interventions de maintenance.

Ces groupes sont animés par les responsables de maintenance après l'exploitation du retour d'expérience collecté le mois précédent et après comparaison avec les périodes antérieures en établissant les graphes d'évolution. La méthode d'expression de la fiabilité et disponibilité est donné au chapitre 2 de cette partie.

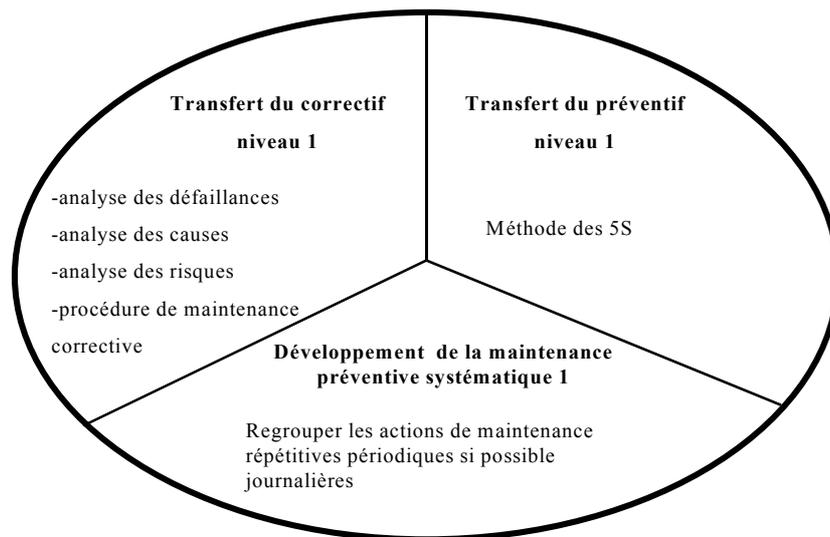


figure 2.4: transfert des tâches de maintenance niveau 1 à la production

3. Par le mécanisme d'adaptabilité et de flexibilité entre les différentes composantes du système industriel, on assiste à la naissance de nouvelles relations entre la maintenance et la production (figure 2.5). Il y aura une forme de contrat interne entre le personnel de production et celui de maintenance.

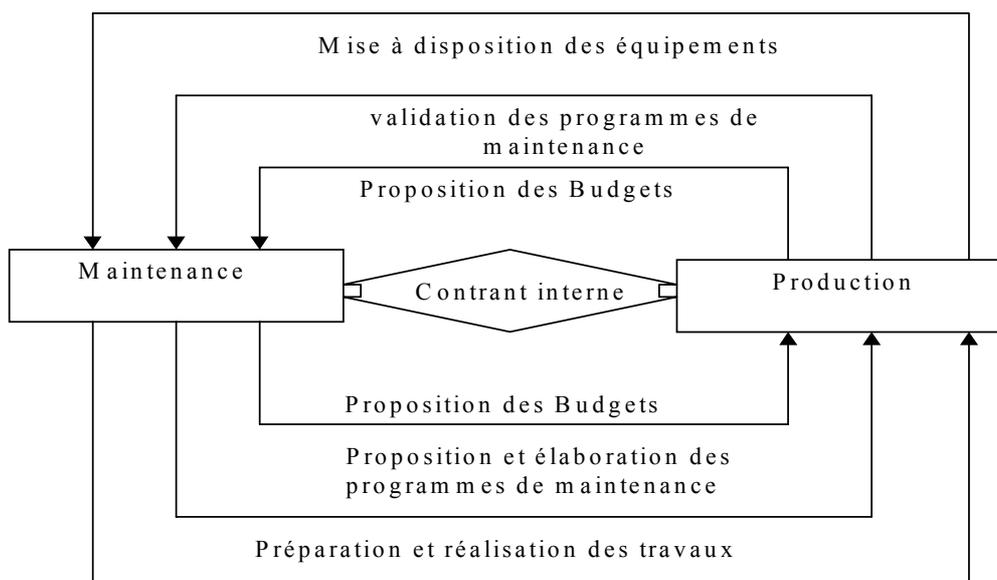


Figure 2.5: Nouvelles relations maintenance /production

Ce nouveau cadre relationnel donneur d'ordre, maintenance et production ouvre la voie à une synergie d'organisation et gestion de la maintenance. La finalité aidant à obtenir:

- Une validation de la politique par les gens plus proches de l'équipement de production et le responsable de maintenance aura la charge de l'élaboration et la proposition de ce programme.
- Une bonne collaboration entre la production et la maintenance même pour les actions de l'externalisation des actions de maintenance spécifiques.
- Une amélioration et une prévision de la fiabilité des équipements grâce à l'analyse des données du retour d'expérience issues de la conduite et l'exploitation des équipements de production.

En conclusion cette structure favorise l'esprit pratique, l'adaptabilité, la disponibilité, l'autonomie, bref le professionnalisme qui ouvre la voie à une bonne expertise technique nécessaire à l'emploi des techniques bayésiennes.

Chapitre 2 : ANALYSE DES DONNÉES DU RETOUR D'EXPERIENCE PAR L'UTILISATION DES TECHNIQUES BAYESIENNES

2.1 Justification du choix des techniques bayésiennes

Les personnes de la maintenance chargées de rassembler les données enregistrent en priorité les « événements » qui les intéressent directement c'est à dire, en pratique, ceux qui ont coûté de l'argent. Il est beaucoup plus difficile d'obtenir des informations sur les « non – événements » constitués par les équipements qui ont parfaitement marché. D'autre part, les équipements industriels étant de bonne qualité, ne peuvent ne pas tomber en panne. Donc, même quand elles sont enregistrées, les données de défaillances sont une denrée rare. Une autre façon de faire est de se tourner vers les données des composants similaires aux siens ou bien aller discuter avec les spécialistes du terrain (experts) pour demander leurs points de vue sur le sujet. Nous nous trouverons à la tête d'un échantillon de données de type retour d'expérience (REX) dont les caractéristiques spécifiques sont les suivantes :

- données rares, éparses, incomplètes
- données sur des composants similaires mais différents
- avis des spécialistes.

Le problème sera de traiter l'échantillon REX pour en extraire une évaluation raisonnable et réaliste des paramètres désirés.

Pour tenir compte de toutes les données en particulier des avis des experts, nous recherchons la ou les méthodes permettant de le faire. En prenant en compte toutes les méthodes d'analyse des données du retour d'expérience du chapitre 4 de la première partie et résumé au tableau 1.3 forcément nous tombons sur les techniques bayésiennes pour plusieurs raisons. Ces techniques vont nous permettre de:

- utiliser toutes formes de connaissances
- utiliser les expressions conjuguées
- utiliser l'inférence bayésienne
- utiliser le nombre et la nature des données du retour d'expérience
- prendre en compte des modifications d'équipement
- prendre en compte le risque associé à chaque décision de maintenance.

2.1.1 Utilisation de toutes formes de connaissances

La connaissance des éléments d'expertise dans la démarche bayésienne, sont les conditions nécessaires pour l'aide à la décision d'une politique de maintenance. La connaissance limitée sur le comportement futur du matériel entraîne une *démarche probabiliste*. La détermination de l'aptitude d'un matériel à fonctionner en exploitation pendant une période donnée sera

effectuée grâce à l'utilisation des probabilités conditionnelles. L'utilisation de toute forme de connaissance permettra la détermination des distributions de probabilités a priori et de vraisemblance.

Choix d'une distribution a priori

Le choix dépend de la qualité et de l'origine de l'information disponible, et, pour des raisons de calcul, du type de la famille mathématique de la fonction de vraisemblance des observations faites. Dans les études de fiabilité un certain nombre de distributions caractéristiques s'imposent:

- Lorsque la connaissance initiale est faible, on choisit préférentiellement une distribution simple peu informative, de sorte que chacune des valeurs du paramètre recherché soit équiprobable dans son domaine de variation : C'est le cas des distributions uniformes [SUH 94]. On peut choisir une distribution uniforme tronquée entre deux valeurs extrêmes du taux de défaillance λ_{inf} , λ_{sup} . Ces valeurs peuvent être estimées grâce à l'expérience de l'expert. En cas d'ignorance on utilise les distributions uniformes non informatives.
- Dans le cas des essais mutuellement exclusifs (succès/échec), on utilise la distribution bêta. Ce modèle est adapté à l'évaluation des probabilités de défaillance à la sollicitation (Probabilité d'échec ou de succès) [PRO 92].

$$f(x) = \frac{(x)^{m-1} \cdot (1-x)^{r-1}}{B(m,r)} \quad [2.1]$$

de paramètres de $r > 0$, et $m > 0$ comprises entre 0 et 1, où:

$$B(m,r) = \frac{\Gamma(m) \cdot \Gamma(r)}{\Gamma(m+r)} \quad [2.2]$$

- Dans le cas où les temps de défaillance sont distribués exponentiellement, la densité de probabilité du nombre de défaillance, k , que l'on obtient au bout d'un temps t est une loi gamma. La densité de probabilité s'exprimera par:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}} \quad [2.3]$$

avec $\alpha > 0$ et $\beta > 0$

Choix d'une distribution conditionnelle

Pour ce qui concerne la vraisemblance des observations faites, selon le paramètre à étudier et les conditions d'application, on est amené à utiliser plusieurs types de distributions conditionnelles:

- Si la distribution des temps de défaillance est modélisée par une loi exponentielle, on utilise la distribution exponentielle. La densité de probabilité s'exprimera par:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad [2.4]$$

- Lorsque l'occurrence des événements est très probables dans une suite d'épreuves aléatoires ($n > 50$), la loi de poisson permet d'estimer la probabilité de réalisation de ces événements. Le temps entre les événements sont indépendants et distribués identiquement selon une loi exponentielle.

$$\Pr[X = k] = e^{-m} \frac{m^k}{k!} \quad [2.5]$$

avec $k = 0, 1, \dots$

- Lorsque la probabilité d'occurrence est supposé dépendre du temps, une loi de weibull ou une loi gamma peuvent représenter des événements dont le nombre décroît (période de jeunesse), ou croît avec le temps (période de vieillesse) et reste constante (vie utile). Cette loi a l'avantage d'être souple et est très utilisé pour déterminer la fiabilité dans le domaine de la mécanique.

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad [2.6]$$

Avec β : paramètre de forme (sans unité)
 η : paramètre d'échelle (unité de temps)
 γ : paramètre de position (unité de temps)

- Si le nombre d'événement est mutuellement exclusifs (binaires) correspondant donc à des essais dont on mesure les succès ou les échecs : on recherchera les paramètres des lois de la famille binomiale (Bernoulli, Pascal, géométrique). Sachant que la probabilité élémentaire de défaillance d'un matériel est p , $1-p$ représente la probabilité q d'un matériel survie à un test ou à un temps de mission t : $R(t) = 1 - p$.

Pour la distribution de Bernoulli:

$$\Pr[X = k \text{ réalisations}] = \Pr[k \text{ occurrences surviennent au cours de } n \text{ essais sachant } p]$$

$$\Pr[(X = k)] = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k} \quad [2.7]$$

$$\text{avec } 0 \leq k \leq n \text{ et } 0 \leq p \leq 1$$

La distribution de pascal ou binomiale négative est utilisée lorsque le nombre de défaillances k est fixée à l'avance. Le nombre d'essais n représente alors la variable aléatoire. Elle traduit donc la probabilité de voir k défaillances en n essais. Sachant que la probabilité élémentaire de défaillance d'un matériel est P .

$$\Pr[(X = n)] = \frac{(n-1)!}{(k-1)!(n-k)!} p^{n-k} (1-p)^k \quad [2.8]$$

$$\text{avec } 0 \leq p \leq 1$$

Pour la loi géométrique, On dit qu'une variable aléatoire X , suit une loi géométrique, si sa loi de probabilité est définie par :

$$\Pr [X = k] = (1 - p)^{k-1} p \quad [2.9]$$

$$0 < p < 1$$

1. chaque expérience peut entraîner l'observation d'un événement E ou de son contraire;
2. la probabilité p , est la même pour chaque expérience;
3. le résultat d'une expérience est indépendant des résultats des autres expériences.

Nous venons de voir que les techniques bayésiennes nous permettent d'utiliser toutes formes de connaissances. Ces connaissances sont modélisées à l'aide de plusieurs lois mathématiques. Ceci nous permet dans un environnement PME/PMI de chercher la loi la plus favorable compte tenu de la nature des informations à notre disposition.

2.1.2 Utilisation des expressions conjuguées

Pour des raisons essentiellement techniques, la démarche bayésienne utilise les expressions conjuguées.

Une distribution a priori conjuguée est une distribution telle que la distribution a priori et la distribution a posteriori sont de la même famille. Elle permet de déterminer facilement la distribution a posteriori à partir de l'échantillonnage et de la distribution a priori. Les paramètres sont la somme des paramètres des deux distributions jointes, ce qui facilite les problèmes de résolution numérique. on peut les consulter dans [BRA 96], [HAR 82] [LAN 94] [SUH 94] [ROB 92].

Le tableau 2.1 représentation des différentes familles.

Lois des observations de l'échantillon	Lois a priori conjuguées usuelles
Poisson	Gamma
Exponentielle	Gamma
Binomiale	Bêta, Uniforme
Gamma	Gamma
Weibull	Uniforme, Gamma
Normale	Normale, Gamma

La connaissance des paramètres de cette distribution facilite l'évaluation des probabilités (critères liés à la sûreté de fonctionnement) de fonctionnement.

L'approche bayésienne permet des calculs simples des lois de probabilités. Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons surtout à l'étude de l'échantillonnage exponentielle pour la simplicité de ces calculs. Ce choix va parfaitement en adéquation avec la problématique posée dans le contexte de l'étude. Cependant, un nombre de références important présente l'étude des autres types de distributions [LEM 84] [SUH 94], [CAN 73][TSO 72][WIL 72][SCH 72][MAN 97][PAP 99].

Il serait très difficile dans un environnement PME/PMI de choisir les techniques faisant appel aux gros calculs d'analyse numérique étant donné la rareté des spécialistes dans ce domaine.

Les techniques bayésiennes grâce à l'utilisation des expressions conjuguées deviennent une source de profit non négligeable pour ces petites et moyennes structures industrielles.

2.1.3 Utilisation de l'inférence bayésienne

Le but ultime de la statistique est de fournir une inférence sur le paramètre recherché, au vu des observations liés par une distribution de probabilité.

Toute connaissance disponible est capitalisée dans la distribution de probabilité a priori qui exprime l'état de la connaissance ou de l'ignorance sur le composant critique avant l'analyse des données.

Par la suite, les données du retour d'expérience sont intégrés à l'aide du théorème de Bayes au fur et à mesure pour calculer la distribution a posteriori qui permet d'estimer le niveau de connaissance atteint.

A l'itération suivante, la connaissance a posteriori devient la connaissance a priori et ainsi de suite. La figure 2.6 présente cette inférence.

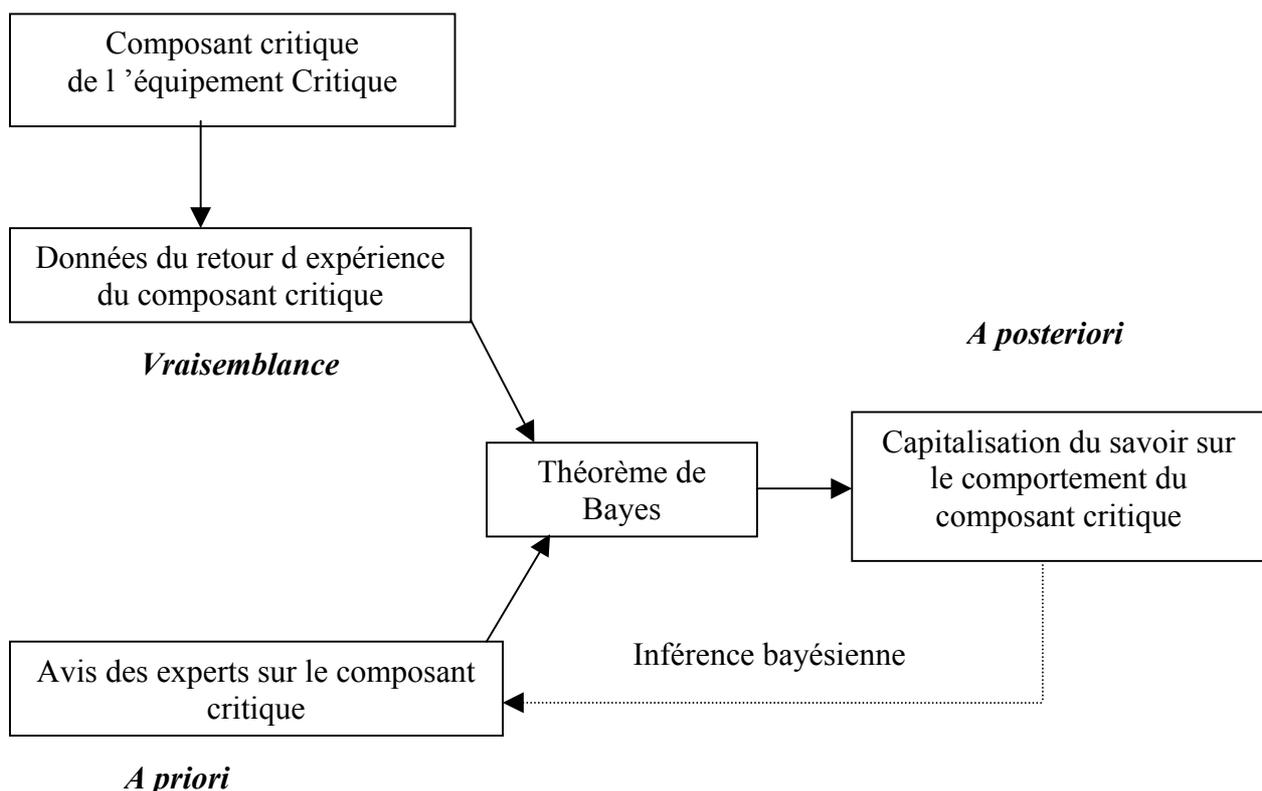


figure 2.6: Principe de l' inférence bayésienne

L'originalité de cette méthode est qu'elle prend en compte toute information disponible, modélisée sous forme de densité de probabilité, tant pour la distribution statistique des observations que pour celle de l'estimation a priori. La probabilité a posteriori est donc ainsi représentée par une distribution de densité de probabilité où aucune information n'est perdue : en théorie, toute forme de distribution peut-être envisagée. L'intégration de cette distribution

dans son domaine de variation est une valeur unique correspondant à la probabilité prévisionnelle.

La démarche bayésienne a le mérite de pouvoir s'appliquer aux événements rares qui correspondent aux événements à risques. C'est une probabilité subjective validée en permanence par la statistique inférentielle, c'est à dire la vraisemblance du degré de croyance de l'expert sera conditionnée par le retour d'expérience. Ce qui offre un avantage non déniaable pour les PME/PMI.

2.1.4 Utilisation du nombre et la nature des données du retour d'expérience

Le retour d'expérience vise une meilleure connaissance du comportement d'un équipement de production et ses différents composants, de leurs modes de dégradation, de dysfonctionnement ou d'endommagement. Il est basé sur la collecte et la gestion des faits techniques, observés pendant toute la durée de vie de l'installation, de sa mise en service jusqu'à son démantèlement [LAN 94]. Les données à traiter ne sont généralement pas réunies selon un plan d'échantillonnage standard que l'on peut trouver dans toutes les théories de statistique classique : en effet, les données proviennent des installations qui ont été mises en service à des dates et des époques différentes. Dans ce contexte, la constitution d'un échantillon correct de données passe par la reconstitution de l'historique complet d'exploitation de ce matériel, pour une période d'observation déterminée.

On se trouvera à la tête d'un échantillon de données de type retour d'expérience qui est un mélange très complexes d'observations dont les caractéristiques sont les suivantes:

- données rares, éparses, incomplètes;
- données sur les équipements similaires mais différentes;
- avis des spécialistes.

L'analyse de fiabilité bayésienne peut-être utilisée pour pallier aux manques de données qui est une limite caractéristique d'étude pour les démarches classiques. Cette démarche utilise des données « subjectives » provenant de l'interrogation d'experts. Ceci s'intègre parfaitement dans un processus de prise de décisions en régime d'incertitude. Une inférence c'est à dire la mise à jour de la probabilité de défaillance est ainsi possible lorsqu'on dispose de nouvelles informations.

D'autre part, dans certains cas, on considère des événements extrêmement rares comme la rupture d'une structure pour laquelle on ne dispose d'aucune information relative à la défaillance. L'analyse bayésienne sera utile pour la compréhension du mécanisme de défaillance. Dans les PME/PMI l'expertise est rarement partagé et chaque spécialiste vit dans son cloisonnement. La connaissance de l'exploitation de l'outil de production est capitalisée dans la tête d'un individu. Les techniques bayésiennes vont donc permettrent dans cet environnement d'utiliser toutes formes ou nature des données en quantité comme en qualité.

2.1.5 Prise en compte des modifications d'équipement

La prise en compte des modifications des équipements semble indispensable dans les PME/PMI à cause de:

- La vétusté des équipements dont la plupart pour les pays Africains sont acquis au lendemain des indépendances(année 1960 en moyenne).
- La capacité faible de renouvellement des immobilisations productrices(moyens financiers insuffisants), ce qui entraîne l'exploitation des équipements subissant différentes modifications au delà du seuil de durabilité.
- Modification de la politique de maintenance pour mieux l'adapter à la réalité quotidienne d'exploitation.

Dans la continuité de l'idée, la démarche bayésienne s'adaptera donc particulièrement à ce contexte qui consiste à actualiser les données issues du retour d'expérience, permettant ainsi les études de tendance ou les analyses de fiabilité.

Dans le cadre bayésien toute modification d'équipement doit être intégré et mis à jour en utilisant les lois de probabilité. Si nous avons observé un événement MD (Modification d'équipement), qui est informatif par rapport à l'événement C (fonctionnement ou arrêt de l'équipement), notre degré de croyance en C se modifiera selon l'équation suivante:

$$P(C/D) = \frac{P(D/C) \cdot P(C)}{P(D)} \quad [2.10]$$

où P(C/D) représente notre degré de croyance en C après la modification MD, lorsque P(C) est notre degré de croyance avant la modification et P(D/C) étant la probabilité conditionnelle des données observées.

Cette façon de faire nous permet d'avoir une traçabilité de toute modification d'équipement. La traçabilité qui est une denrée rare dans le PME/PMI.

2.1.6 Prise en compte du risque de décision

Sur le plan décisionnel, les risques induits par une politique de maintenance seront comparés à l'utilité qu'elle peut apporter. Ce paramètre risque joue un rôle dominant pour la démarche subjectiviste. C'est un paramètre d'aide à la décision pour une politique de maintenance donnée. La prise de décision n'est seulement pas basée sur la probabilité de fonctionner ou de ne pas fonctionner, mais aussi par leurs conséquences.

Le fait d'appliquer une politique de maintenance sur un équipement en exploitation, revient à prendre un risque entre le coût de cette politique, et l'espérance mathématique d'un gain potentiel. Le risque sera évalué différemment en fonction de l'état du matériel, les moyens mis en œuvre, l'organisation de la structure qui supporte cette politique ainsi que l'environnement sociologique.

Il faut noter que l'ensemble des conséquences doit être connu le mieux possible afin de mieux les ordonner. Pour obtenir ces conséquences, le décideur pourra agir sur l'espace des décisions possibles.

A chaque décisions d_i sera associée une conséquence C_i . La conséquence C_i , qui en résultera, aura la probabilité P_i , $i=1 \dots n$.

Chaque décision élémentaire prise sur le taux de défaillance λ ayant une densité de probabilité a priori $f(\lambda)$ est évaluée grâce à sa fonction de risque notée Rd .

La fonction de risque bayésien est, par définition, l'espérance de la fonction $E[\ell(\lambda, d)]$ de perte associée à la décision d , sachant le nombre de défaillance k :

$$Rd(\lambda, d) = E[\ell(\lambda, d)] = \int_D \ell(\lambda, d) f(\lambda/k) d\lambda \quad [2.11]$$

$f(\lambda/k)$ étant la densité de probabilité a posteriori de λ , compte tenu de l'observation du nombre de défaillance k , et D l'espace du paramètre λ .

L'obtention du risque d'une politique de maintenance va permettre au décideur d'une PME/PMI de savoir ce va lui coûter une politique de maintenance et qu'elle est le gain consenti pour cette politique. Ceci lui permettra de pouvoir faire des estimations réalistes pour l'organisation et la gestion de la maintenance.

2.2 Différents cas de situation pour l'évaluation de la fiabilité

L'objectif se rapporte à:

- réduire le nombre de pannes et des micro pannes, en faisant les différentes analyses des historiques, provenant de ou des équipements critiques dont l'étude a eu à faire objet lors de la mise en place de la démarche MBF.
- apporter si possible des modifications techniques du matériel de façon à éviter les pannes durables.
- développer le plan préventif en exploitant les AMDEC issu de la démarche MBF.
- préciser les besoins et des conséquences que ces derniers impliquent sur le plan technique, social ou économique.

La prise de décision, à chacun des niveaux, implique un processus intellectuel qui prend en compte l'information disponible et son analyse en terme de fiabilité.

La modélisation de la connaissance a priori issue de l'expertise lorsque celle –ci existe se fera grâce à l'utilisation de l'étude de la petite AMDEC mise en place lors de la démarche MBF. Ces analyses ont été conduites en travail de groupe MBF (Management, Pilote, équipement). Toutes les connaissances nécessaires à la modélisation sont contenues dans cette étude. Ces données vont être utilisées pour définir la loi a priori.

□ *Fiche d'analyse AMDEC*

Sur un système de tableau, il faut définir les lignes (Composants critiques) et les colonnes répartis en quatre grandes familles : Analyse fonctionnelle, analyse de la défaillance potentielle, estimation de la criticité et mesures à appliquer. Les résultats de cette analyse sont présentés sous forme de tableau :

Analyse fonctionnelle		Analyse de la défaillance			Estimation criticité		Mesures
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet	Probabilité d'occurrence	Gravité	

Tableau 2.2: Contenu d'un tableau A.M.D.E.C.

L'analyse fonctionnelle est nécessaire à la compréhension du système. Elle prend en compte la liste des sous-ensembles ou des composants du système étudié, avec leurs fonctions associées.

L'analyse de la défaillance identifie le mode, la cause et l'événement redouté de la défaillance. Bien entendu un mode de défaillance peut avoir plusieurs causes de défaillances.

L'analyse de la criticité permet de mettre en évidence :

- La gravité qui s'évalue à partir des effets par une note estimée de 1 (mineur), à 4 (catastrophique). Suivant les systèmes, la gravité peut s'estimer sur plusieurs critères : sécurité des personnes, des biens, défauts de qualité, perte de disponibilité, pénalisation de la production, etc.
- La Probabilité d'occurrence des causes de défaillance, estimée par consensus des experts du groupe de travail s'évalue par une note estimée 1 (improbable) à 4 très fréquent. Dans le cadre de notre modélisation, nous allons faire correspondre ces indices à des valeurs chiffrées en fonction du taux de défaillance λ exprimé en défaillance/heure suivant le tableau 2.3, et le taux de réparation μ exprimé en réparation/heure que peut retrouver au tableau 2.4.

Tableau 2.3: Correspondance Indice d'occurrence et taux de défaillance

λ (déf/heure)	$\lambda < 10^{-9}$	$10^{-9} < \lambda < 10^{-6}$	$10^{-6} < \lambda < 10^{-3}$	$\lambda > 10^{-3}$
Indice	1	2	3	4
Appréciation	Improbable	Rare	Fréquent	très fréquent

Tableau 2.4: Correspondance Indice d'occurrence et taux de réparation

μ (réparation/heure)	$\mu < 0.15$	$0.15 < \mu < 0.3$	$0.3 < \mu < 0.6$	$\mu > 0.6$
Indice	1	2	3	4
Appréciation	Improbable	Rare	Fréquent	très fréquent

Les mesures envisagées permettent de retenir les différentes propositions d'améliorations de fonctionnement:

- modification de la conception,
- moyens de détection ou consignes de surveillance ou inspections périodiques,
- dispositif de remplacement,
- observations, recommandations.

2.2.1 Historique faible complétée par l'expertise

- **Modélisation de l'expertise**

Si l'on fait l'hypothèse que les défaillances k_i que l'on obtient au bout d'un temps T de fonctionnement sont distribuées selon une loi exponentielle, et que dans le domaine de sûreté de fonctionnement [SUH 94], [PRO 92], la loi Gamma est conjuguée à la loi exponentielle, nous utiliserons comme distribution a priori la distribution de type gamma:

$$\Gamma[\theta_0, \beta_0]$$

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons surtout à l'étude de l'échantillonnage exponentielle pour la simplicité de ces calculs. Ce choix va parfaitement en adéquation avec la problématique posée dans le contexte de l'étude.

La densité de probabilité a priori est:

$$f_0(\lambda) = \frac{\theta_0^{\beta_0}}{\Gamma(\beta_0)} \lambda^{\beta_0-1} \cdot e^{-\lambda\theta_0} \quad [2.12]$$

Avec:

$$\Gamma(\beta_0) = (\beta_0 - 1)!$$

β_0 est le paramètre de forme et θ_0 est le paramètre d'échelle (tous > 0).

- Détermination des paramètres de la loi a priori gamma du taux de défaillance: θ_0, β_0

La détermination des paramètres de cette loi gamma est élicitée par les experts en utilisant les données du tableau 2.3 sur le taux de défaillance. Par la suite, le calcul peut se faire soit manuellement à l'aide des abaques de Martz et Waller [MAR 82], ou par des logiciels spécifiques à l'exemple de Fiabayes 3.0 de EDF/DER diffusé par Eurostat [PRO 92].

- **Modélisation de la Vraisemblance**

Les temps de défaillance sont distribués exponentiellement. Le taux de défaillance de l'équipement est considéré comme constant. La vraisemblance sera une loi exponentielle ayant pour densité de probabilité:

$$f(k/\lambda) = \lambda^k e^{-\lambda T} \quad [2.13]$$

- **Obtention de la distribution a posteriori**

Compte tenu du principe de conjugaison, et de l'application du théorème de Bayes aux équations (2.12) et (2.13), la densité de probabilité a posteriori est:

$$g(\lambda/k) = \frac{(T + \theta_0)^{k + \beta_0}}{\Gamma(k + \beta_0)} \cdot \lambda^{k + \beta_0 - 1} \cdot e^{-\lambda(T + \theta_0)} \quad [2.14]$$

L'espérance de cette distribution correspond à l'estimateur ponctuel bayésien du taux de défaillance:

$$\hat{\lambda} = E[g(\lambda/k)] = \frac{\beta_0 + k}{\theta_0 + T} \quad [2.15]$$

Le paramètre $(k + \beta_0)$ représente le nombre cumulé de défaillances, alors que le paramètre $(T + \theta_0)$ représente le temps cumulé de fonctionnement.

- **Déduction de la fiabilité**

L'exploitation des données du retour d'expérience indique qu'une défaillance D peut avoir plusieurs causes. Par conséquent, la probabilité d'échec de fonctionnement due à une quelconque cause de défaillance C_i va se déterminer par l'expression :

$$P(D/C_i) = 1 - R(T)$$

Où :

T est le temps cumulé de fonctionnement;

R(T) la fiabilité du matériel pour un temps de mission T qui s'exprimera de deux manières:

➤ Soit déterminer l'estimateur bayésien du taux de défaillance:

$$E(\lambda) = \hat{\lambda} \Rightarrow R(T) = e^{-\hat{\lambda}T} \quad [2.16]$$

➤ Ou à partir de la distribution a posteriori du taux de défaillance $g(\lambda/x_i)$.

Or λ est défini par une densité de probabilité, par conséquent nous pouvons écrire la relation:

$$R(T) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda T} \cdot g\left(\frac{\lambda}{x_i}\right) d\lambda \quad [2.17]$$

La probabilité, pour que l'équipement de production fonctionne pendant une durée T ou de réussite de la mission notée P_0 , sachant :

- Le nombre k de défaillances due aux causes 1,2,3 ;
- Les probabilités d'échec ayant pour origine les causes 1,2,3 : $P(C_1/D)$, $P(C_2/D)$, $P(C_3/D)$;
- Que la probabilité de l'ensemble de tous les événements échec ou réussite appelé l'espace universel est égale à 1.

S'exprimera par la relation de l'axiome de la logique mathématique suivante :

$$P_0 + P(C_1/D) + P(C_2/D) + P(C_3/D) = 1$$

alors

$$P_0 = 1 - (P(C_1/D) + P(C_2/D) + P(C_3/D)) \quad [2.18]$$

2.2.2 Historique faible complétée par l'expertise bornée

• Modélisation de l'expertise

On suppose qu'en absence de toute connaissance sur l'allure de la distribution a priori, l'expert fournit deux valeurs extrêmes de λ , λ_{inf} et λ_{sup} . Estimation qui correspond à la valeur de l'indice 1 ayant pour appréciation qualitative improbable au niveau du tableau 2.2. La classe d'occurrence 1 de la cause de défaillance est modélisée par une loi uniforme informative.

$$f(\lambda; \lambda_{\text{inf}}; \lambda_{\text{sup}}) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_{\text{sup}} - \lambda_{\text{inf}}} ; & \text{pour } \lambda_{\text{inf}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{sup}} \\ 0 ; & \text{ailleurs} \end{cases} \quad [2.19]$$

• Modélisation de la Vraisemblance

La vraisemblance des événements est déterminée de la même manière qu'au paragraphe précédent 2.2.1, c'est à dire à partir de l'expression:

$$f(k/\lambda) = \lambda^k e^{-\lambda T} \quad [2.20]$$

• Obtention de la distribution a posteriori

Compte tenu du principe de conjugaison, et de l'application du théorème de Bayes aux équations (III.7) et (III.8) la densité de probabilité a posteriori est:

$$g(\lambda/k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda T}}{\int_{\lambda_{\text{inf}}}^{\lambda_{\text{sup}}} \lambda^k e^{-\lambda T} d\lambda} \quad [2.21]$$

Après le développement du dénominateur à travers la transformation $y = \lambda T$, on obtient:

$$\int_{\lambda_{\text{inf}}}^{\lambda_{\text{sup}}} \lambda^k e^{-\lambda T} d\lambda = \int_{\lambda_{\text{inf}} T}^{\lambda_{\text{sup}} T} \frac{y^k e^{-y}}{T^{k+1}} dy \quad [2.22]$$

Nous savons que la fonction gamma incomplète est définie par:

$$\Gamma(a, z) = \int_0^z y^{a-1} e^{-y} dy \quad [2.23]$$

Nous déduisons donc:

$$\int_{\lambda_{\text{inf}}}^{\lambda_{\text{sup}}} \lambda^k e^{-\lambda T} d\lambda = \int_{\lambda_{\text{inf}} T}^{\lambda_{\text{sup}} T} \frac{y^k e^{-y} dy}{T^{k+1}} = \frac{1}{T^{k+1}} [\Gamma(k+1, \lambda_{\text{sup}} T) - \Gamma(k+1, \lambda_{\text{inf}} T)] \quad [2.24]$$

en reportant dans l'expression (2.20):

$$g(\lambda/k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda T}}{\int_{\lambda_{\text{inf}}}^{\lambda_{\text{sup}}} \lambda^k e^{-\lambda T} d\lambda} = \frac{T^{k+1} \lambda^k e^{-\lambda T}}{\Gamma(k+1, \lambda_{\text{sup}} T) - \Gamma(k+1, \lambda_{\text{inf}} T)} \quad [2.25]$$

L'espérance de cette distribution correspond à l'estimateur ponctuel bayésien du taux de défaillance:

$$\hat{\lambda} = E[g(\lambda/k)] = \frac{\Gamma(k+2, \lambda_1 T) - \Gamma(k+2, \lambda_0 T)}{T[\Gamma(k+1, \lambda_1 T) - \Gamma(k+1, \lambda_0 T)]} \quad [2.26]$$

en appliquant la formule [2.16], nous déduisons la fiabilité.

2.2.3 Historique faible et expertise en contradiction

• Modélisation de l'expertise

On suppose que l'expertise permet d'élaborer une distribution a priori sur le taux de défaillance mais que les experts n'ont pas de culture statistique ou ont des avis contradictoires. Ceci explique le manque d'unanimité par rapport au tableau de correspondance 2.2.

Il n'existe pas de connaissance a priori sur le taux de défaillance. On peut choisir une distribution uniforme dans l'intervalle [0,1] non informative pour établir la distribution Pré- a priori $f_0(\lambda)$, que l'on va joindre à l'expertise.

La vraisemblance de l'expertise par rapport à l'estimation du taux de défaillance sera:

$$f(x/\lambda) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i^E/\lambda) \quad [2.27]$$

Avec:

$$\pi(x_i^E/\lambda) = \int_0^\infty \pi_i\left(\frac{x_i^E}{x_i}\right) \cdot f(x/\lambda)$$

La crédibilité C de l'expert i, vue de l'analyste est définie par:

$$C = \pi_i \left(\frac{x_i^E}{x_i} \right)$$

C - est appelé le facteur de pondération

x_i^E - est la valeur exprimée par l'expert i vue par l'analyste quand la valeur vraie est x_i

En généralisant pour n experts on obtient la densité de probabilité a posteriori de λ . Par application du théorème de bayes nous obtenons:

$$f(\lambda/E) = \frac{\left[\prod_{i=1}^n \int_0^{\infty} \pi_i(x_i^E/x) \cdot f(x/\lambda) \right] \cdot f_0(\lambda)}{\int_0^{\infty} \left[\prod_{i=1}^n \int_0^{\infty} \pi_i(x_i^E/x) \cdot f(x/\lambda) \right] \cdot f_0(\lambda) d\lambda} \quad [2.28]$$

Cette fonction de densité de probabilité a posteriori du taux de défaillance élicitée par les experts représente toutes les valeurs possibles que peut prendre λ . Elle constitue alors la densité a priori que l'on va joindre au retour d'expérience. L'espérance bayésien de cette distribution a priori sera:

$$[2.29] \quad E[f(\lambda/E)] = \int_{\lambda} f(x/\lambda) \cdot f(\lambda/x_1^E, x_2^E \dots x_n^E) d\lambda$$

Cas particulier où l'expertise a des avis opposés.

Nous supposons que les experts sont parfaits et expriment des opinions différentes :

Nous pouvons écrire:

$$\begin{cases} x_1^E = x_1 \\ x_2^E = x_2 \end{cases}$$

La distribution pré -a priori, $f_0(\lambda)$, que l'on va joindre à l'expertise sera:

$$f_0(\lambda) = 1$$

La vraisemblance sera:

$$f(x/\lambda) = \prod_{i=1}^2 \pi(x_i^E/\lambda) \quad [2.30]$$

Où l'on a:

$$\begin{cases} \pi(x_1 / \lambda) = \lambda \\ \pi(x_2 / \lambda) = 1 - \lambda \end{cases}$$

par conséquent:

$$\begin{cases} \pi(x_1^E = x_1 / x_1) = 1 \\ \pi(x_1^E = x_2 / x_1) = 0 \end{cases} \text{ de même } \begin{cases} \pi(x_2^E = x_2 / x_2) = 1 \\ \pi(x_2^E = x_2 / x_1) = 0 \end{cases}$$

Nous trouvons la fonction de vraisemblance de l'expertise

$$f(x/\lambda) = \prod_{i=1}^n \pi(x_i^E / \lambda) = \lambda(1 - \lambda) \quad [2.31]$$

Cette distribution est jointe à densité de probabilité pré-a priori afin d'obtenir la distribution de la densité de probabilité a posteriori de l'expertise sur λ :

$$f(\lambda / E) = \frac{\lambda(1 - \lambda)}{\int_0^1 \lambda(1 - \lambda) d\lambda} \quad [2.32]$$

ce qui donne après intégration du dénominateur:

$$f(\lambda / E) = 6\lambda(1 - \lambda) \quad [2.33]$$

Cette fonction peut être jointe à n'importe quelle fonction de vraisemblance issue de l'historique sur le composant critique.

L'estimateur bayésien, est l'espérance de cette fonction $f(\lambda / E)$ est :

$$E[f(\lambda / E)] = \int_0^1 f(x/\lambda) \cdot f(\lambda / x_1^E, x_2^E) d\lambda = \int_0^1 \lambda \cdot 6\lambda(1 - \lambda) d\lambda = \frac{1}{2}$$

2.2.4 Existence de l'expertise uniquement

Ce cas est représentatif des composants assez fiables où les données de vraisemblance sont pratiquement rares. Pour essayer de prédire la fiabilité des composants en exploitation dans ce cas, nous nous contenterons des avis des experts. Époques successives dans la collecte d'information où les paramètres sont dynamiques.

Les opinions des experts sont considérées comme des observations du retour d'expérience, à partir desquelles l'analyste va élaborer la densité de probabilité « a priori 1 » informative. La

distribution a posteriori que l'on obtiendra à l'aide du théorème de Bayes va devenir ensuite une densité de probabilité « a priori 2 » qui sera jointe aux « données 2 » des experts dans une démarche séquentielle. Nous abordons là le cas de l'analyse prédictive de Zhao et Jacob que l'on peut consulter au niveau des références bibliographiques [LAN 94], [PRO 92], [ROB 92]. C'est la mise à jour des données. Cette façon de faire prend le nom de la démarche néo-bayésienne.

C'est le retour d'expérience qui permet ainsi de corriger l'éventuel pessimisme de la densité pré-a priori des experts. Les informations sur le composant critique sont exprimées par:

$$[2.34] \quad k_1 \dots k_n = \sum k_i$$

$f_0(\lambda)$ - va caractériser la distribution a priori non informative

La distribution a posteriori considérée comme nouvelle distribution a priori sera caractérisée par :

$$f\left(\lambda / \sum k_i\right) \quad [2.35]$$

Les nouvelles informations recueillies ultérieurement sur le composant critique seront caractérisées par :

$$[2.36] \quad k_1^*, \dots, k_n^* = \sum k_i^*$$

Le signe sigma signifie l'ensemble des informations et non la somme algébrique.

La densité de probabilité a posteriori par application du théorème de Bayes sera de la forme:

$$g\left(\lambda / \sum k_i^*\right) \propto f\left(\sum k_i^* / \lambda\right) f\left(\lambda / \sum k_i\right) \quad [2.37]$$

Le schéma de la démarche se présente sur la figure 2.7

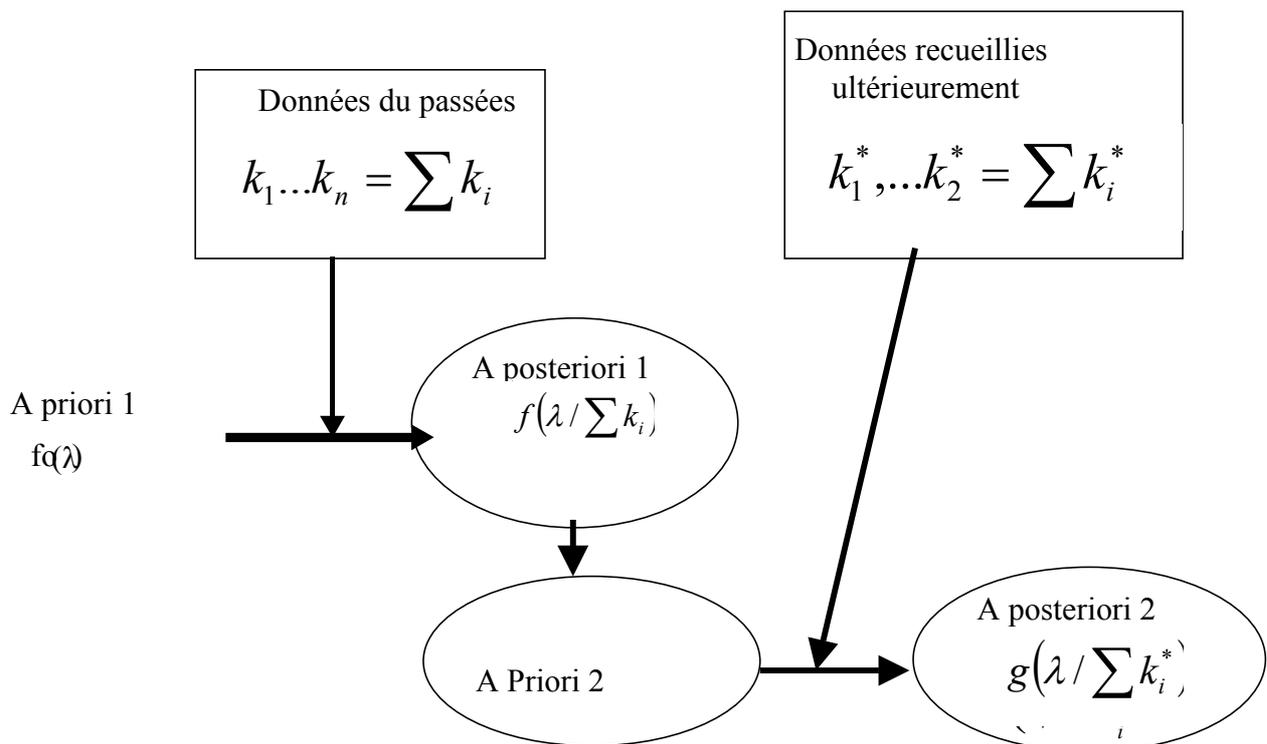


figure 2.7 : Démarche prédictive de Zhao et Jacob

Cette méthode de résolution peut présenter des limites lorsque les échantillons des données sont différents ou n'ont pas la même importance (époques différentes, temps de collecte différents, ...) ce qui peut amener à introduire les méthodes de pondération. (Méthode des moments, Moments pondérés, maximum de vraisemblance, quasi-échantillon, échantillons équilibrés, des scores...). Pour palier parfois à ces difficultés on établit la famille des composants, ceci peut nous conduire à obtenir des données du retour d'expérience importantes.

2.2.5 Historique et expertise importantes

Ce cas est peu représentatif pour notre étude sur les PME/PMI. Le subjectivisme a priori perd son importance, au profit des données. Nous obtenons là l'analyse fréquentielle ou classique des données. Pour ceux qui veulent plus savoir sur la résolution de ce type de problème, bien vouloir consulter les références bibliographiques [LIG 92a], [LIG 92b].

Nous pouvons avoir pour cas particulier dans les PME/PMI, la volonté de vouloir estimer la fiabilité de notre composant. Par conséquent nous faisons recours à des familles de composants ou bien utiliser les données du retour d'expérience provenant des autres installations industrielles.

La difficulté qu'il faudra résoudre sera celui de l'homogénéité des données à cause de la fusion des données provenant des sources différentes.

Il faudra émettre les tests d'hypothèses:

H_1 : les composants critiques ont le même taux de défaillance.

H_2 : les composants critiques ont les taux de défaillance différents pour au moins une paire.

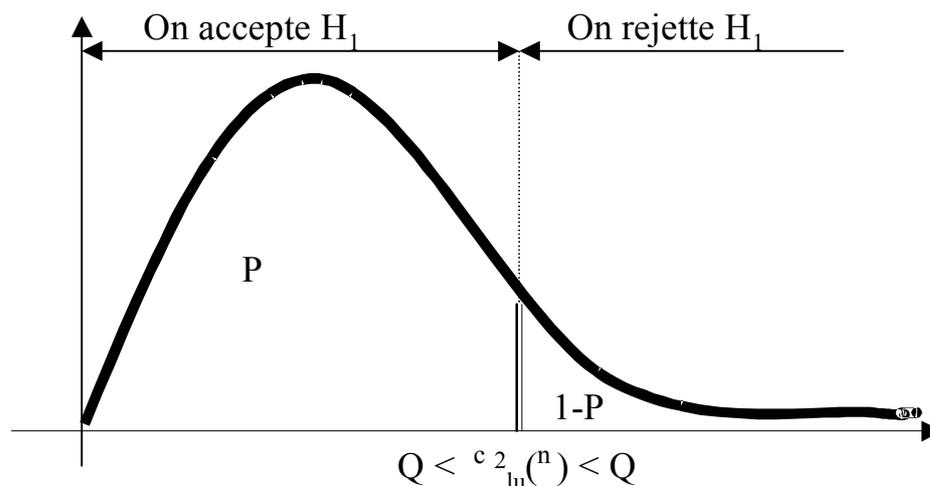
1. Si l'hypothèse H_1 est vraie on utilise l'approximation de Khi-deux. avec:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k T_i} \quad \text{et} \quad Q = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - T_i \hat{\lambda})^2}{T_i \hat{\lambda}} \quad [2.38]$$

La distribution Q est une distribution de Khi-deux à $v = (k-1)$ degrés de liberté pour l'hypothèse H_1 .

En effet, plus Q sera grand, plus le désaccord sera important. La coïncidence sera parfaite si $Q = 0$. Nous avons :

- $Q < \chi^2_{\alpha}(v)$ On ne peut pas rejeter l'hypothèse H_1
- $Q > \chi^2_{\alpha}(v)$ On peut rejeter l'hypothèse H_1



graphique 2.1: tracé de l'hypothèse de Khi-deux.

2. Si l'hypothèse H_1 est fautive, H_2 est déclarée vraie avec un niveau de signification de $1-P$. Il est donc impossible de faire un regroupement par famille de composants. Les taux de défaillances étant différents par composants, nous allons obtenir une historique assez faible représentatif des cas de figure que nous avons traitées dans les rubriques de 2.2.1 à 2.2.4. Mais si par conséquent on obtient un nombre assez important des données du retour d'expérience nous utilisons les méthodes d'analyse fréquentielle [LIG 92a] [LIG 92b].

2.3 Cas de l'évaluation de la disponibilité

2.3.1 Caractéristique

Les équipements de production sont tous réputés « réparables » et, à ce titre nous pouvons faire un tableau représentant dans l'architecture arborescente où l'on obtient les paramètres caractérisant la disponibilité. A savoir la fiabilité et la maintenabilité.

Tableau 2.6: Caractéristique arborescente de l'équipement de production

<i>Architecture Arborescente</i>	<i>Caractéristique</i>	<i>Paramètre à évaluer</i>
Ensemble	réparable	Disponibilité
S/ensemble	Réparable ou Pièce de rechange	Maintenabilité et fiabilité
Composant	Consommable et parfois réparable	Fiabilité

Les questions dont nous allons nous poser comme gestionnaire de maintenance d'une PME/PMI sont:

nous réparons l'ensemble défaillant (avec le risque de forte indisponibilité) ou nous effectuons un échange standard rapide en cas de défaillance ?

nous effectuons l'échange standard c'est à dire nous le réparons en temps différé ou nous le rebutons. Quel est mon budget pour avoir des pièces en redondance ? Quel est l'incidence sur la production ?

nous laissons fonctionner en état dégradé, quelles sont les répercussions économiques?

La résolution de ces choix successifs se feront avec les critères de fiabilité (expression du taux de défaillance λ) et de maintenabilité (taux de réparation μ) qui vont nous donner les critères objectifs de calcul de la disponibilité. Les réponses sont de nature technico - économique vu l'insuffisance des ressources des PME/PMI. Chaque scénario est étudié en prenant en compte les coûts directs, indirects, de remise en marche et de la politique de maintenance.

2.3.2 Contexte de l'étude

La figure III.8 schématise les états successifs que peut prendre un système réparable dans notre contexte d'étude. De ces différents états on extrait:

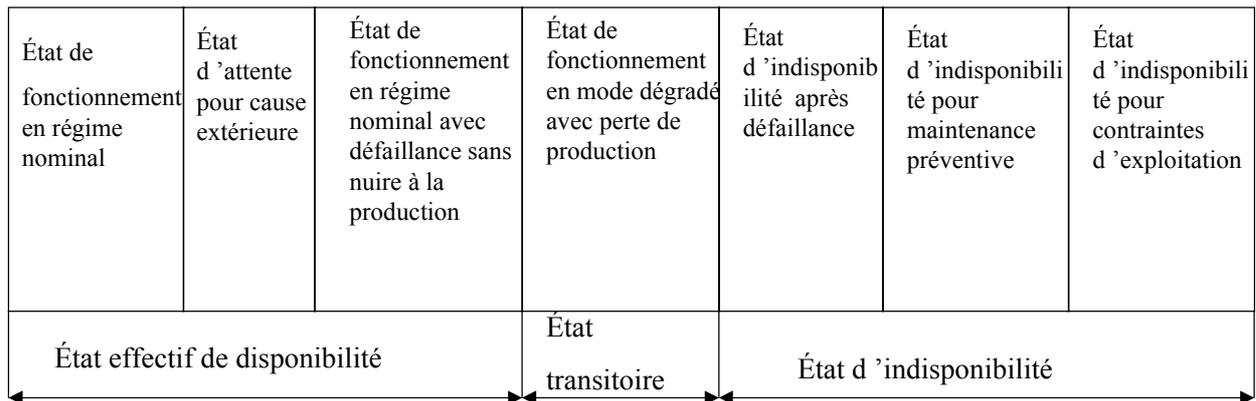


Figure 2.8: Etat du système

Les durées de fonctionnement (TBF) aux quelles on fait correspondre des moyennes (MTBF) et Les durées des arrêts (TA) aux quelles on fait correspondre des moyennes (MTA) sont obtenues par exploitation des historiques de production sur le composant critique.

Pour des raisons de simplification de calcul, nous considérons que cette moyenne des temps d'arrêt est égale à la moyenne des temps de réparation. Ce qui est pratiquement faux en exploitation car avant toute réparation il y a un temps de préparation qui s'écoule (transfert de l'information panne, logistique d'intervention, disponibilité de l'équipe d'intervention...) avant le début de la réparation effective. Normalement les temps de réparation sont inférieures aux temps d'arrêt.

On se trouve en présence d'un système à construire pour un objectif de disponibilité donné. Réaliser la mission de disponibilité se traduit par un gain, alors que la défaillance entraîne un coût, et éventuellement un risque pour une politique de maintenance. Toute politique d'organisation de la maintenance, malgré l'intérêt économique et social qu'elle procure, fait généralement courir un risque.

2.3.3 Evaluation classique de la disponibilité

La disponibilité des équipements de production mesure à la fois leur fiabilité et leur maintenabilité.

D'une façon générale, la disponibilité, D_t , d'un équipement au temps $t > 0$, est la probabilité pour que l'équipement fonctionne au temps t , sous des conditions données.

$$D_t = \Pr [D = X ; t]. \quad [2.39]$$

La disponibilité dépend de la fiabilité de l'équipement, ou le système considéré qui exprime une mesure de la probabilité de survie au temps t , et de la probabilité de remise en service en cas de défaillance avant t : c'est donc la probabilité jointe des distributions de ces deux variables aléatoires que nous allons exprimer.

Nous considérons que les deux taux λ et μ sont supposés constants et indépendant du temps.

Nous pouvons donc écrire:

$$\lambda = 1/MTBF \quad \text{et} \quad \mu = 1/MTA \quad [2.40]$$

La disponibilité instantanée classique de l'équipement de production sera de la forme :

$$D(t) = \frac{1}{\mu + \lambda} [\mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}] \quad [2.41]$$

La détermination de D(t) se fera à partir de l'estimation des paramètres de fiabilité, déduits du retour d'expérience.

2.3.4 Evaluation bayésienne

Nous savons que le retour d'expérience dans notre étude se fait de façon permanente pour le suivi des équipements de production. Toutes nouvelles informations réactualisent notre système.

L'historique de fonctionnement et des réparations des équipements de production s'effectue de façon cyclique jusqu'à la mise au rebut. Nous pouvons donc observer un nombre de cycles c qui va correspondre chacun à une période de fonctionnement et une période de réparation. Avec n nombre total de périodes de fonctionnement et m le nombre d'intervalles de réparation. Pour simplification, nous allons considérer que $n = m = c$

- **Modélisation de la vraisemblance**

La distribution générale de la vraisemblance de tous les scénarios possibles(figure 2.8) dans ces conditions sera:

$$f(T, t, n, m / \mu, \lambda) = \left[\frac{\mu}{\mu + \lambda} \right] \left[\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right] \lambda^n e^{-\lambda T} \cdot \mu^m e^{-\mu t} \quad [2.42]$$

Où :

T - temps total de fonctionnement ; t - temps total de réparation.

- **Modélisation de l'expertise**

On suppose que les experts n'ont aucune connaissance sur l'allure de la distribution a priori sur λ et sur μ notées $g_1(\lambda)$ et $g_2(\mu)$. Pour cela, on va supposer une distribution a priori uniforme informative et non informative, ce qui rend équiprobable toute valeur de disponibilité, et laisse plus de poids aux observations du retour d'expérience recueillies.

Compte tenu du principe de conjugaison, et de l'application du théorème de bayes la densité de probabilité a posteriori jointe de λ, μ est:

$$g_{\lambda, \mu}(\lambda, \mu / n, m, t, T) = \frac{f(n, t, T / \lambda, \mu) g_1(\lambda) g_2(\mu)}{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(n, t, T / \lambda, \mu) g_1(\lambda) g_2(\mu) d\lambda d\mu}$$

[2.43]

La résolution assez compliquée du dénominateur de cette expression est donnée par [MAR 82]. Nous obtenons la densité de probabilité a posteriori de disponibilité:

$$g_{\lambda,\mu}(D/n, m, t, T) = \frac{[(t + \eta)/(T + \varepsilon)]^{k+\beta}}{B(k + \beta, k + \alpha)} X \frac{D^{k+\beta-1} (1 - D)^{k+\alpha-1}}{[1 - D(1 - (t + \eta)/(T + \varepsilon))]^{2k+\alpha+\beta}} \quad [2.44]$$

- Pour une distribution a priori uniforme informative :

$$\begin{cases} \alpha = \beta = 1 \\ \varepsilon = \eta = 0 \end{cases}$$

- Pour une distribution uniforme non informative

$$\begin{cases} \alpha = \beta = 0 \\ \varepsilon = \eta = 0 \end{cases}$$

$$B(a, b) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \text{ étant la distribution bêta de paramètre } a, b.$$

L'estimateur bayésien de disponibilité sera déduite de cette fonction de densité de probabilité a posteriori de disponibilité. L'expression sera:

$$E(D/t, T) = \frac{k+1}{2k+2} {}_2F_1[1, k+1; 2k+3; 1-t/T] \quad [2.45]$$

Avec :

$${}_2F_1[d, e, f, z] = \sum_0^{\alpha} \frac{(d)_j (e)_j}{(f)_j j!} z^j$$

$(d)_j$ est la série hypergéométrique de la variable z , de paramètres d, e et f .

Nous pourrions ainsi exprimé la disponibilité pour chacun des états suivants en fonction du nombre de défaillances k obtenu:

- état de fonctionnement en régime nominal avec défaillance sans nuire à la production,
- état de fonctionnement en mode dégradé avec perte de production,
- état d'indisponibilité après défaillance,

En conclusion l'estimateur bayésien de disponibilité dans notre cas va dépendre de l'historique des événements contenant:

- le nombre c représentant le nombre de cycles. Chaque cycle étant constitué d'une période fonctionnement et d'une période de réparation.
- la durée T totale de fonctionnement,
- la durée t totale de réparation.
- Le nombre de défaillance k .

Toutes ces données sont obtenues à partir des données du retour d'expérience du matériel en exploitation.

En conclusion, le retour d'expérience est un mélange très complexe d'observations. Sa représentation mathématique conduirait à la résolution d'un problème combinatoire d'une extrême complexité. C'est donc pour simplifier ce problème que nous utilisons la démarche bayésienne où n'existent pas ces problèmes comme nous l'avons vu en utilisant les expressions conjuguées.

Cette démarche s'avère plus approprié pour les PME/PMI, puisqu'elle permet de prendre en compte toute connaissance disponible, en particulier l'avis des experts, la modification des équipements et d'estimer le risque d'une décision prise.

Les différents cas pour le calcul de la fiabilité et disponibilité en fonction de la nature des informations est présenté et tient compte des difficultés que l'on peut avoir dans un environnement PME/PMI.

Chapitre 3 : ASPECT ECONOMIQUE

Une PME/PMI doit se contenter d'avoir les indicateurs techniques (Fiabilité, disponibilité) exprimés au chapitre 2 , et économiques (Coûts de maintenance). L'un des objectifs de nos travaux de recherche est de rechercher l'équilibre technico-économique des équipements de production. Ce chapitre 3 a pour objectif de faire une évaluation des conséquences économiques pour l'utilisation d'une politique de maintenance. Il nous permettra d'exprimer le coût d'une politique de maintenance, les coûts directs et indirects de maintenance et ceux de remise en marche. Le décideur d'une PME/PMI pourra se servir de ces résultats pour mieux appréhender son budget de maintenance étant donné que l'insuffisance des moyens financiers est le nerf de la guerre de ces petites et moyennes structures industrielles.

3.1 Evaluation des conséquences économiques

3.1.1 Méthodologie

Le rôle le plus souvent dévolu aux analyses de maintenance et de sûreté de fonctionnement concerne l'étude des effets d'une défaillance. Les méthodes employées visent à identifier individuellement leurs conséquences en terme de coûts. C'est le cas des systèmes où pour une défaillance de multiples conséquences peuvent survenir. La méthode de l'arbre des conséquences [VIL 88] propose d'y remédier à l'aide d'un arbre de décision. Elle consiste à établir les conséquences faisant suite à un événement initiateur et selon les successions possibles des fonctionnements ou dysfonctionnements. Dans notre thèse nous avons:

Evénement initiateur : cause de défaillance

Evénements : arrêt, fonctionnement, ou fonctionnement en mode dégradé.

Conséquences : C_1 (succès): coût de la politique;

C_2 (en marche avec dégradation) : coût de la politique, coût direct;

C_3 (fonctionnement en mode dégradé) : coût de la politique, coût direct de la dégradation, coût indirect, coût remise en marche;

C_4 (Avec arrêt) : coût de la politique, coût direct d'arrêt, coût indirect, coût remise en marche.

L'intérêt de cette méthode réside dans l'exploration exhaustive des séquences suite à une défaillance et dans le fait que la quantification soit possible.

1. Catégorie 1 notée C_1 :

Cette catégorie représente le coût de l'utilisation de la politique de maintenance notée $C_{p,m}$

$$C_1 = C_{p,m} \quad [2.46]$$

2. Catégorie 2 notée C_2 :

Cette catégorie représente la somme du coût de la politique de maintenance $C_{p,m}$ et du coût direct de dégradation C_{d1} . C'est le cas du fonctionnement avec dégradation sans nuisance à la production.

$$C_2 = C_{p,m} + C_{d1} \quad [2.47]$$

3. Catégorie 3 notée C_3 :

Cette catégorie représente la somme du coût de la politique de maintenance $C_{p,m}$, le coût direct de dégradation C_{d1} , le coût indirect C_{ind1} causé par la perte de la production pour fonctionnement en mode dégradé et du coût de remise en marche $C_{r,m}$. C'est le cas du fonctionnement en mode dégradé avec perte de production ;

$$C_3 = C_{p,m} + C_{d1} + C_{ind1} + C_{r,m} \quad [2.48]$$

4. Catégorie 4 notée C_4 :

Cette catégorie représente la somme du coût de la politique de maintenance $C_{p,m}$, le coût direct deux, d'arrêt de production C_{d2} , le coût indirect C_{ind2} causé par l'arrêt de production pour remédier à la défaillance et du coût de remise en marche $C_{r,m}$. C'est le cas où une défaillance entraîne l'arrêt de l'équipement de production avec perte de production.

$$C_4 = C_{p,m} + C_{d2} + C_{ind2} + C_{r,m} \quad [2.49]$$

Les différentes expressions de $C_{p,m}$, C_{d1} , C_{d2} , C_{ind1} , C_{ind2} , $C_{r,m}$ sont formulées dans les paragraphes a, c, d, et e.

Les coûts d'acquisition ou coût d'achat, de revente ou d'élimination ne sont pas pris en compte dans nos travaux. Seuls les coûts cumulés de maintenance composés :

- des coûts de la panne ou de la dégradation suivant les cas;
- des coûts cumulés de la politique maintenance préventive;
- des coûts de remise en marche;
- des coûts de perte de production ou manque à gagner (produits non fabriqués, main d'œuvre non utilisée, etc.);

font l'objet de développement dans l'évaluation de notre modèle car, l'objectif n'est pas d'obtenir le revenu global d'un équipement de production ou d'estimer le coût global d'acquisition également connu sous sa dénomination anglo-saxonne de « Life cycle Costs » ou LCC.

D'autre part il y a un certains nombre de coûts que nous ne pourrions pas prendre en compte par manque de données ou d'informations:

- impact sur l'environnement;
- impacts commerciaux;
- dommages corporels;
- impacts juridiques;
- image de marque;
- Etc.

3.1.2 Coût de la politique de maintenance : $C_{p,m}$

Il est égal au rapport de la somme des coûts directs de maintenance et des impacts sur la production (se traduisant en terme de manque à gagner et de perte de production) sur la somme de la moyenne des temps de fonctionnement et de réparation. (On néglige parfois la MTTR faible par rapport au MTBF).

$$C_{p,m} = \frac{C_d + C_{ind}}{MTBF + MTTR} \quad [2.50]$$

avec :

$$C_d = C_{d1} + C_{d2} \quad \text{et} \quad C_{ind} = C_{ind1} + C_{ind2}$$

Toute politique de maintenance mise en œuvre entraîne un certains coût et une réponse de l'équipement de production en terme de fiabilité et disponibilité résultant de son utilisation.

b. Hypothèses sur MTBF et MTTR

Pour effectuer l'évaluation sur le coût de la politique de maintenance, nous posons des hypothèses suivantes relatives aux lois de probabilités modélisant la moyenne des temps de bon fonctionnement et de réparation.

Les temps de bon fonctionnement et de réparation d'un équipement de production sont proportionnelles à une période de temps considérés.

Les constantes de proportionnalité λ et μ , qui correspondent au taux de défaillance du matériel en fonctionnement et de réparation sont égales chacune en ce qui la concerne lorsque les temps de défaillance et de réparation sont supposés constants à:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad [2.51]$$

et

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

La moyenne des temps de bon fonctionnement et de réparation sont ainsi modélisées par la loi exponentielle car les temps entre défaillances et réparation suivent une loi exponentielle.

L'estimateur ponctuel fréquentiel de la distribution de la loi fréquentielle est la valeur unique, considérée optimale notée λ d'une part et μ de l'autre.

L'estimateur du maximum de vraisemblance est celui qui conduit à la plus grande probabilité d'observer les données recueillies en observant n défaillances et r réparations indépendantes aux temps $T_1, T_2 \dots T_k$ de fonctionnement et $t_1, t_2 \dots, t_n$ de réparation.

Le maximum de vraisemblance correspond au maximum de la distribution de la fonction de vraisemblance [PRO 92]. Pour obtenir le point maximal de cette distribution, on obtient les valeurs :

$$\lambda = \frac{n}{T}$$

$$\mu = \frac{r}{t}$$

C'est à dire que le taux de défaillance est égal au nombre total de défaillances observés, divisé par le cumul des temps de fonctionnement.

Et le taux de réparation est égal au nombre total de réparation observé, divisé par le cumul des temps de réparation.

En rendant égaux les équations (5) et (6) nous obtenons:

$$MTBF = \frac{T}{n} \quad [2.52]$$

$$MTTR = \frac{t}{r}$$

C'est à dire que la moyenne des temps de bon fonctionnement est égal au cumul des temps de fonctionnement, divisé par le nombre total de défaillances observés.

Et la moyenne des temps de réparation est égal au cumul des temps de réparation, divisé par le nombre total de réparation.

En dehors de la loi exponentielle, il existe bien la loi de Weibull et la loi normale qui peuvent bien caractériser le taux de défaillance et de réparation[LIG 92]. La loi exponentielle bien sûr n'est pas trop représentative dans l'évaluation concernant le taux de défaillance et de réparation, mais, elle simplifie au maximum les calculs. Elle donne des indications par rapport à ces taux de défaillance λ et de réparation μ .

3.1.3 Coûts directs de maintenance : Cd

Ils sont extraits de la comptabilité analytique de l'entreprise. Se sont les coûts de main d'œuvre, le coût des matières et fournitures utilisés, les dépenses d'énergie, etc..

Il est important de souligner que les coûts de la main d'œuvre sont difficiles à évaluer car, un opérateur s'occupe de plusieurs équipements à la fois. De plus, nous ne pouvons connaître quelle proportion de temps il passe sur chacun des équipements. Par conséquent nous supposer une valeur raisonnable.

Les autres coûts ne sont pas chiffrables car au niveau de la comptabilité analytique, ils sont regroupés pour tout l'atelier, suivant leur nature (énergie électrique, eau, air comprimé, huiles, fournitures, outils de maintenance etc..).

Tenant compte de l'importance de ces coûts directs dans le processus d'évaluation, et pour les besoins d'estimation de notre modèle nous allons proposer une valeur, X coûts directs de remise en état de la dégradation et Y coûts directs de remise état par arrêt de production.

$$C_{d1} = x \text{ Francs ; } C_{d2} = y \text{ Francs} \quad [2.53]$$

3.1.4 Coûts indirects de maintenance : C_{ind}

Les coûts de perte de production ou manque à gagner (produits non fabriqués, main d'œuvre non utilisée, etc..) sont calculés à partir des rebuts imputables aux pannes de l'équipement.

Le manque à gagner peut-être écrit sous la forme suivante:

- pour le fonctionnement en mode dégradé;

$$C_{ind1} = \omega \cdot C_{h1} \cdot H_1 \quad [2.54]$$

C_{h1} : le coût horaire de la dégradation;

H_1 : le nombre d'heures de fonctionnement en mode dégradée;

ω : le coefficient d'occupation de l'équipement.

- pour l'arrêt de production

$$C_{ind2} = \omega \cdot C_{h2} \cdot H_2 \quad [2.55]$$

C_{h2} : le coût horaire d'arrêt;

H_2 : le nombre d'heures d'arrêt.

Le coefficient d'occupation de l'équipement de production sera obtenu sur la base du rapport entre le cumul du temps de fonctionnement T et le cumul du temps d'ouverture N.

$$\omega = \frac{T}{N} \quad [2.56]$$

[2.56]

Le coût d'une heure d'arrêt C_h sera calculé sur la base du produit du nombre de produits non fabriqués (N_f) pour une heure d'arrêt, par le coût unitaire du produit C_u .

$$C_{h2} = N_f \times C_u \quad [2.57]$$

En mode dégradé, on suppose que la moitié de la production est perdue :

$$C_{h1} = \frac{N_f}{2} \times C_u \quad [2.58]$$

Le coût unitaire C_u est obtenu auprès de la comptabilité de l'entreprise.

3.1.5 coûts de remise en marche : $C_{r,m}$

Se sont des coûts qui sont estimés après réparation due à une défaillance du matériel. Ils sont caractérisés par le temps qui s'écoule entre la fin de la réparation et la reprise du fonctionnement de l'outil de production en régime nominal.

Nous l'exprimons par:

$$C_{r,m} = C_{h2} \cdot h \quad [2.59]$$

h : durée de reprise de fonctionnement de l'équipement en régime nominal.

Les coûts de remise en marche s'expriment avec la même expression [2.59] qu'il s'agisse de la remise en marche après dégradation qu'après défaillance avec arrêt de l'équipement de production.

L'obtention de ces différentes conséquences économiques nous permet d'aborder le processus de prise de décision. C'est ce que va nous présenter le chapitre 4.

Chapitre 4 : PRISE DE DECISION

La prise de décision tient compte des paramètres techniques (Fiabilité, disponibilité) obtenus grâce aux techniques bayésiennes (chapitre 2) et des paramètres économiques (Chapitres 3). Parmi toutes les méthodes d'analyse présentées au chapitre 4 de la première partie et résumé au tableau 1.3 La méthode qui s'avère la plus indiquée prenant en compte les paramètres techniques (fiabilité) et économiques est la Décision Statistique Bayésienne (DSB).

4.1 Méthodologie

En effet, les défaillances des composants critiques de l'équipement critique peuvent avoir des conséquences graves tant sur les paramètres techniques que économiques.

L'état de ces composants est dû à des formes variées de causes, se traduisant par l'augmentation de la probabilité des défaillances en fonctionnement avec des conséquences diverses sur l'équipement de production tel que nous l'avons vu à la rubrique 2.4.

Les décisions de maintenance dépendent ainsi de la possibilité d'estimer en tant réel et de prédire le comportement réel de ces composants en tenant compte de toutes les informations disponibles provenant tant de la conception que de l'exploitation.

L'objectif principal est de fournir une description prédictive de l'évolution du risque de défaillance (probabilité de défaillance) aux preneurs de décisions tant sur l'influence des paramètres techniques que économiques. Toute la méthodologie doit être basée sur la compréhension des mécanismes de défaillance et leurs effets sur l'équipement de production.

En fin de compte, soit le décideur prend la décision en fonction de l'évaluation bayésienne de la probabilité d'apparition des défaillances, soit il considère qu'il faut disposer de plus de données de retour d'expérience auquel cas, la révision de l'échantillon de données du retour d'expérience devient nécessaire.

Dans tout état de cause, ce choix doit dépendre bien entendu de l'objectif de sûreté fixé et des possibilités de conduite que dispose chaque entreprise.

L'évaluation de la fiabilité prédictive, l'estimation de la disponibilité attendue, la déduction des effets économiques, constituent une quantification appropriée des incertitudes relatives à l'apparition des défaillances par l'expression de l'espérance de la politique de maintenance. Elle est indispensable pour prendre une décision de maintenance dans la mesure où l'analyste apporte des éléments d'aide à la décision avec le niveau de données de retour d'expérience à sa disposition. Le décideur peut ainsi choisir, en connaissance de cause, entre changer ou maintenir les décisions d'une politique de maintenance ou chercher de plus en plus d'information. La réactualisation des décisions se fait dans un horizon temporel fini bien déterminé.

4.2. Construction de l'arbre de décision

La théorie de la décision statistique bayésienne permet d'associer ces probabilités (fiabilité prédictive), et les coûts, afin d'obtenir l'espérance des décisions de la politique de maintenance à un horizon fini.

Le problème d'aide à la décision sera modélisé à l'aide de l'arbre de décision présenté sur la figure 2.10.

Les décisions dépendent d'une observation aléatoire, sont prises en milieu incertain, voilà pourquoi il est logique d'étendre les conséquences induites aux distributions de probabilités obtenues. La théorie de la décision statistique bayésienne décrit un environnement idéal, pour une rationalité vers laquelle doit tendre le décideur.

L'incertitude inhérente aux modèles aléatoires, peut sembler justifier la prise de décision sur les modélisations statistiques en milieu incertain. La prise en compte des éventuelles informations sur le modèle, ainsi que les incertitudes y afférant, conduit inévitablement aux solutions bayésiennes. La rubrique 2.1 fournit d'ailleurs les diverses raisons pour lesquelles l'analyse bayésienne devrait être préférée.

Les états de la nature sont des variables probabilisables représentés par Les probabilités de causes de défaillances et de non défaillances(état de la nature 1) et des probabilités des effets d'une défaillance (état de la nature 2).

Ces probabilités sont estimées à partir des données du retour d'expérience et de l'avis des experts. Ce qui permet de prendre en compte toute information complémentaire susceptible de modifier la quantification des incertitudes.

La nomenclature de la figure 2.10 se présente comme suit :

$d_1, d_2, d_3 \dots$ représente les différentes décisions de maintenance que l'on peut avoir à partir du logigramme de décisions à la suite de la démarche MBF (figure 3.3 partie 3).

P_0 –probabilité que le système fonctionne sans défaillance (réussite de la mission)

P_{c1} - Probabilité d'échec due à la cause 1

P_{c2} -probabilité d'échec due à la cause 2

P_{c3} - probabilité d'échec du à la cause 3

P_m - probabilité de marche avec défaillance

P_d - probabilité de marche en mode dégradé

P_a - probabilité d'arrêt (échec total)

C_1, C_2, C_3, C_4 - différentes conséquences économiques

l_1, l_2, l_3, l_4 - différentes fonctions de perte

$E[l(d_1)]$ - risque obtenu pour l'utilisation de la décision une

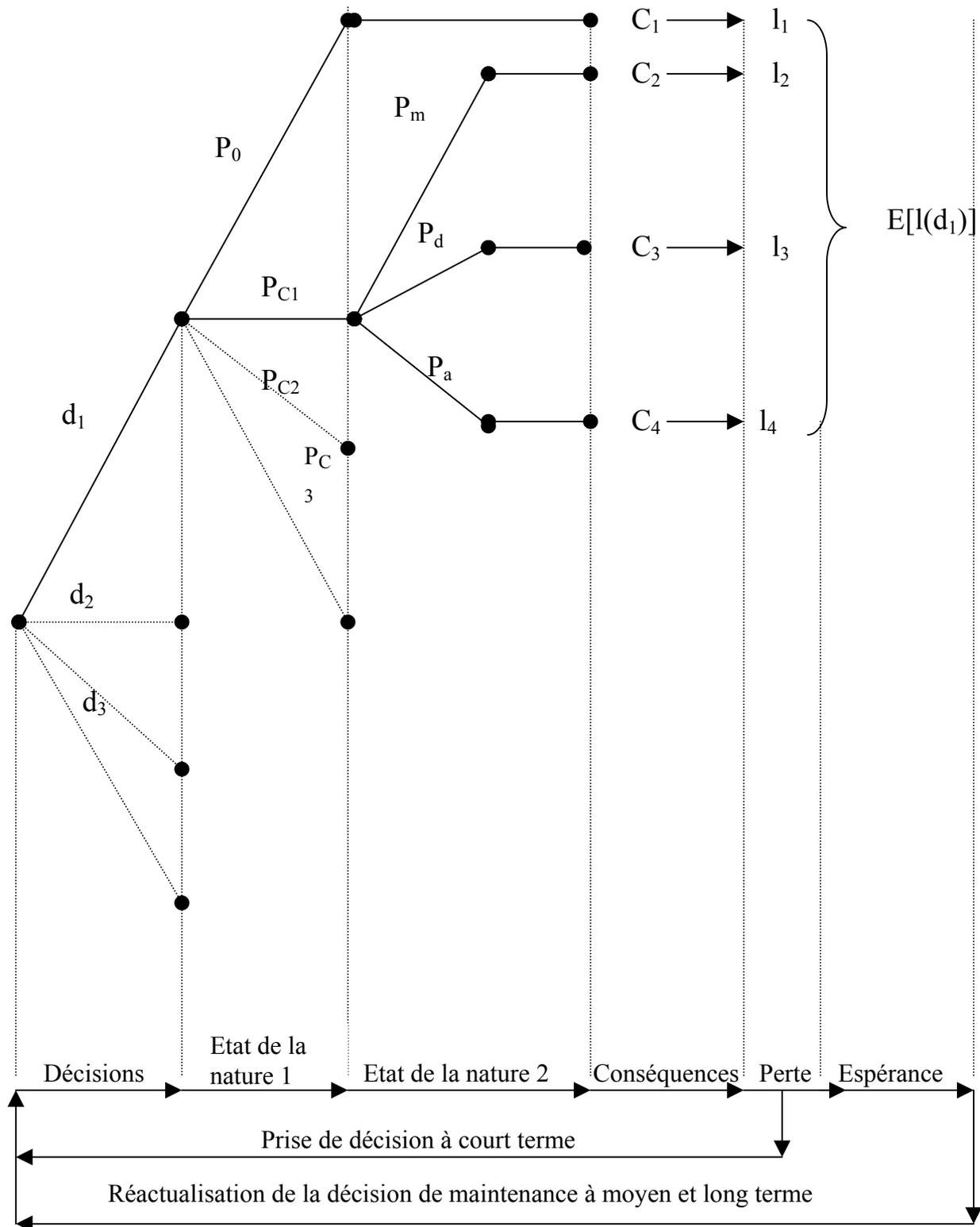


figure 2.10: Modélisation de la démarche à l'aide de l'arbre de décision

La fonction de coût représente les conséquences d'une décision. Cette fonction est relative à la décision prise et des états de la nature. Cette fonction de coût sera exprimée en évaluant la fonction perte. Une décision de maintenance entraîne le risque d'induire des défaillances, les

différents coûts et, le risque de ne pas remplir la mission pour laquelle cette décision a été prise.

Une décision sera prise en tenant compte des observations du retour d'expérience qui ont été faites, et la distribution de leur probabilité d'occurrence. Pour le soucis de rationalisation, une décision est prise par association des coûts et des différentes probabilités caractérisant les paramètres de fiabilité.

En formalisant le problème, les éléments à prendre en compte dans la théorie de la prise de décision sont les suivants :

- L'ensemble des décisions possibles pour le décideur;
- L'ensemble non vide des états de la nature;
- Une fonction perte que subira le décideur, quand il supposera une décision de maintenance;
- Un ensemble de résultat exprimant le risque qui est l'espérance de la fonction perte.

4.3 Expression de la fonction de perte

La fonction perte est une fonction continue qui établit le lien entre la perte financière et la spécification fonctionnelle.

La forme mathématique de cette fonction perte dépend du type de cible recherché (nominal, minimum, maximum, etc...) [ROC 96].

En sûreté de fonctionnement, la prise de décision ne doit pas seulement être fondée sur les probabilités d'occurrence, mais aussi sur leurs conséquences. C'est ainsi qu'elle permet de modéliser la perte associée à une décision aux conséquences économiques. Dans notre modèle, on ne s'intéresse ici qu'à la perte purement économique. C'est un nombre sans dimension. La notion de coût un des éléments de la fonction perte devient une des composantes entrant dans le choix du décideur.

Elle se calcule comme étant le produit de chaque probabilité d'occurrence de chacun des états

$l(d) = \prod$ Probabilités des états de la nature X Conséquences économiques correspondantes de la nature 1 et 2 par les conséquences potentielles correspondants à une décision .

A partir de la figure 2.12 nous déduisons les différentes fonctions de pertes de notre modèle :

$$l_1(d_1) = P_0 \times C_1$$

$$l_2(d_1) = P_{C1} \cdot P_m \times C_2 \quad [2.60]$$

$$l_3(d_1) = P_{C1} \cdot P_d \times C_3$$

$$l_4(d_1) = P_{C1} \cdot P_a \times C_{41}$$

Ces fonctions pertes de la cause de défaillance une, formule [2.60], ont des expressions identiques pour les causes de défaillances deux et trois.

L'expression générale de la fonction perte $l(d)$ pour une cause de défaillance sera la suivante:

$$l(d) = \begin{cases} P_0 C_1 & \text{si réussite de la mission (pas de défaillance)} \\ P_{C_1} P_m C_2 & \text{si réussite de la mission avec défaillance sans nuisance à la production} \\ P_{C_1} P_d C_3 & \text{si fonctionnement en mode dégradé avec perte de production} \\ P_{C_1} P_a C_4 & \text{si échec de la mission (arrêt de l'équipement de production)} \end{cases}$$

En tenant compte que les expressions des probabilités P_j ou les états de la nature sont évaluées à l'aide de la méthodologie du chapitre 2 de cette deuxième partie (différents cas d'évaluation de la fiabilité) et les conséquences C_i au chapitre 3.

4.4 Le risque de décision

Chaque décision de maintenance prise, est évaluée grâce à sa fonction de risque notée $Rd(d)$. La fonction de risque est, par définition dans le cadre bayésien, l'espérance de la fonction de perte associée à cette décision, sachant l'observation du retour d'expérience sur l'équipement de production.

Par définition son expression sera la somme algébrique de toutes les fonctions de perte obtenues pour une cause de défaillance donnée.

$$Rd(d) = E[l(d)] = \sum l_i(d) \quad [2.61]$$

Par application nous avons l'espérance de la décision d pour la cause de défaillance 1:

$$E[l(d)] = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \quad [2.62]$$

La fonction perte exprimée en valeur purement économique va permettre de déduire le risque pour une décision de maintenance. Ce qui permet de la caractériser par son espérance.

4.5 Démarche sur la prise de décisions

L'occurrence d'une défaillance aura des conséquences variables sur le fonctionnement du système. L'utilisation des modes de défaillances permet de modéliser le comportement du système. A chaque étape de la méthode, un classement basé sur la criticité des modes de défaillances des éléments est réalisé et seuls les plus critiques seront conservés pour la suite de l'étude. On parle de criticité pour chaque triplet (mode, cause, effet).

Une première décision est à prendre c'est l'élimination de ce qui paraît le moins critique afin d'évaluer les résultats dans un plan très ciblé.

De chaque défaillance fonctionnelle, on définit une criticité globale.

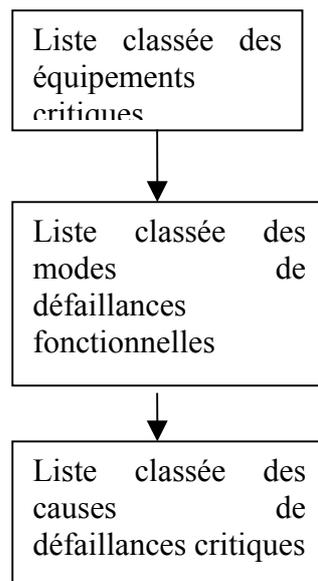


figure 2.10: Le Classement basé sur la criticité

Une deuxième décision est alors possible de ne pas prendre en considération certaines défaillances, ce qui peut bien sûr être pénalisant a priori pour l'étude du système. Mais, le retour d'expérience permet de remédier à cette difficulté.

La cause de défaillance est l'anomalie initiale susceptible de conduire au mode de défaillance. Une action de maintenance peut éviter cette cause de défaillance.

La troisième décision (prévisionnelle) est de choisir parmi les différentes décisions de maintenance (Logigramme de décision) celles les plus indiquées dans un horizon temporel bien déterminé et l'objectif de l'étude préfixé.

La quatrième décision sera à court terme au cas où l'outil de production doit être en arrêt. Il faut utiliser la méthodologie de Maintenance Corrective. Notre arbre de décision figure 2.9 présente plusieurs branches au niveau de la décision. Ces branches peuvent être résumées en deux parties telles que nous montre la figure 2.11 : Une branche pour la maintenance préventive et une autre pour la maintenance corrective.

La maintenance corrective va nous donner deux types de conséquences:

- La conséquence C_5 qui résulte du temps actif de maintenance corrective (diagnostic, réparation, mise en route etc..).
- La conséquence C_6 qui résulte de la logistique de maintenance corrective (recherche de tous les moyens pour l'intervention).

En s'appuyant sur l'arbre de décision de la figure 2.9 la conséquence C_4 est la somme de $C_5 + C_6$. Nous déduisons la perte l_5 , l_6 et le risque de décision pour l'utilisation de la maintenance corrective $E[l(d)] = l_5 + l_6$.

Connaissant ce risque le décideur peut décider d'effectuer que de la maintenance corrective.

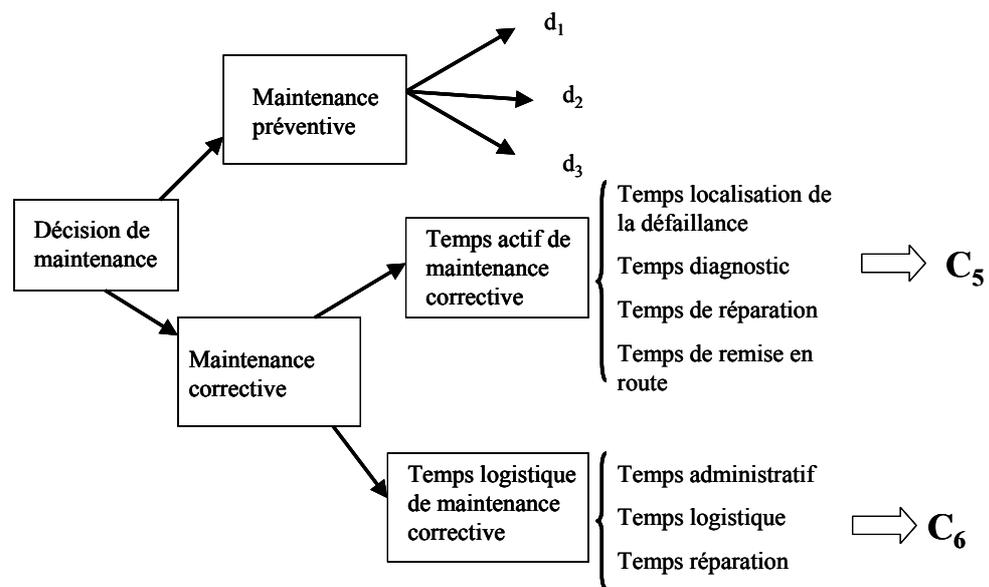


Figure 2.11 : méthodologie de maintenance corrective

En conclusion le processus logique de prise de décision conduit à tenir compte de l'impact:

- Sur la fiabilité : une action est nécessaire afin d'assurer un fonctionnement sûr pendant une période de temps déterminée. L'utilisation des techniques de maintenance préventive souhaitable .
- Sur la disponibilité : une action est souhaitable si elle réduit le risque de défaillance à un instant t bien déterminé. Si les pénalités sont sévères, une reprise de conception de l'équipement est souhaitable, autrement dit aucune action de maintenance préventive n'est envisageable. Nous aurons recours à la maintenance corrective.
- Sur le mode de détection de la défaillance, si celui ci n'est pas évident, une action de maintenance préventive doit être envisagée.
- L'impact sur les pénalités conditionnées par les défaillances critiques . Si elles sont insignifiantes, l'attente de la casse est envisageable et l'utilisation des techniques de maintenance corrective.

L'efficacité de chaque décision pourra s'obtenir en déterminant son coût par rapport au coût de la défaillance qu'elle évite.

D'un point de vue général, l'évaluation des indicateurs quantitatifs et qualitatifs relatifs à la performance a priori du système est fondamentale. Ils doivent permettre d'apprécier l'adéquation entre le système envisagé et l'objectif (expression du désir des utilisateurs traduisible en termes de critères d'appréciation).

De par la nature très distincte des indicateurs d'optimisation, l'obtention d'une appréciation globale est délicate.

Certains critères ne sont pas quantifiables ou quantifiés et pour ceux qui le sont, les unités dans les quelles ils sont exprimés, n'autorisent pas forcément une comparaison directe.

Notre méthode consiste à ne pas prendre un critère spécifique pour l'optimisation de la maintenance mais, rechercher à concilier les différents critères d'appréciation à caractère techniques et économiques afin de représenter les indicateurs de l'équipement de production pendant une période de temps prédéterminée. Le principe de comparaison sur plusieurs décisions de maintenance pour en considérer une comme étant la meilleure (caractère relatif) n'est pas le but recherché dans cette thèse.

En définitive, la méthode intègre les éléments aptes à permettre une évaluation des décisions de maintenance envisagées. Cela implique la représentation de l'arbre de décision qui facilite l'association de ces différents critères tant techniques que économiques sous forme d'espérance de la fonction de perte.

Chapitre 5: STRATEGIE GENERALE D'ORGANISATION

5.1 Méthodologie

La stratégie générale d'organisation proposée pour les PME/PMI résulte des quatre premiers chapitres de cette deuxième partie. Il s'agit notamment de prendre en compte la structure qui est le garant de la méthodologie, la technique d'analyse des données par l'utilisation des technique bayésienne, la prise en compte des conséquences économiques d'une décision de maintenance et la démarche de la prise de décision.

Il est important de mentionner que toute la méthodologie du chapitre 2, 3, 4 est articulé autour du composant critique. Comme nous l'avons déjà dit au paragraphe 2.5.5 un classement basé sur la criticité des modes de défaillances des éléments est réalisé et seuls les plus critiques seront conservés pour la suite de l'étude. Cette décision permet ne pas prendre en considération certaines défaillances, ce qui peut bien sûr être pénalisant a priori pour l'étude du système. Mais, le retour d'expérience permet de remédier à cette difficulté. Cette étude se fait sous forme d'itération jusqu'à l'étude de tous les équipements de production.

La théorie choisie prend en compte deux types de paramètres: d'un côté les paramètres technico-économiques (Fiabilité, disponibilité, coût) et de l'autre côté les paramètres organisationnels (structure de la PME/PMI).

Cette façon de faire nous permet d'enrichir notre thèse partant d'un composant critique à la vision transversale de l'organisation de la maintenance dans une PME/PMI. Cette façon de faire permet la prise en compte des résultats de notre étude sur le contexte où ces travaux sont appliqués à savoir les pays en développement et le Cameroun en particulier. Ceci n'exclut pas l'applicabilité de cette étude à tout environnement industriel s'intéressant à la méthodologie utilisée.

La triptyque(fiabilité, disponibilité et coût) d'une part et la structure de l'entreprise d'autre part conduit à obtenir une stratégie originale d'organisation de la maintenance que nous dénommons la méthode **SOGMBREX** (Stratégie D'Organisation et de Gestion de la Maintenance basée sur le Retour d'Expérience).

5.2 Stratégie d' Organisation et de Gestion de la Maintenance Basée sur le Retour d'EXpérience (SOGMBREX)

Pour une vision plus avancée en matière d'organisation de la maintenance, un sentiment général de technique du balancier, qui conduit à revenir sur le choix stratégique de flexibilité, complémentarité et productivité s'avère très judicieux.

Cette stratégie se veut comme outil fédérateur des différents cas présentés précédemment. Elle a pour objectif d'unifier les paramètres techniques(fiabilité, disponibilité), économique (coûts de maintenance) et organisationnels (tâches de management) pour une meilleur vision et gestion du retour d'expérience des PME/PMI. Cette stratégie symbolise l'ensemble des décisions relatives qui conduisent:

- à l'estimation des paramètres technico-économiques d'aide à la décision aux politiques de maintenance des matériels (méthodes préventives et correctives),

- et conjointement à l'organisation de la maintenance: structures, ressources (financières, matérielles, humaines..), avec la prise en compte de l'environnement d'implantation de la PME/PMI.

La schématisation de ce principe est mentionnée sur la figure 2.13.

« Le choix des activités de maintenance à un niveau de disponibilité à coût raisonnable » est la définition que nous pouvons donner à la méthode SOGMBREX qui s'appuie sur les principes fondamentaux de flexibilité, complémentarité et productivité. Toute cette stratégie ne peut prendre place qu'à partir d'un environnement permettant son épanouissement. Cet environnement appelé en d'autres termes SEOGIE a pour mission d'assurer la pérennité de fonctionnement des équipements de production.

Toute décision de maintenance prise doit avoir un risque de décision (R_d) inférieur au coût de la défaillance (C_d) qu'elle évite. C'est le garant de la maîtrise de l'organisation de la maintenance des équipements de production.

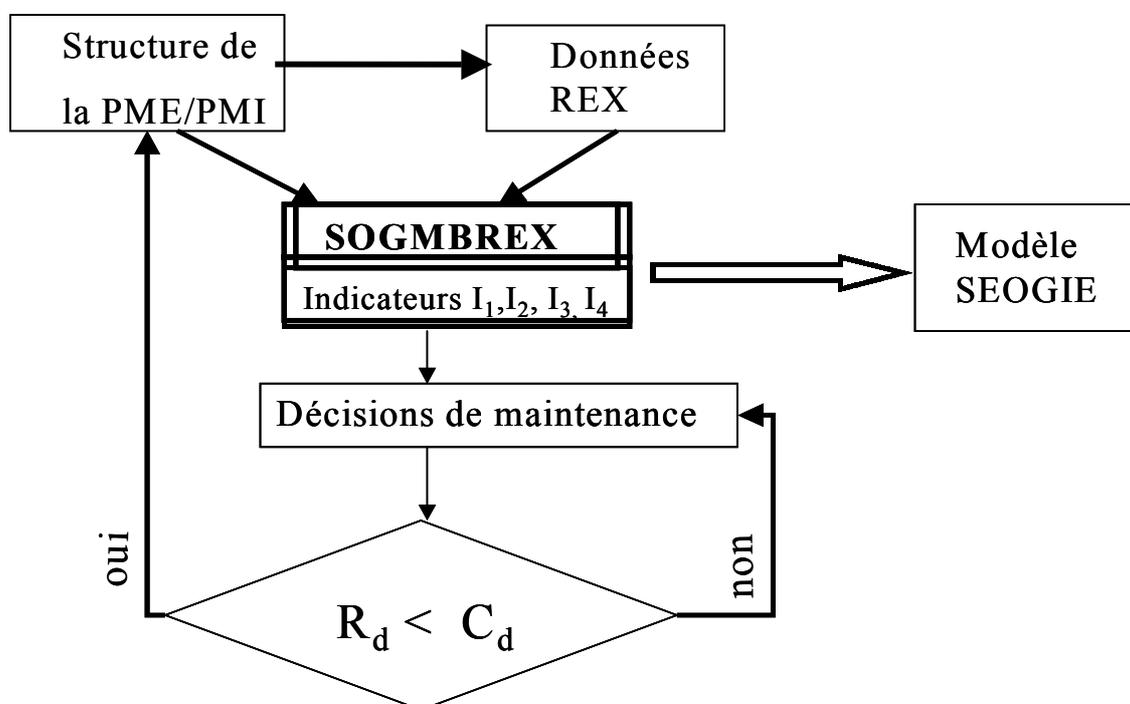


figure 2.12: SOGMBREX

Le processus dynamique de la méthodologie s'effectue par l'articulation entre les trois pôles : les objectifs (organisationnels et technico-économiques), les moyens (ressources et procédure de conduites), et les résultats qui supposent la mise en place des outils, une méthodologie et d'indicateurs de mesure de l'efficacité et de la pertinence de la stratégie SOGMBREX.

5.2.1 Mesure de l'efficacité

L'efficacité de cette stratégie permet d'établir la relation qui existe entre les résultats attendus et les objectifs. Il est néanmoins important de préciser qu'on ne saurait juger de cette efficacité à travers un seul indicateur. Nous retiendrons trois types d'indicateurs:

- Un indicateur d'efficacité avec pour objectif coûts, noté I_1 :

$$I_1 = \frac{C_{p.m}}{C_{\text{Déf.évitée}}}$$

$C_{p.m}$ – Coût de la politique de maintenance;
 $C_{\text{Déf.évitée}}$ – Coût de la défaillance évitée.

- Un indicateur d'efficacité avec pour objectif disponibilité, noté I_2 :

Il est obtenu à partir l'estimateur bayésien de disponibilité déduit de la fonction de densité de probabilité a posteriori de disponibilité obtenu au paragraphe 2.3.4.

$$I_2 = E(D/t, T) = \frac{k+1}{2k+2} {}_2F_1[1, k+1; 2k+3; 1-t/T]$$

(d)_j est la série hypergéométrique de la variable z, de paramètres d, e et f.

Cet estimateur est obtenu pour chacun des états suivants en fonction du nombre de défaillances k obtenu:

- état de fonctionnement en régime nominal avec défaillance sans nuire à la production,
- état de fonctionnement en mode dégradé avec perte de production,
- état d'indisponibilité après défaillance,

En conclusion l'estimateur bayésien de disponibilité dans notre cas va dépendre de l'historique des événements contenant:

- le nombre c représentant le nombre de cycles. Chaque cycle étant constitué d'une période fonctionnement et d'une période de réparation.
- la durée T totale de fonctionnement,
- la durée t totale de réparation.
- Le nombre de défaillance k.

Toutes ces données sont obtenues à partir des données du retour d'expérience du matériel en exploitation.

- Un indicateur de fiabilité

Il est obtenu à partir de l'estimateur bayésien du de taux de défaillance.

$$I_3 = \frac{1}{\hat{\lambda}}$$

$$\text{avec } \hat{\lambda} = E[g(\lambda/k)] = \frac{\beta_0 + k}{\theta_0 + T}$$

Le paramètre (β_0+k) représente le nombre cumulé de défaillances, alors que le paramètre (θ_0+T) représente le temps cumulé de fonctionnement.

5.2.2 Mesure de la pertinence

A court terme, le problème des objectifs face aux moyens. Mettre les moyens nécessaires pour atteindre les objectifs préfixés. L'effectif de maintenance en terme de qualification et de formation, les ressources financières et matériels disponibles Utilisation des techniques APU (Apprentissage par l'Usage et APA(Apprentissage par la Pratique) décrites au niveau de la rubrique 1.3.

A long terme, c'est celui de la pertinence des moyens pour rendre effectifs les objectifs assignés à la maintenance. Par exemple l'objectif de l'amélioration des interventions de maintenance ne doit –il pas s'accompagner de tel plan de formation ou tel niveau de qualification ? Tel objectif de diminution de l'indisponibilité est –il réalisable avec les procédures et la structure qui déclenchent des actions?

Du point de vue décisionnel, on retrouve, à long terme, les décisions d'organisation structurelles et des ressources y afférentes et à l'horizon plus proche d'un an par exemple, des décisions d'allocation des moyens de maintenance en fonction des ressources disponibles et des politiques de maintenance décidées.

On peut mettre en place deux types d'indicateur:

$$I_4 = \frac{\text{temps de formation en maintenance}}{\text{temps de formation en entreprise}} \quad \text{pour le long terme et,}$$

$$I_4^* = \frac{\text{temps actif de maintenance}}{\text{temps actif de disponibilité}} \quad \text{pour le court terme}$$

Les ratios obtenus peuvent constituer des outils précieux pour la recherche d'amélioration. Par exemple:

-pourcentage de temps de maintenance corrective affecté au diagnostic par modification de la conception de certains composants du matériel, par des opérations de formation de certains agents de maintenance.

- pourcentage de temps de maintenance corrective affecté à la réparation proprement dite par une réorganisation de ce type de correctif (information, préparation du travail, apport de moyens logistiques,...).

Toute cette stratégie SOGMBREX ne peut prendre place qu'à partir d'un environnement permettant son épanouissement. Cet environnement appelé en d'autres termes SEOGIE a pour mission d'assurer la pérennité de fonctionnement des équipement de production.

5.3 Support définitif de pérennité de fonctionnement (SEOGIE)

SEOGIE signifie **S**:sortants; **E**: entrants; **O**:Organisation, **G**: Gestion; **I**: interne; **E**: environnement

Tout système d'organisation et de gestion ouvert à l'instar des PME/PMI a des entrées et des sorties matérialisant ses rapports avec l'environnement là où elle se trouve. C'est sur ce modèle que repose toute stratégie d'organisation de la maintenance basée sur le retour d'expérience (SOGMBREX).

Les **sortants** dans le modèle sont les buts ou objectifs globaux de production.

Les **Entrants** sont la technologie de production importée (équipements, pièces de rechange, méthodes de maintenance...).

L'**Organisation** et la **Gestion Interne** sera la recherche d'une organisation structurelle avec les moyens et les ressources de mise en œuvre pour l'acquisition d'une indépendance technique interne des PME/PMI telle que traitée dans le chapitre 2. Celle-ci s'appuiera sur le principe l'élimination de ce qui paraît le moins critique afin d'évaluer les résultats dans un plan très ciblé.

Environnement externe est :

Le système éducatif du lieu d'implantation de la PME/PMI pour l'octroi du personnel qualifié, et, la culture technique. C'est l'adéquation des procédés de maintenance par rapport au milieu physique local naturel.

Chapitre 6 : SOGMBREX-DIMENSION CULTURELLE

6.1 Schéma général inter- relationnel

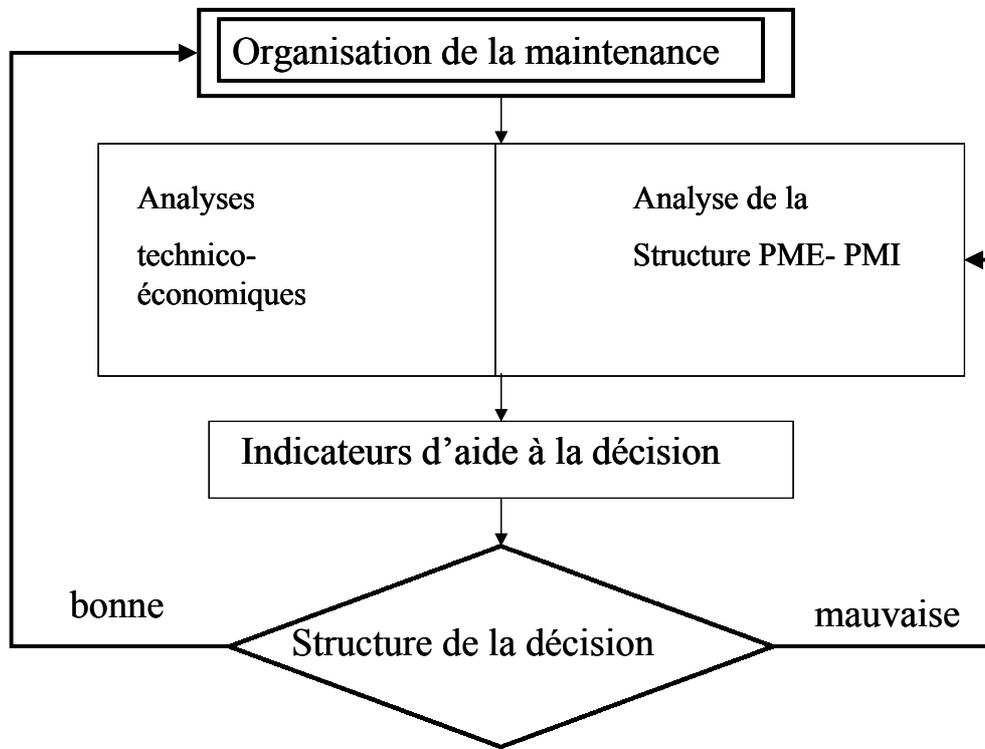


figure 2.14: Schéma général inter- relationnel

Toutes PME, tout équipement, toute usine se décomposent en tâches techniques et tâches de management qui sont les résultats des analyses technico-économique et structurelles (figure 2.14). La technologie de maintenance repose donc sur une dichotomie de tâches qui conditionnent la pérennité de fonctionnement. La remise en état de fonctionnement à partir de la réhabilitation grâce aux APP et APU constitue à notre avis une stratégie originale et efficace de recherche. Elle constitue une stratégie de maîtrise de la technologie des PME/PMI.

Cependant une contrainte majeure doit entourer ce processus original de recherche de la maîtrise de technologie. En effet le principe repose fondamentalement sur une réévaluation des variables du modèle SOGMBREX (Temps, Moyens financiers, moyens humains, résultats à court termes) afin d'obtenir une structure d'aide à la décision favorable à l'objectif de l'étude.

La prise compte de la culture africaine dans nos travaux de thèse permet de circonscrire la théorie dans son champ d'application.

6.2 Prise en compte de la dimension culturelle

Deux niveaux de prise en compte: La conception Africaine de la panne et la gestion Africaine de la PME.

6.2.1 Conception Africaine de la panne

Les travaux de OLOMO et GUILLOU [OLO 87] ont tenté d'analyser les « malentendus » entre la culture technique occidentale et le socle africain car appartenant à deux espaces géographico - culturels différents.

La conception africaine appréhende la panne comme un phénomène subi et qui déclenche plutôt des attitudes de résignation; elle est perçue en Afrique comme une fatalité, une destinée des objets et des choses: ce qui exclut a priori toute action de prévention à son égard. La fatalité de la panne est comparable à celle de la maladie. Les africains n'ont recours au médecin que lorsqu'ils sont malades. Le bilan de santé à titre préventif n'est pas couramment pratiqué; est -ce pour des raisons économiques ? Cet argument ne semble pas le justifier pour expliquer le comportement peu prophylactique des africains. En faisant ce rapprochement culturel, on constate que la maintenance curative correspond le mieux à la mentalité africaine. Comme le dit R.A WALTON [WAL 89] « la panne profite à tout le monde en Afrique »; à la fatalité de la panne s'ajoute donc un deuxième niveau de la manne de la panne.

Pour briser la « manne » de la panne, les exigences éthiques doivent accompagner la méthode. Les personnes chargées de sa mise en œuvre en Afrique doivent être dotées du noble sens de l'ÉTAT et de l'intérêt général. L'importance des enjeux financiers qui entourent les contrats de maintenance et leur application conduit à prôner le choix des hommes honnêtes sans lesquels la méthode ne peut donner les résultats.

6.2.2 Gestion Africaine de la PME

Sur la gestion africaine de la PME, le chef d'entreprise préfère souvent avoir autour de lui un personnel important, comportant des membres de sa famille ou de sa tribu, dont il attend en contrepartie appui et docilité, ce comportement datant depuis la colonisation n'a pas totalement disparu aujourd'hui. Cette culture semble être très poussée dans l'ethnie Bamiléké (une des ethnies majoritaires au Cameroun) où 80% des PME/PMI appartiennent à des promoteurs y émanant. Pour les PME/PMI public leur direction est constitué de hauts fonctionnaires administrateurs civils » confrontés par la continuité de l'état .

Pour l'organisation de la maintenance toutes les ressources humaines doivent être mobilisées en privilégiant le critère de la compétence en fixant les règles de contrôle de la gestion des ressources financières en sanctionnant sans état d'âme ceux qui seraient rendus coupables de telles malversations. La répression ainsi affirmée n'exclut pas en amont l'éloge et la promotion continus des vertus d'honnêteté, d'intégrité et d'abnégation qui contribuent sans doute à l'efficacité de la méthode.

CONCLUSION

En conclusion de cette partie, on peut remarquer que les différentes structures PME/PMI existantes, peuvent s'adapter à la nouvelle structure proposée sans avoir recours à des moyens supplémentaires.

La méthode d'analyse des données par utilisation des techniques bayésiennes permet d'obtenir des résultats susceptibles de mieux organiser la maintenance des PME/PMI. Les analyses sont effectuées au premier niveau aux composants critiques avant de se généraliser sur l'ensemble de l'équipement.

L'évaluation des conséquences économiques nous a permis d'exprimer le coût d'une politique de maintenance, les coûts directs et indirects de maintenance et ceux de remise en marche. Le décideur d'une PME/PMI pourra se servir de ces résultats pour mieux appréhender son budget de maintenance.

Le Processus de prise de décision doit tenir compte des données disponibles et les objectifs de sûreté de fonctionnement de chaque entreprise.

Le processus dynamique de la stratégie SOGMBREX s'effectue par l'articulation entre les trois pôles : les objectifs (organisationnels et technico-économiques), les moyens (ressources et procédure de conduites), et les résultats qui supposent la mise en place des outils, et des indicateurs de mesure de l'efficacité et de la pertinence de la stratégie. Toute cette stratégie SOGMBREX ne peut prendre place qu'à partir d'un environnement permettant son épanouissement appelé en d'autres termes SEOGIE.

La prise en compte de la dimension culturelle en Afrique permet de placer la méthodologie dans le champ d'application des travaux de cette thèse. Car comme le dit R.A WALTON [WAL 89] « la panne profite à tout le monde en Afrique »; à la fatalité de la panne s'ajoute donc un deuxième niveau qui est de la manne de la panne. Cette citation résume la pertinence du contexte que nous ne devons pas négliger si l'on rêve d'une meilleure organisation de la maintenance.

PARTIE III

MISE EN ŒUVRE DE LA STRATEGIE DANS LES PME CAMEROUNAISES

INTRODUCTION	108
Chapitre 1: JUSTIFICATION DU CHOIX DES CONCEPTS THEORIQUES	109
1.1 Résultat de l'enquête	109
1.2 Constat sévère de la maintenance des équipements au Cameroun	111
Chapitre 2: VALIDATION DE LA STRATEGIE A LA CICAM 1	113
2.1 Présentation de la CICAM 1	113
2.2 Etude des équipements de production	113
2.3 Mise en place de la collecte des données du retour d'expérience	116
2.4 Evaluation de la fiabilité	117
2.4.1 Historique faible complétée par l'expertise	119
2.5 Evaluation de la disponibilité	122
2.6 Calcul des conséquences économiques	125
2.6.1 Coefficient d'occupation de la machine	125
2.6.2 Expression de la MTBF et du MTTR	125
2.6.3 Expression de C_u , N_f , C_h	126
2.6.4 Expression des C_d , C_{ind} , et $C_{r,m}$	126
2.6.5 Déduction des conséquences C_1 , C_2 , C_3 , C_4	126
2.7 Prise de décision	127
2.7.1 Risque de décision	127
2.8 Conclusion sur la structure de la CICAM 1	129
2.8.1 Structure de la CICAM 1 et la forme structurelle proposée	129
2.8.2 SOGMBREX et la CICAM 1	130
Chapitre 3: EVALUATION SEOGIE	132
3.1 Pour la CICAM 1	132
3.2 Pour la CELLUCAM	132
3.2.1 Présentation du contexte	132
3.2.2 SOGMBREX-Echec de la CELLUCAM	133
3.2.3 SEOGIE et CELLUCAM	133
CONCLUSION	136

INTRODUCTION

Cette partie présente la mise en oeuvre de la stratégie préconisée à la partie précédente, dans les PME/PMI Camerounaises.

Le chapitre 1 justifie le choix des concepts théoriques sur la stratégie d'organisation de la maintenance des équipements de production. Un constat sévère de la politique de maintenance appliquée dans PME/PMI camerounaises est faite.

Le chapitre 2 valide la méthodologie par application à la CICAM1. Ce chapitre permet d'appliquer tous les concepts théoriques développés au niveau de la deuxième partie. Cette application nous donne l'occasion de démontrer que l'analyse des données du retour d'expérience par utilisation des techniques bayésiennes est possible dans les PME/PMI lorsque la structure d'entreprise permet leur emploi. Cette structure qui devra obéir au principe de flexibilité, adaptabilité, relativité, et de complémentarité.

Enfin, le chapitre 3 nous permet de valider l'environnement nécessaire (SEOGIE) pour l'application de la méthode SOGMBREX. Le choix de la CELLUCAM est justifié par le fait que la non prise en compte de l'environnement SEOGIE conduit inéluctablement à l'échec de fonctionnement.

Chapitre 1: JUSTIFICATION DU CHOIX DES CONCEPTS THEORIQUES**1.1 Résultat de l'enquête**

Nous avons étalé nos enquêtes au début (juillet 1999) et la fin (Octobre 2003) de la thèse. La fiche d'enquête se trouve en annexe 1. Nous profitons de cette thèse pour remercier toutes les entreprises qui ont répondu à nos multiples sollicitations, en particulier toute la direction industrielle de la CICAM 1.

Le tableau 3.1 présente quelques PME/PMI Camerounaises.

Tableau 3.1 : Présentation de quelques PME/PMI Camerounaises

Nom Activité	Adresse	Raison Sociale	Contact
CICAM 1 Cotonnière Industrielle du Cameroun	B.P 7012 Douala	S.A	340 62 15 340 86 75
CIMENCAM Cimenterie	B.P.1323 Douala	S.A	3390320 3390985
SIC-CACAOS	B.P. 570 Douala	S.A	340 88 10
SOCATRAL Sté Camerounaise de transformation de l'aluminium	B.P.1090 Douala	S.A	342 29 30 346 43 11
CHOCOCAM Chocolat et Confiserie du Cameroun	B.B.275 Douala	S.A	337 66 80 337 60 61
NOSUCA Sucre	B.P 192 Ngaoundéré	S .A	342 22 89
PILCAM Fabrication des piles	B.P. 1916 Douala	S.A	337 81 88 337 94 86
UCB Union Camerounaise de Brasseries	B.B. 638 Douala	S.A	337 58 66 337 07 90
CCC Complexe Chimique Camerounais	B.P 7004 Douala	S.A	337 0030 331 21 22

Le tableau 3.2 nous permet d'avoir quelques indicateurs sur les effectifs, le taux de panne et les coûts de maintenance de quelques PME/PMI Camerounaises.

Tableau 3.2: Effectifs, taux de panne et coûts de maintenance

Entreprise	Effectifs			Taux de panne %	Coûts de maintenance (Millions de Francs CFA)			
	Totaux	Maintenance	Ratio %		Pièces de rechange	Main d'œuvre	Achats équipement	Coûts indirects
CICAM	430	52	8.2	40	59	67	185	600
CIMENCAM	480	51	9.4	51	60	70	200	653
SIC-CACAOS	162	5	32	33	60	70	195	655
SOCATRAL	139	10	13	45	70	73	220	670
CHOCOCAM	208	25	8.3	43	55	60	175	600
NOSUCA	139	15	9.2	30	50	57	187	400
PILCAM	269	15	17.9	20	60	57	150	600
UCB	389	35	11.1	30	45	55	195	300
GRUMCAM	401	35	11.4	27	35	60	170	500
CCC	466	35	13.3	30	40	58	180	550

Il apparaît que les effectifs de maintenance représentent près de 13.38 % des effectifs totaux. La corrélation entre effectif de maintenance et effectifs totaux est difficile à établir. Cet axe d'analyse ne nous semble pas le plus approprié dans le cadre de notre thèse.

Le taux de panne cumulé est obtenu en faisant le ratio du nombre d'heures de panne sur le nombre total d'heures de fonctionnement multiplié par cent. Ce taux varie entre 51% et 20%. en faisant une comparaison du fait que le taux de panne des pays développés varie entre 5% et 3% !!![MON 87].

Les coûts de maintenance sont liés aux pannes. Les coûts indirects, c'est dire pertes liées à l'immobilisation des équipements de production sont supérieures à la somme des coûts directs. Ceci justifie l'importance de l'utilisation des concepts théoriques de cette thèse.

1.2 Constat sévère de la maintenance des équipements au Cameroun

La plupart des usines ne tournent qu'à 40% ou 50% de leur capacité. Le parc d'équipements est désorganisé, prématurément vieillis ou cannibalisés, l'exploitation des machines va jusqu'aux limites de leur possibilité, au-delà même des règles de sécurité. Cette situation s'explique par des conceptions suivantes:

La panne est auto-entretenu. Elle profite à tout le monde. Le nombre de personnel de maintenance et de production est pléthorique grâce à la panne sans laquelle ils seraient moins nombreux. Les chefs de travaux de maintenance ou de production trouvent une bonne excuse à la non réalisation de leurs programmes. Les dirigeants en profitent pour couper court à toutes les critiques et à affecter les fonds nécessaires aux achats des matières indispensables à l'exécution des travaux, pour alimenter le fond de roulement de leur gestion. Le pays lui-même obtient des prêts ou des dons pour se ré-équiper en matériel neuf. Les constructeurs des pays développés peuvent, à cause de la série des pannes, à nouveau vendre du matériel et souvent beaucoup de pièces de rechange qui resteraient invendues. Les bureaux d'études et de conseil sont régulièrement appelés pour faire, refaire ou remettre à jour des rapports qui se ressemblent tous. Nous pouvons schématiser le systèmes des « profiteurs de la panne » dans les pays en développement et le Cameroun en particulier comme suit (figure 3.1):

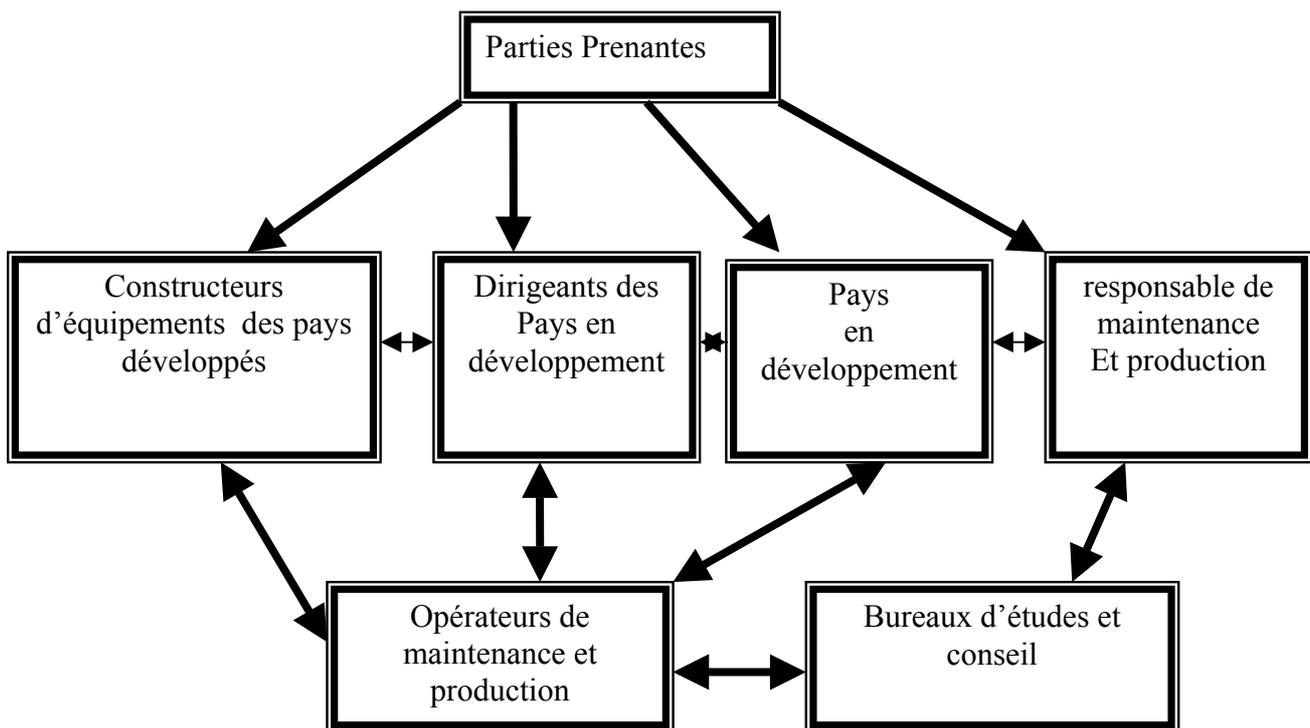


figure 3.1: Système des « profiteurs de la panne »

Ce schéma illustre une imbrication générale de toutes les parties prenantes de la vie d'un équipement de production. Tout le monde profite d'une mauvaise organisation de la maintenance. Lutter contre un système aussi pervers et un tel cercle vicieux n'est pas chose aisée. Il s'agit donc d'une gangrène qui fait autant de ravages que la corruption. Cependant, il faut tenir compte d'une donnée nouvelle dans les relations Pays Industrialisés(P.I)-Pays en développement (P.E.D): les fonds qui sont désormais affectés aux P.E.D. sont contrôlés dans

leur gestion par les pays industrialisés eux-mêmes. Ceci peut fragiliser le cercle vicieux décrit précédemment. La politique d'organisation de la maintenance des équipements doit intégrer aussi bien les constructeurs d'équipement que leurs exploitants localisés dans les P.E.D.

Chapitre 2 : VALIDATION DE LA STRATEGIE A LA CICAM 1

2.1 Présentation de la CICAM 1

La Cotonnière Industrielle du Cameroun (CICAM 1) fait essentiellement de la teinture et de l'impression des tissus pour la production des pagnes, des fibres synthétiques, et des fibres de coton. Le fonctionnement en 3x8h de l'usine CICAM 1 implique une forte disponibilité des moyens de production. Cet engagement permanent des machines requiert une politique de maintenance exclusivement préventive. Avant notre étude, les plans de maintenance préventive existaient déjà à l'usine; mais, ils manquaient de méthodologie, rigueur et suivi, d'où le mécontentement permanent de la production.

La relance économique observée oblige la CICAM 1 à mieux organiser et gérer la maintenance de ses moyens de production. Nous avons mis la démarche MBF en place pour mieux asseoir cette organisation.

2.2 Etude des équipements de production

Au cours de cette étude, tous les équipements de production de la CICAM 1 furent inventoriés, classés et codifiés avec la collaboration des groupes MBF mis en place dans le cadre de la politique générale de la société. Il est important de noter que la direction de la CICAM 1 a présenté les objectifs du projet, la politique qu'elle compte appliquer pour favoriser la participation de l'ensemble des services. Cette première approche a été facilitée par la collaboration parfaite des responsables de maintenance, de production et de qualité de l'usine.

Une telle démarche permet d'obtenir le soutien de tous, essentiel à la perpétuation de la méthode MBF [ZWI 96]. Il faut noter qu'il existait à la CICAM 1, un plan de maintenance préventive, mais inadapté par rapport aux exigences de la production, au régime de fonctionnement des machines et au caractère spécifique d'organisation des PME et PMI.

Les informations partielles reçues de l'avis des experts ne pouvaient pas nous permettre de procéder au principe de limitation de l'étude. Le choix du premier site d'étude et la sélection des équipements critiques se sont faits à l'aide de la méthode de Pareto [LAN 96]. Les critères pris en compte sont : la disponibilité, et la qualité. La mise en place de cette méthode a été facilitée par l'exploitation du cahier de quart du service entretien pendant la période de juin 1997 à janvier 1999.

L'étude à l'aide de la méthode de Pareto [EFA 03] a montré que les Rotatives, les Rames, la Gyrostock, la Benninger et la Laveuse SAIC sont les équipements critiques de la CICAM1. Par conséquent l'étude MBF doit se faire en priorité sur ces équipements.

La Rotative fait partie du secteur impression et les Rames du secteur Finissage (Annexe 3). Ce sont les machines critiques pour la société. La Rotative n'est utilisée que pour les tissus exigeant une impression. Par contre, tous les types de tissus ont pour passage unique et obligé les Rames où s'effectuent les opérations de séchage, naphtolage, apprêts et misage. C'est la raison pour laquelle, l'étude de la Rame V a été effectuée en premier. Néanmoins, une étude similaire est prévue pour la Rotative. La MBF proprement dite a commencé avec le groupe pilote [RIC 96] qui a procédé à une décomposition fonctionnelle de l'équipement Rame V et poursuivi par une décomposition organique (Tableau 3.3). Le groupe équipement a listé les différentes défaillances et leurs causes. Ce groupe est constitué du personnel de maintenance travaillant sur le site et d'opérateurs qui utilisent quotidiennement l'équipement en question.

Tableau 3.3: Extrait de la décomposition organique des équipements de la Rame V

DECOMPOSITION ORGANIQUE DES EQUIPEMENTS					
F4					
Projet : CICAM 1			Secteur : FINISSAGE		
Equipement : RAME V			Date : 7 FEVRIER 1999		
F	Fonctions de l'équipement	SE	Sous-ensembles		Elément Maintenable
1	IMPREGNATION DU TISSU	1.1	FOULARD 1	1.1.A	Rouleau oscillant (compensateur)
	(Combiné d'entrée)			1.1.B	Pignons de transmission
				1.1.C	Chaîne de transmission
			
		1.2	FOULARD 2	1.2.A	Rouleau oscillant (compensateur)
				1.2.B	Moto-réducteur (MCC)
				1.2.C	Chaîne de transmission

L'analyse et la hiérarchisation des défaillances de la Rame V sont réalisées à partir de la méthode "Analyse des Modes de Défaillance, leurs Effets et de leur Criticité" (AMDEC). Cette méthode consiste à analyser toutes défaillances potentielles des équipements. Leurs causes et leurs effets sont également recherchés et hiérarchisés en fonction de la fréquence d'apparition des défaillances et de la gravité des effets (Tableau 3.4).

Tableau 3.4: Extrait de l'AMDEC de la Rame V

ANALYSE DES MODES ET CAUSES DE DEFAILLANCES ET LEURS EFFETS								
F5								
Projet: CICAM 1					Secteur: FINISSAGE			
Equipement: RAME V					Date: 10 FEVRIER 1999			
Eléments	MD	Modes de défaillance	CD	Causes de défaillance classées	Effets de la défaillance			
						G	F	C
Chaîne de transmission	1.2	Absence d'alimentation	1.2.A	Chaîne coupée	Arrêt machine	4	1	4
Moto réducteur	1.2	Absence d'alimentation	1.2.B	Disjonction du moteur	Arrêt machine	4	3	12

Suite aux analyses précédentes, pour chaque cause de défaillance retenue, une action de maintenance a été entreprise (Tableau 3.5). Il ressort de ce tableau que la défaillance critique de la RameV est le dérèglement des tâteurs guide-lisière.

Tableau 3.5: : Extrait des planifications, tâches et décisions.

DECISIONS / TACHES / PLANIFICATION					
F6/F7					
Projet :CICAM1			Secteur : FINISSAGE		
Equipement:RAMEV			Date : 13 FEVRIER 1999		
MD	CD	Eléments	Tâches proposées	Intervalle préventif	Spécialisation
1.2	1.2.A	Chaîne de transmission	Vérification de la tension, du jeu entre les maillons, de l'état des dentures des pignons. Graissage de la chaîne.	Mensuel	Maintenance
1.2	1.2.B	Moto réducteur	Vérifier la rotation du moteur, l'état de l'accouplement. Nettoyer le moteur.	Mensuel	Maintenance

Les actions de maintenance à entreprendre sont définies en fonction du type de conséquence sur l'équipement grâce à un logigramme de décision [RIC 96] figure 3.2.

Le principe de limitation de l'analyse a permis d'obtenir un plan de maintenance optimal dans un minimum de temps. L'analyse MBF de cet équipement a été réalisée en deux semaines.

L'observation du Tableau 3.5 nous permet de retenir un certain nombre d'actions de maintenance préventive :

- L'élaboration des gammes de maintenance Préventive comprenant des plannings de contrôle pour le service maintenance et des Check-lists d'opération pour les opérateurs de production. Ceux-ci ont désormais la responsabilité de la majorité des tâches de maintenance de premier niveau, en conformité avec l'accumulation des fonctions prônées par les PME et les PMI.
- L'amélioration des équipements afin que certaines défaillances ne puissent plus se produire par une connaissance poussée de l'outil de production.

Composant Critique: Tâteurs guide - lisières

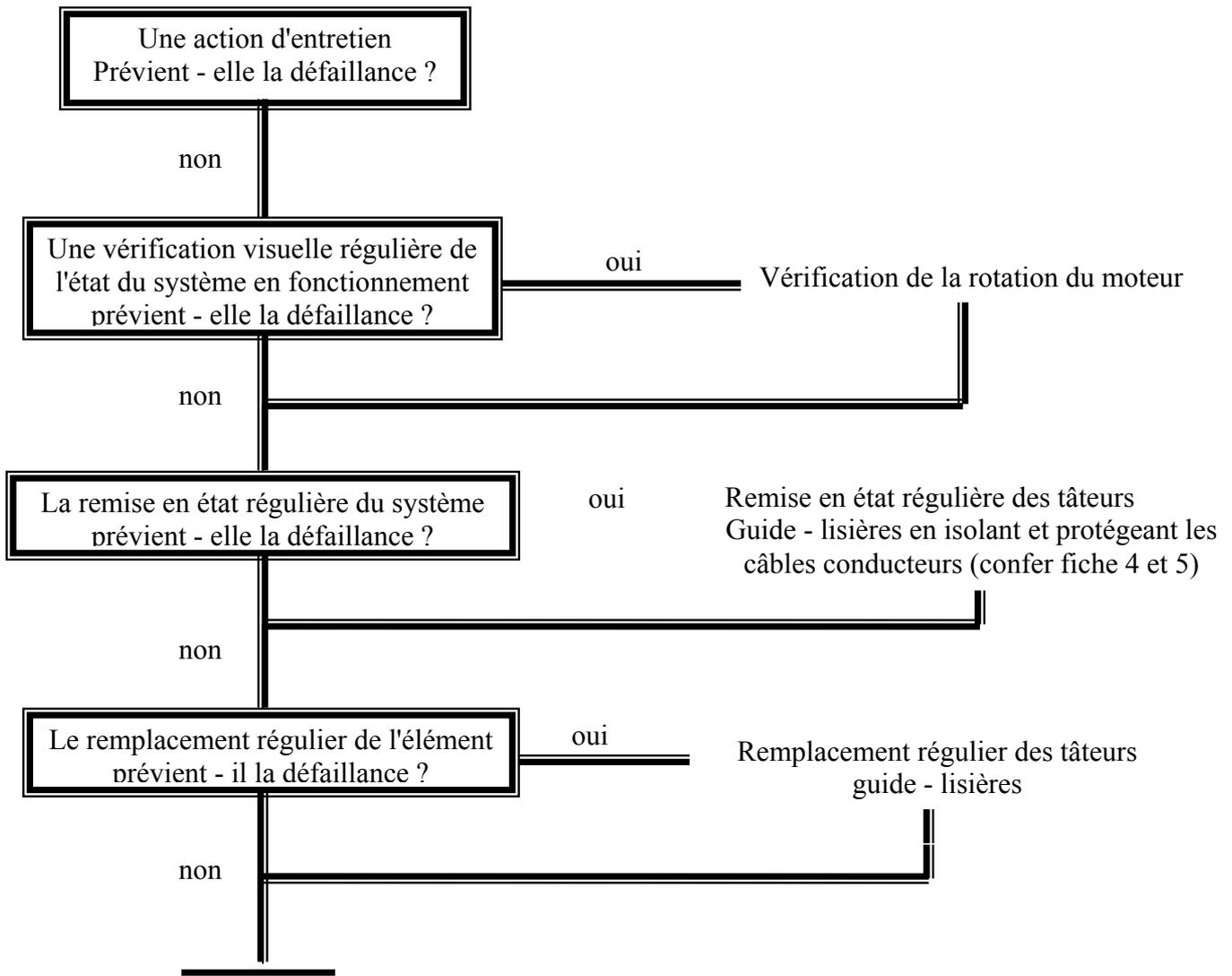


Figure 3.2: logigramme de décision des tâches de maintenance

2.3 Mise en place de la collecte des données du retour d'expérience

Les fiches de contrôle remplies par l'opérateur de la machine d'une part et les techniciens de maintenance d'autre part constituent les rapports d'intervention. Les fiches de rapport d'intervention ont été conçues de façon à ce que les techniciens ne recueillent que les informations nécessaires [RIC 96].

Suite au chemin de ronde, les interventions peuvent être déclenchées à l'aide d'une fiche spéciale offrant une analyse causale nécessaire au retour d'expérience. Il ressort qu'à partir du mois de février 99, mois d'application de la méthode MBF, le nombre d'heures du composant critique ont diminué considérablement (environ 75 %) par conséquent ceux de la RAME V. De plus, les actions de maintenance préventive sont stables et optimisées.

Cette étude préliminaire faite sur l'un des équipements les plus critiques, va se généraliser pour tous les équipements de l'usine.

La MBF est un outil permettant initialement d'élaborer un plan de maintenance préventive. Cependant, cette démarche s'est avérée être positive sur bien d'autres points. Les résultats les plus visibles concernent :

- la répartition des tâches de maintenance.
- la mise en place du processus d'auto-maintenance, car plusieurs opérations de maintenance de premier niveau sont ainsi passées sous la responsabilité des opérateurs de production.
- la participation de toutes les personnes de production et de maintenance.
- la synergie du savoir-faire maintenance et production.
- la mise en place d'un recueil des données du retour d'expérience pour une amélioration continue des plans de maintenance.
- une approche globale d'optimisation de la maintenance des outils de production.
- la modification de l'organisation avec la création d'une nouvelle dynamique dans la société.

L'étude réalisée montre rapidement que l'équipement Rame V se situe sur le chemin critique de production (CCP). Chaque panne de ce sous-ensemble engendre systématiquement un arrêt équivalent à un arrêt total de la production.

Lors des réunions des groupes MBF, l'avis du groupe équipement était unanime sur le mauvais fonctionnement de cet équipement. Les différents avis des experts ont été résumés au tableau 2.3 et 2.4 de la rubrique 2.2 de la partie 2.

2.4 Evaluation de la fiabilité

La méthodologie ainsi que le développement théorique qui ont servi au calcul des paramètres de fiabilité et de disponibilité sont mentionnées à la partie 2, rubrique 2.2 de cette thèse.

Les données du retour d'expérience ayant permis au calcul de la fiabilité et de la disponibilité se présentent comme suit:

L'étude AMDEC de notre équipement nous a permis de faire la hiérarchisation des modes de défaillance grâce à l'estimation de la criticité. Le principe de limitation de l'étude de la MBF nous permet de choisir en premier le mode de défaillance critique qui est l'introduction difficile du tissu dû au dérèglement des tâteurs guide lisière.

Ce mode de défaillance est à l'origine de plusieurs causes avec des effets divers.

Il existe trois causes de défaillances:

1-) le défaut d'isolement des câbles conducteurs qui est la plus fréquente ; (environ 3 cas sur 5);

2-) l'usure de la membrane la moins fréquente ; (environ 1,5 cas sur 5);

3-) les vibrations mécaniques, avec une fréquence d'apparition faible par rapport aux deux autres.(environ 0.5 cas /5).

La politique de maintenance mise en place à partir de la démarche MBF pour ce mode de défaillance critique est mentionné consulter au le tableau 3.7:

MPS1: maintenance préventive niveau 1 et 2;

MCC: maintenance Curative Corrective;

MPS2: maintenance préventive niveau 3 et 4;

MPC: maintenance préventive conditionnelle;

A partir des rapports d'intervention nous avons classés les historiques des défaillances du composant critique par rapport à leurs causes ce qui donne le tableau 3.6.

Tableau 3.6: Politique de maintenance sur le composant critique de la RAME V

composant critique	Tâches proposées	Décision	Intervalle préventif	responsable
Tâteurs guide lisière	• Vérification de la rotation du moteur	MPS1	2 semaines	Production
	• Contrôle de l'usure de la membrane	MPS1	1 semaine	Production
	• Vérification de l'isolement et protection des conducteurs	MPS2	1 mois	Maintenance
	• Vérification de l'état des roulements et la petite table	MPC	1 mois	Maintenance
	• Remplacement régulier des tâteurs	MPS2	1 an	Maintenance
	• Remplacement en cas de cassure	MCC		Maintenance

Tableau 3.7: Historique des causes de défaillance sur le composant critique de la Rame V.

Causes de défaillances	Heures de pannes	Nombre de pannes	Heures de défaillance sans arrêt	Nombre de pannes sans arrêt	Heures de réparation	Nombre de réparations	Nombre total d'heures de fonctionnement.
Défaut d'isolement des câbles C ₁	10	7	0	0	12	7	6575
Usure Membrane C ₂	6	4	0	0	6	4	-//-//-
Vibrations C ₃	2	1	6	5	10	3	-//-//-

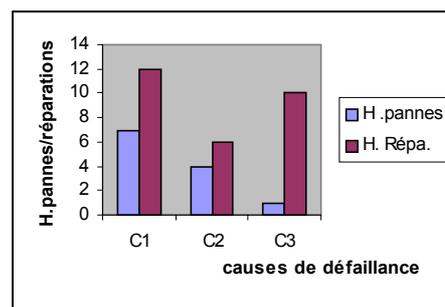
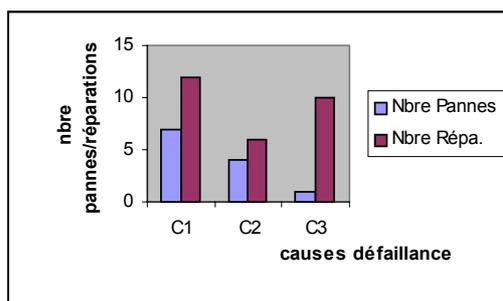


figure 3.3: Représentation de l'historique des causes de défaillance en fonction du nombre de pannes et de réparations (graphique A) et du nombre d'heures de pannes et de réparations (graphique B).

2.4.1 Historique faible complétée par l'expertise

Les résultats obtenus au tableau 3.8 représente les calculs effectués à partir de ces données du retour d'expérience recueillies à la CICAM 1 et complétées par les avis des experts du tableau 2.3 et 2.4 de la deuxième partie. C'est le cas d'analyse des données le plus représentatif pour la CICAM 1. Pour chaque cause de défaillance, nous obtenons l'estimateur ponctuel bayésien du taux de défaillance et, évaluons la fiabilité de notre composant critique. Les graphiques 3.1, 3.2, 3.3, présente le tracé des distributions a priori, vraisemblance et a posteriori de chaque cause de défaillance C₁, C₂, C₃.

Les différentes distributions de densité de probabilité du taux de défaillance des causes 1,2,3 sont obtenus pour la densité a priori par la formule [2.12], la vraisemblance [2.13] et a posteriori [2.14].

Tableau 3.8: Les différentes valeurs de la fonction de densité de probabilité a priori, vraisemblance et densité de probabilité a posteriori du taux défaillance des Ci.

<i>paramètres</i>	<i>A priori</i> $f_0(\lambda)=$	<i>Vraisemblance</i> $f(k/\lambda)=$	<i>A posteriori</i> $g(\lambda/k)=$
C_1	$7,1.10^{13} \lambda^3 e^{-4554\lambda}$	$\lambda^7 e^{-6575\lambda}$	$8,9.10^{37} \lambda^{10} e^{-11129\lambda}$
C_2	$1,2.10^6 \lambda^{0,8} e^{-2318\lambda}$	$\lambda^4 e^{-6575\lambda}$	$9,3.10^{20} \lambda^{4,8} e^{-8893\lambda}$
C_3	$6411 e^{-6411\lambda}$	$\lambda e^{-6575\lambda}$	$1,6.10^8 \lambda e^{-12986\lambda}$

De même l'estimateur bayésien est obtenu à partir de la formule 2.15 et les paramètres a priori par les considération du paragraphe 2.2.1. Les résultats sont mentionnés au tableau 3.10.

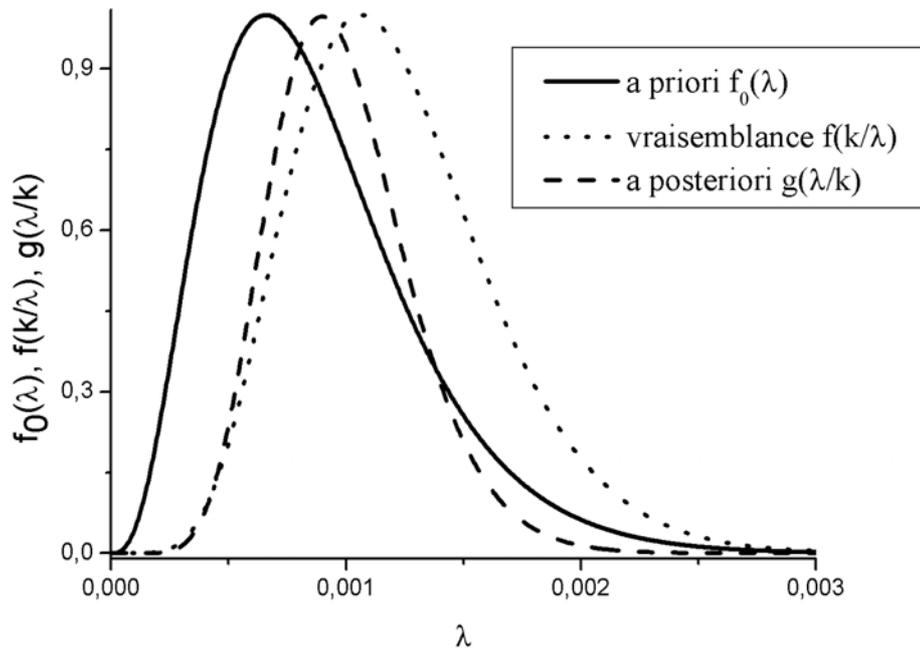
Tableau 3.9: tableau présentant les résultats du calcul de la fiabilité

Paramètres	T(h)	k	quantile	λ (déf/h)	β_0	θ_0	$\hat{\lambda}$ $\hat{\lambda}_{\text{déf/h}}$	R(T)	P(D/C)
C_1	6575	7	90%	$10,6 \cdot 10^{-4}$	4	4554	$9,8 \cdot 10^{-4}$	$15,9 \cdot 10^{-4}$	0,998
C_2	6575	4	90%	$6,08 \cdot 10^{-4}$	1,8	2318	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$13,9 \cdot 10^{-3}$	0,987
C_3	6575	1	90%	$1,52 \cdot 10^{-4}$	1	6411	$1,54 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,64

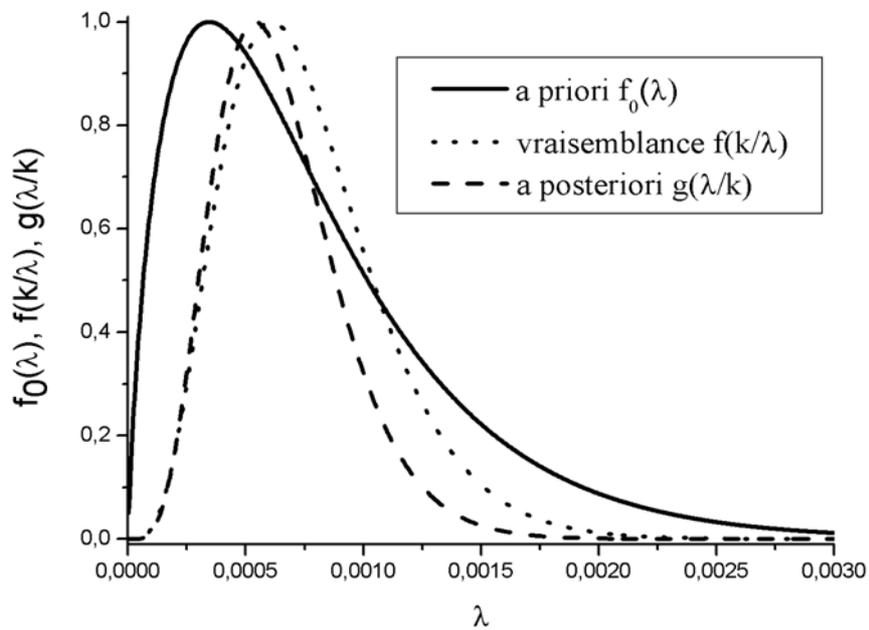
Le graphique 3.5 pour la cause de défaillance une (C_1) montre que les données du retour d'expérience viennent confortées les avis des experts. Dans ce cas les prévisions sur le comportement futur de l'équipement de production peuvent être considérées avec soin pour les décideurs de la CICAM 1.

Le graphique 3.6 est interprétée de la même manière que le graphique 3.5.

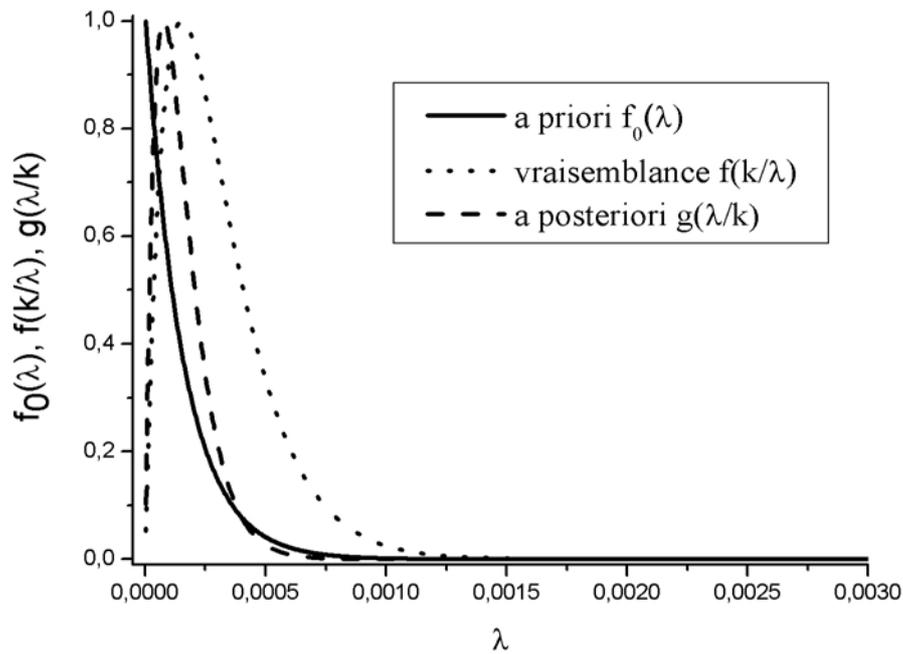
Pour le graphique 3.7 le retour d'expérience vient corriger les connaissances a priori des experts. Ce qui démontre l'importance de prendre en considération ce type de données.



graphique 3.1 : Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 1



graphique 3.2: Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 2



graphique 3.3: Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 3

2.5 Evaluation de la disponibilité

En premier lieu nous allons tout d'abord obtenir le tracé de la vraisemblance (figure 3.4) à partir de l'équation de la fonction de vraisemblance (2.42) de disponibilité qui varie à l'aide de deux paramètres λ et μ . La variation de ces deux paramètres est donnée par les tableaux 2.2 et 2.3 de la deuxième partie de cette thèse.

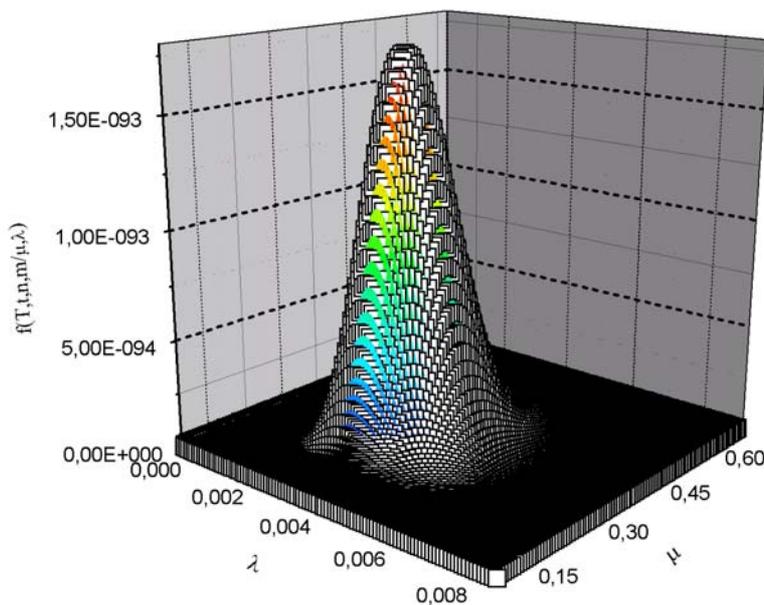


Figure 3.4: tracée de la fonction de vraisemblance de disponibilité

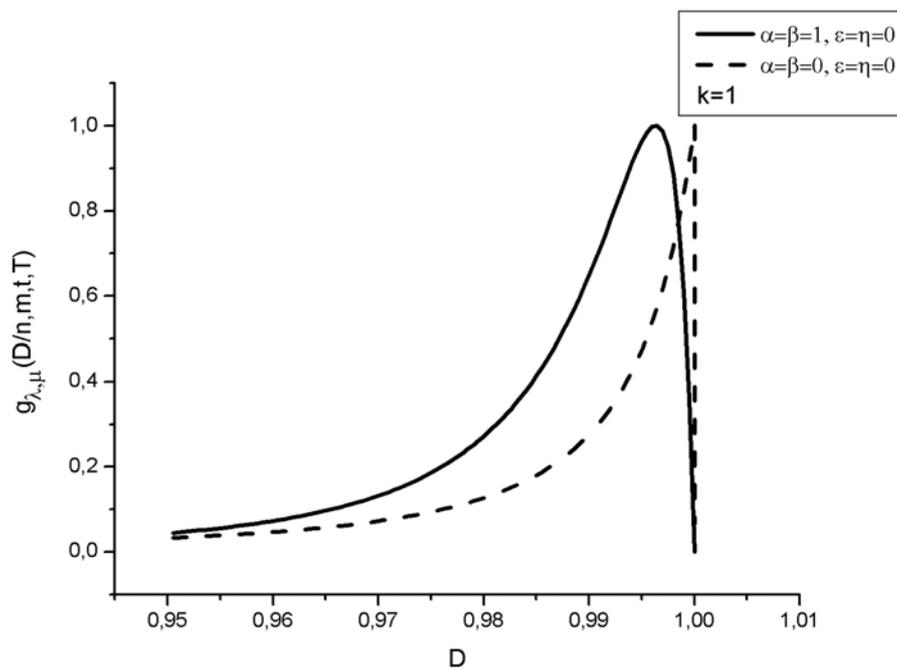
En deuxième lieu nous allons tracer la fonction de densité de probabilité de disponibilité a posteriori à l'aide des valeurs de k , historique de la CICAM 1 contenu dans le tableau 3.8. k_1 représente le nombre de défaillance sans nuire à la production, k_2 , nombre de défaillance en régime nominal avec perte de l'allure de production, k_3 , nombre de défaillance avec perte de production, k_4 , nombre de défaillance avec arrêt de production.

Le tableau 3.10 représente quelques éléments de l'historique de la Rame V de la CICAM 1 permettant l'obtention de la disponibilité bayésienne.

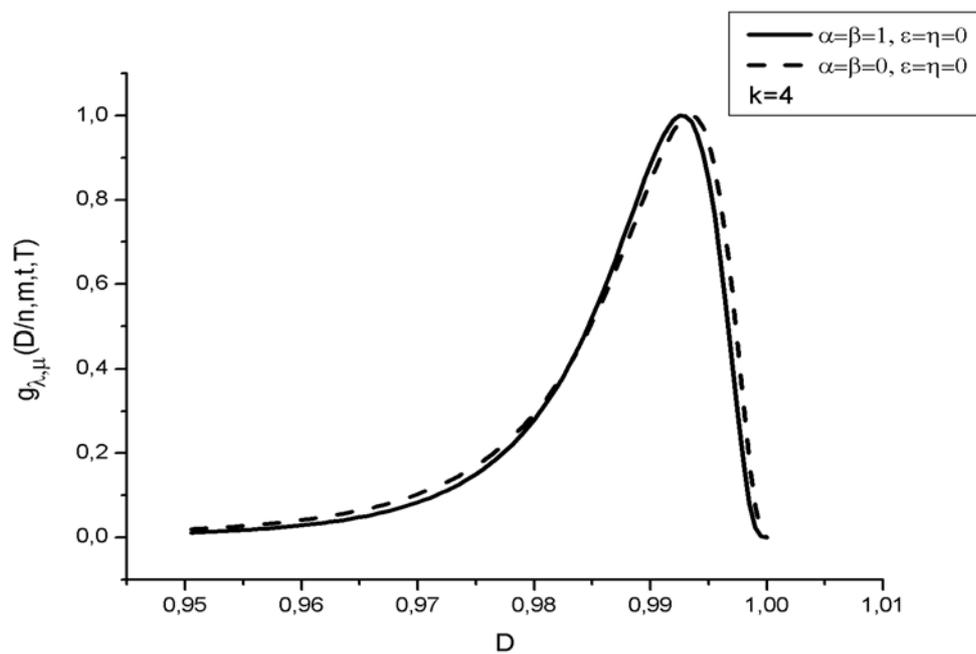
Tableau 3.10: Historique rame V

	T(h)	t(h)	m	n	k_1	k_2	k_3	k_4
C1	6575	72	24	24	1	4	5	7

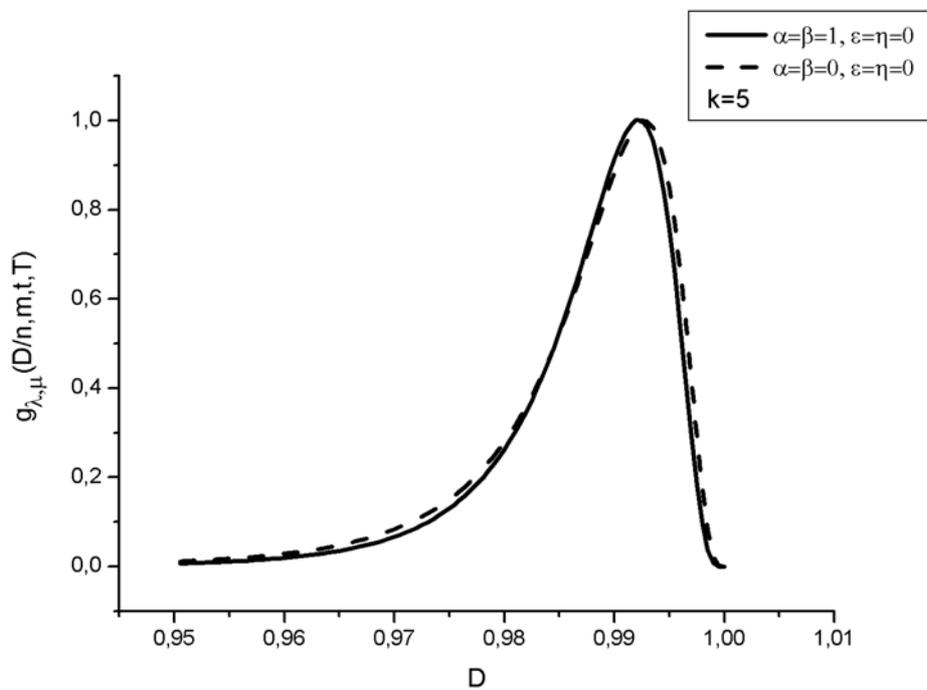
Les courbes des figures de 3.4 à 3.7 représentent les distributions a posteriori de disponibilité pour différents cas de situation de l'a priori en rapport avec le nombre de défaillance obtenu.



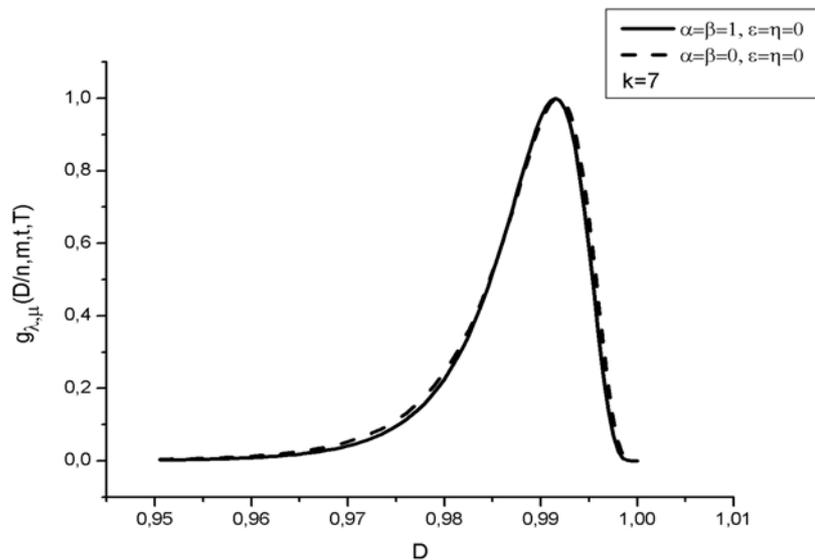
graphique 3.4: Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour $k=1$ et a priori uniforme informative et non informative



graphique 3.5: Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour $k=4$ et a priori uniforme Informative et non informative



graphique 3.6: Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour $k=5$ et a priori uniforme Informative et non informative



graphique 3.7: Tracé de la distribution de disponibilité a priori pour $k=7$ et a priori uniforme Informative et non informative

A partir de ces différentes figures (3.4 à 3.7) nous constatons que plus k devient grand, plus on obtient une valeur réaliste de la disponibilité. L'utilisation de la distribution a priori uniforme informative et non informative n'a plus d'influence car équiprobable sur toutes les valeurs de disponibilité, ce qui laisse plus de poids aux observations du retour d'expérience recueillies.

2.6 Calcul des conséquences économiques

2.6.1 Coefficient d'occupation de la machine

L'équipement soumis à notre étude a une période d'ouverture de $3*8$ h, c'est à dire 144 heures par semaine, soit 576 heures d'ouverture par mois. A l'aide de l'observation de notre retour d'expérience, nous avons $T = 6575$ heures de fonctionnement pour 23 mois:

A l'aide de la relation [2.56] nous déduisons le coefficient d'occupation moyen :

$$\omega = 0,49.$$

2.6.2 Expression de la MTBF et du MTTR

Ce calcul s'effectue grâce à la relation [2.52].

Tableau 3.11 : calcul de la MTBF et du MTTR

	MTBF(h)	MTTR (h)
Cause 1	939	2
Cause 2	1643	1.30
Cause 3	6575	4

2.6.3 Expression de C_u , N_f , C_h .

Un tissu pagne (4 yards) coûte sur le marché camerounais en moyenne 50 F.F, donc :

$$C_u = 8 \text{ Euros};$$

En supposant qu'avec une heure de fonctionnement de la Rame V nous avons une production de 32 yards de tissu. (confirmer par le responsable de la production de l'entreprise).

Nous pouvons déduire les différents paramètres :

$$N_f = 8 \text{ tissus pagne};$$

D'où: grâce à a relation [2.57] et [2.58], nous obtenons :

$$C_{h1} = 30 \text{ Euros}$$

$$C_{h2} = 60 \text{ Euros}$$

2.6.4 Expression des C_d et C_{ind} et $C_{r.m}$

Les expressions[2.50] [2.54],[2.55][2.59] permettent de faire ces différents calculs.

Tableau 3.12: Calcul de C_d et C_{ind} et $C_{r.m}$

	Cause 1	Cause 2	Cause 3
C_{d1}	x	x	x
C_{d2}	y	y	y
C_{ind1}	0	0	90
C_{ind2}	303	178	59
$C_{p.m}$	$10^{-3}(x+y)$	$610^{-4}(x+y)$	$1.510^{-4}(x+y)$
$C_{r.m}$	60	60	120

Remarque : Le retour d'expérience nous indique qu'il n'y a pas eu de fonctionnement en mode dégradé pour les causes de défaillance 1 et 2 .

Donc $C_{d1} = C_{d2} = 0$ parce que $x = 0$.

2.6.5 Déduction des conséquences C_1 , C_2 , C_3 , C_4

Grâce aux relations[2.46],[2.47],[2.48][2.49] nous obtenons les différentes conséquences économiques résumées au tableau 3.12.

Tableau 3.13: déduction des conséquences économiques

	Cause 1	Cause 2	Cause 3
C ₁	$10^{-3}.y$	$6.10^{-4}.y$	$1.510^{-4}(x+y)$
C ₂	$10^{-3}.y$	$6.10^{-4}.y$	$1.510^{-4}(x+y)+x$
C ₃	$10^{-3}.y$	$6.10^{-4}.y$	$1.510^{-4}(x+y)+x+210$
C ₄	$10^{-3}.y + y + 363$	$6.10^{-4}.y + y+238$	$1.510^{-4}(x+y)+y+179$

Si les valeurs de x et y sont fixés, nous pourrions obtenir les valeurs numériques permettant l'expression de l'allure des conséquences économiques de notre modèle

L'application se fait sur la cause de défaillance une, étant donné qu'elle se fait de la même manière pour la cause 2 et 3.

2.7 Prise de Décision

2.7.1 Risque de décision

Pour l'obtenir il faut d'abord calculer les différentes pertes associées pour une des causes de défaillance à l'aide des considérations du paragraphe 2.5.3 qui dit que la valeur de la fonction de perte est le produit de toutes les probabilités multiplié par les conséquences économiques.

Sachant que:

La Fiabilité que l'on peut avoir dès que la cause de défaillance 1 se manifeste est mentionnée au tableau 3.10.

La probabilité des effets d'une défaillance donne la disponibilité attendue exprimée à l'aide des valeurs de la courbe 3.7 pour le cas de la cause de défaillance 1. Nous considérons la valeur moyenne $D=0.99$.

Les conséquences économiques sont données à l'aide du tableau 3.12.

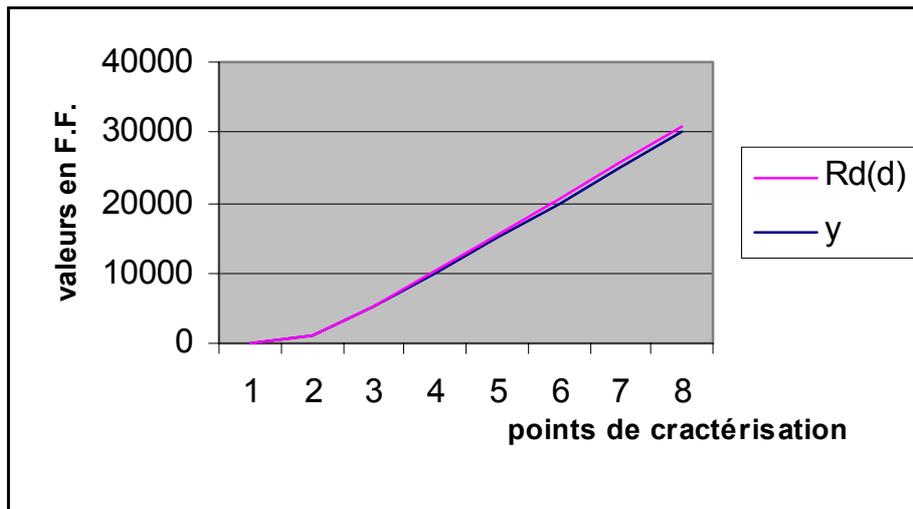
A partir de la relation [2.61], le résultat pour la cause de défaillance 1 est mentionné au tableau 3.14.

Tableau 3.14: Expression de l'espérance

	L ₁ (d)	L ₂ (d)	L ₃ (d)	E[l(d)]
Cause 1	$15.7y.10^{-7}$	$15.7y.10^{-7}$	$15.7y.10^{-7} + 0.57$	$45y.10^{-7}+0.57$

Nous avons une variation linéaire du risque de la décision de maintenance $R_d = E[l(d)]$ en fonction des coûts de maintenance.

Si nous prenons par exemple quelques points pour caractériser R_d et y nous avons:



graphique 3.8: Caractérisation de R_d et y .

Remarque : y représente

- Les coûts de la main d'œuvre,
- Les coûts pour l'utilisation de l'outillage de maintenance,
- Le coût de l'énergie (eau, air, électricité),
- Le coût des huiles,
- Le coût des consommables,
- Etc...

Nous obtenons l'évolution du risque de la décision de maintenance avec les coûts de maintenance. Nous pouvons dire que:

1. Cette évolution est proportionnelle,
2. Qu'il n'y pas de risque zéro pour une politique maintenance,
3. L'utilisation de n'importe quel décision de maintenance entraîne un certains coût.
(Dans notre exemple au point 1 : $y = 0$ et $R_d = 0.57$).

2.8. Conclusion sur la structure de la CICAM 1

2.8.1 Structure de la CICAM 1 et la forme structurelle proposée

La figure 3.5 présente la forme structurelle de la CICAM 1.

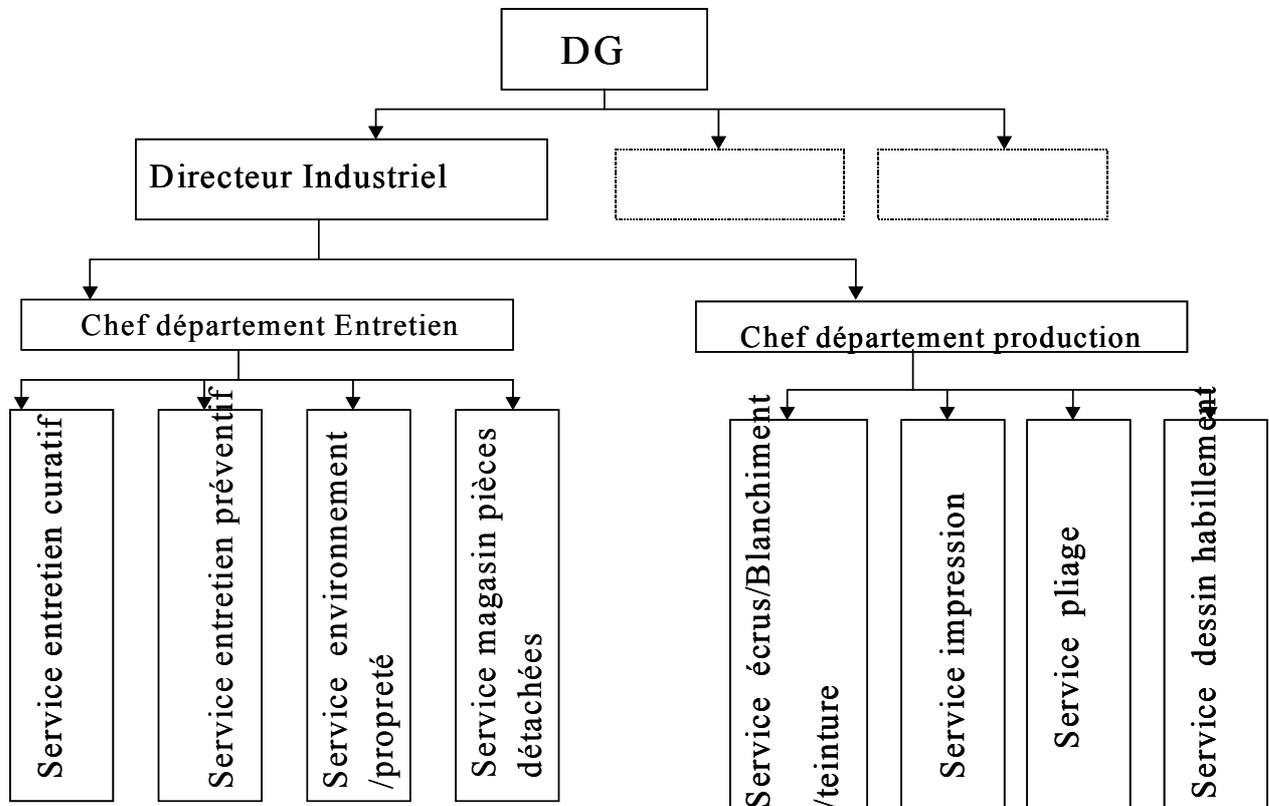


Figure 3.5: Structure de la CICAM 1

Cette structure ressemble au modèle 1 : structure hiérarchique qui est caractérisée par :

- la centralisation des décisions,
- un subordonné n'a qu'un seul chef,
- le chef donne des instructions et le subordonné exécute,
- la communication entre les services est verticale,
- il y a pas de contact latéraux entre service,
- les tâches sont spécialisées,
- la rigidité dans la manière de fonctionner,
- seul le D.G a une vision générale de l'entreprise.

Cette structure ne répond pas aux exigences de la structure idéale proposée mais la CICAM 1 gagnerait en faisant évoluer leur structure pour obtenir des meilleurs résultats. Par exemple elle favorisera:

1. Une bonne connaissance du matériel, de sa technologie, de ses points faibles et de sa vie (utilisation, incidents).

La rapidité d'exécution des tâches de maintenance, ce qui entraînera une bonne disponibilité du matériel.

3. Les contacts permanents entre techniciens de maintenance et production, mais sans dépendance hiérarchique. Ceci aura pour effet d'entraîner une concertation « maintenance- production » et facilitée, la cohérence de la politique de maintenance avec la création des groupes autonomes de productions.

2.8.2 SOGMBREX et la CICAM 1

Le processus dynamique de la méthodologie SOGMBREX s'effectue par l'articulation entre la structure et les différentes analyses qui en découlent. L'analyse de la structure s'est faite au paragraphe 1.8.1. Les indicateurs techniques obtenus sont:

- L'indicateur d'efficacité avec pour objectif coûts, noté I_1 :

$$I_1 = \frac{C_{p.m}}{C_{Déf.évitée}} = \frac{0.36}{360} = \frac{1}{1000}$$

En prenant les considérations du paragraphe 1.6.3 de cette troisième partie, nous pouvons estimer le coût direct de défaillance pour la cause 1 qui a 10 heures d'arrêt et le coût de la politique de maintenance s'obtient grâce à l'expression [2.50].

De ce résultat nous pouvons conclure que pour une politique de maintenance qui coûte 1 euro nous évitons une défaillance qui pouvait entraîner une défaillance de 1000 euros. Raison pour laquelle nous pouvons continuer à appliquer cette politique de maintenance.

- L'indicateur d'efficacité avec pour objectif disponibilité, noté I_2 :

Il est obtenu à partir de l'estimateur bayésien de disponibilité déduit de la fonction de densité de probabilité a posteriori de disponibilité obtenu au paragraphe 2.3.4. Pour la cause de défaillance 1 il sera:

$$I_2 = E(D/t, T) = 0.99$$

Ce résultat nous permet de constater une très bonne disponibilité de notre équipement de production.

- L'indicateur de fiabilité

Il est obtenu à partir de l'estimateur bayésien du de taux de défaillance. Pour la cause de défaillance 1 nous aurons :

$$I_3 = \frac{1}{\lambda} = 10000 \text{ heures}$$

Ceci se traduit par le fait qu'il faut 10000 heures de fonctionnement pour avoir une défaillance pouvant provenir de la cause 1.

- ***L'indicateur de pertinence de la stratégie***

$$I_4 = \frac{\text{temps actifs de maintenance}}{\text{temps actifs de disponibilité}} = 15 \cdot 10^{-4}$$

Ceci signifie que le temps de disponibilité est largement supérieur au temps de maintenance. Ce qui justifie une bonne politique de maintenance.

Avec le résultat de ces différents indicateurs (I_1, I_2, I_3, I_4), nous pouvons conclure que la stratégie de maintenance adoptée à la CICAM 1 est bonne et que le risque de décision de la politique de maintenance systématique adoptée est inférieure au coût de la défaillance que l'on évite. D'où le maintien de cette politique. Il ne reste plus qu'à faire évoluer cette structure vers le modèle structurel proposé pour avoir de meilleurs résultats.

Chapitre 3 : Evaluation SEOGIE

3.1 Pour la CICAM 1

L'environnement d'exploitation (**SEOGIE**) de la CICAM1 se présente comme suit:

Au niveau des Sortants (S), la CICAM 1 est implantée à Douala ville industrielle du Cameroun et poumon économique des états de l'Afrique Centrale. Son niveau de vente génère des bénéfices qui justifie son implantation.

Quel enseignement en tirer au niveau des Entrants (E)?

Pour les Entrants (**E**), la CICAM 1 a un contrat d'assistance technique avec une société Française (DMC) pour l'achat des pièces de rechange et des nouvelles machines. En dehors de ce contrat, elle utilise la main d'œuvre locale pour la fourniture des pièces de rechange et consommables. Principe recommandé par l'environnement **SEOGIE**.

Au niveau du système d'Organisation (O) et Gestion (G) Interne(I).

L'Organisation et la Gestion Interne (**OGI**) s'effectue selon le modèle hiérarchique de la figure 3.14. La CICAM 1 pourra obtenir de meilleurs résultats en faisant évoluer la structure vers la forme proposée dans le cadre de cette thèse à la partie 2.

Enfin quelle leçon tirer de L'Environnement(E) externe de la CICAM1 ?

L'Environnement (**E**) de la CICAM 1 est favorable à son épanouissement. Il existe des Ecoles de Formations Supérieures qui peuvent lui mettre à disposition la main d'œuvre qualifié. Il est à noter que lors de la mise en place de la MBF à la CICAM1, l'I.U.T de Douala a mis à disposition à la CICAM 1 deux étudiants en fin de formation Génie Industriel et Maintenance(GIM). Ces étudiants jusqu'à l'heure actuelle y travaillent comme agent de Maîtrise. L'environnement actuel est favorable à son épanouissement.

3.2 Pour la CELLUCAM

3.2.1 Présentation du Contexte

Nous allons examiner le cas d'une usine « **clé en main** », « **produits en main** » et « **marché en main** » ou « **un monstre industriel mort –né** »

La CELLUCAM (Cellulose du Cameroun) entreprise mixte de taille moyenne avait pour promoteur l'Etat Camerounais et pour assistance technique une entreprise Autrichienne avec pour objectif la production de la pâte à papier. Les travaux de J.J. RENAERD dans [REN 86] nous permettent de mieux comprendre le contexte.

La CELLUCAM a connu l'entrée en fonction de son processus de fabrication le 1^{er} avril 1981. A ce moment l'usine tourne à 50% de sa capacité de production. Deux ans seulement après la mise en route, de nombreuses questions ont commencé à surgir :

- Le premier arrêt de l'usine est intervenu en décembre 1982 pour deux raisons :

- Une panne de tuyauterie de la chaudière de récupération, insuffisance générale de maintenance.
 - Manque cruel de fonds de roulement pour appeler immédiatement les experts extérieurs.
 - Manque de main d'œuvre locale adaptée et qualifiée pour palier au problème.
- Le deuxième arrêt de l'usine est intervenue en mars 1983, explosion de l'atelier de préparation du dioxyde de chlore servant au blanchissement de la pâte à papier à la suite d'une défaillance technique.

La fin opérationnelle de l'usine date de 1984 et l'abandon officiel qui intervient en août 1986.

3.2.2 SOGMBREX –Echec de la CELLUCAM

Le cas CELLUCAM est intéressant pour trois raisons:

1. Les défauts de maintenance ont condamné la CELLUCAM à disparaître. Par conséquent, une bonne politique de maintenance devrait éviter sa cessation d'activité.
2. Les enseignements sur son échec peuvent être tirés avec beaucoup de recul.
3. L'importance qu'a pris la maintenance dans la disparition de la CELLUCAM nous conduit à avancer l'hypothèse selon la quelle la maîtrise de la maintenance peut conduire à la maîtrise de la technologie nécessaire au développement des PME/PMI.

Les enseignements de l'échec sont tirés du modèle **SEOGIE** ou se repose la stratégie **SOGMBREX**.

3.2.3 SEOGIE et CELLUCAM

Au niveau des Sortants (S), le chiffre d'affaires est apparu nettement inférieure au seuil de rentabilité pendant les quatre exercices qu'a connus la CELLUCAM.

Tableau 3.15: Résultats financiers de la CELLUCAM

Indicateurs (en millions de CFA)	Exercices			
	81-82	82-83	83-84	84-85
Bénéfices nets	-23.200	-36 559	-34 859	-20.293
Chiffre d'affaires	4 000	3 413	950	18
Capital social	15 000	15 000	20 270	20 270

Production en tonnes	60 000	40 000	21 000	
Rentabilité financière	négative	négative	négative	

Source : BOUTAT : « Technologie et développement au Cameroun. Le rendez-vous manqué. Edition l'Harmattan, P. 184.

Ceux qui veulent en savoir plus peuvent consulter la référence [BOU 89] de nos références bibliographiques.

Les prévisions n'ont pas été correctement établies pour savoir si l'entreprise était en mesure de générer un niveau de ventes pouvant permettre d'engranger des profits. Le second enseignement concerne **les objectifs visés** dans l'implantation de la CELLUCAM au Cameroun, à proximité de la ville d'Edea en pays Bassa. Il s'agissait de maîtriser la technologie de la cellulose, de valoriser les ressources forestières de cette région, l'emploi national et la production de la pâte à papier. Aucun de ces objectifs n'a été atteint. Le but avoué était de former le personnel à la maîtrise de la technologie. Mais, à cause du défaut de pérennité de l'entreprise et d'une absence de vision à long terme, »non seulement les personnels n'ont plus eu l'opportunité d'appliquer le savoir-faire qu'ils auraient «éventuellement acquis», mais surtout le laps de temps ayant séparé l'entrée en opération de l'usine et sa fermeture a été très court pour l'appropriation technologique.

Quel enseignement en tirer au niveau des Entrants (E)?

Les spécifications techniques ont été essentiellement préparés et exécutées par un partenaire fournisseur des biens d'équipement. Par manque de compétences locales, le partenaire étranger a surdimensionné les installations techniques et les procédés appliqués. La CELLUCAM a ainsi été un investissement de 120 milliards de FCFA avec un plan annuel de frais d'exploitation et d'assistance de 33 milliards de FCFA.

Des enseignements sont aussi à tirer du système d'Organisation (O) et Gestion (G) Interne(I).

L'absence de dialogue entre partenaires concernés, et surtout l'incapacité de l'administration de tutelle à concevoir le projet technique a provoqué la dépendance des camerounais à l'égard du seul projet proposé pour la firme Autrichienne. La seule rétribution des 49 expatriés atteignait 37% des charges salariales totales . La vision unilatérales de l'émetteur principal Autrichien a primé au niveau de l'organisation structurelles de l'entreprise avec un cloisonnement des fonctions. L'enseignement majeur en découle: que les spécialistes Camerounais proposent à leurs partenaires étrangers des projets viables, fiables et consistants pour que le débat « projet contre projet » l'emporte sur une vision unilatérale qui est souvent malheureusement celle du partenaire étranger.

Enfin quelle leçon tirer de L'Environnement(E) externe de la CELLUCAM ?

Il faut prendre en compte le fait que la grande tradition des ouvriers est « pré-industrielles » et les habitudes de travail des salariés de CELLUCAM étaient calqués sur le monde agricole, la plupart des ouvriers étant agriculteurs avant la mise en œuvre du projet. L'environnement consiste donc à parler de culture technique qui est « échelle de valeurs, relations, expérience

et mémoire collective et ne se produit pas à coups de milliards dépensés ». D'autre part, on note l'inadéquation des procédés techniques par rapport au milieu physique. L'objectif de production doit être assurée à partir des circuits naturels locaux.

CONCLUSION

L'application de la méthodologie montre bien l'importance que l'on doit accorder aux données du retour d'expérience. Raison pour laquelle l'application de la méthodologie dans une PME/PMI nécessite une organisation structurelle rigoureuse basée sur le principe de flexibilité, adaptabilité et complémentarité telle que nous avons proposé à la deuxième partie. L'exhaustivité et la justesse des données n'a pas été vérifiée car, la structure CICAM 1 n'obéit pas au principe de la nouvelle structure proposée. La perspective des travaux de recherche futurs devra obéir à ces principes.

La CICAM 1 gagnerait beaucoup en s'appuyant sur la partie organisationnelle proposée par la méthode SOGBREX. L'objectif de ces travaux est également d'attirer l'attention des dirigeants des PME/PMI dans cette vision.

Le cas CELLUCAM est intéressant pour trois raisons:

1. Les défauts de maintenance ont condamné la CELLUCAM à disparaître. Par conséquent, une bonne politique de maintenance devrait éviter sa cessation d'activité.
2. Les enseignements sur son échec peuvent être tirés avec beaucoup de recul.
3. L'importance qu'a pris la maintenance dans la disparition de la CELLUCAM nous conduit à avancer l'hypothèse selon laquelle la maîtrise de la maintenance peut conduire à la maîtrise de la technologie nécessaire au développement des PME/PMI.

Les enseignements de l'échec sont tirés du modèle **SEOGIE** ou se repose la stratégie **SOGBREX**.

La démarche globale de la stratégie de maintenance des équipements proposée dans les PME/PMI est un parcours qui demande moins de ressources humaines, financières et matérielles. Cette démarche nécessite une bonne organisation structurelle de la PME/PMI obéissant au principe de flexibilité, adaptabilité, relativité, complémentarité et une formation interne du personnel sur les méthodes d'analyse Bayésienne.

CONCLUSION GENERALE

D'une part, l'organisation des PME/PMI est le fruit d'une histoire où le poids des traditions quelques fois familiales, souvent fondées sur l'intuition et la centralisation des décisions constitue un frein aux mutations trop brutales. L'organisation de la maintenance apparaît comme secondaire voir n'apparaît pas du tout. L'entretien, puisqu'il s'agit du terme encore le plus souvent rencontré, reste l'un des derniers bastions de la tradition où se sont réfugiés les « rebelles » à ces changements ce qui a creusé le fossé déjà important qui existait traditionnellement entre maintenance et production.

Et d'autre part, les difficultés de leur fonctionnement caractérisées par la gestion du temps, les budgets souvent approximatifs avec une certaine fragilité financière, les effectifs de maintenance faibles, la communication hésitante (excès de confidentialité) et une certaine méfiance des conseils, les besoins qui ne sont pas toujours bien cernés et enfin, une concurrence très âpre sur un marché mondial pas facile à cerner à l'échelle d'une petite entreprise.

Ont permis dans notre thèse de faire appel à deux grands axes de développement. Le premier a porté sur l'aspect organisationnel et le deuxième a porté sur l'aspect technico- économique des équipements. Les deux études sont menées en parallèle et les phases de réorganisation de la maintenance servent de support et de référence pour l'application des stratégies et tactiques de maintenance choisies.

SUR L'ASPECT ORGANISATIONNEL

Les différentes structures PME/PMI existantes, peuvent s'adapter à la nouvelle structure proposée sans avoir recours à des moyens supplémentaires. Le classement des différentes structures existantes par rapport à l'analyse des données du retour d'expérience, nous a permis de faire ressortir les éléments de bases qui constituent le type de structure idéale des PME/PMI pour la gestion du retour d'expérience en terme de coordination et types de relations.

Dans le contexte de la gestion et organisation propre de la maintenance, tous les équipements d'une installation industrielle ne font, général, pas l'objet d'un suivi dans le système de gestion du retour d'expérience. Seuls les matériels critiques nécessitent que leur comportement soit surveillé et justifient qu'on cherche à modéliser leur durée de vie. Une approche simplifiée de la méthode AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) pour les défaillances fonctionnelles est utilisée pour chaque moyen de production. L'élimination de ce qui paraît le moins critique pour les différents groupes de décision est utile pour faciliter l'assimilation de la méthode et évaluer les résultats d'un plan très ciblé.

Une approche globale est pourtant souhaitable pour éliminer tous risques d'oubli qui ferait croire à l'inadaptation de la méthodologie. Il est vrai que la mise à l'écart de certaines défaillances fonctionnelles (après classement) peut en effet laisser de côté plusieurs causes de défaillances qui pourraient être critiques. Mais cette façon de faire permet en priorité la mise en œuvre d'un programme de maintenance préventive réduit et donc plus facilement applicable dans une phase initiale. Néanmoins, en cas d'oubli, le retour d'expérience permettra de pallier cette conséquence.

SUR L'ASPECT TECHNICO-ECONOMIQUE

Pour une architecture matérielle, le système peut se trouver sur plusieurs états pouvant conduire à remplir ou à ne pas remplir la mission souhaitée. Par conséquent, ces différents états identifiés n'induisent généralement pas les mêmes répercussions économiques.

Il est intéressant de considérer l'intégration des aspects relatifs à la sûreté de fonctionnement, ainsi que les défaillances par leur nombre d'occurrences auquel un coût financier est associé. Ces mesures à caractère économique et technique ont permis de mieux caractériser l'objectif de l'étude.

L'obtention des données du retour d'expérience demande du temps, du bon sens et beaucoup d'abnégation et doit se faire à l'aide d'une méthodologie structurée progressive dans un cadre rigoureux telle que le prône la démarche MBF. Elles sont cependant fondamentales, car leur validation permet l'analyse a posteriori, et par conséquent l'amélioration des performances des équipements et des installations industrielles par l'obtention des indicateurs permettant l'aide à la décision des politiques de maintenance à un coût raisonnable.

Les décisions sont prises soit à partir d'une approche déterministe, soit grâce à une démarche probabiliste. Dans ces deux cas, toute expérience opérationnelle passée est traitée statistiquement, afin de fournir des informations synthétisées au preneur de décision. La seule connaissance du retour d'expérience associé à ce matériel permet de savoir quand intervenir sur un équipement de production subissant des opérations de maintenance préventive et curative.

Une nouvelle démarche spécifique aux PME est développée par l'intégration des paramètres techniques (Fiabilité, disponibilité) et économiques (Coûts) dans le processus d'aide à la décision à l'aide de l'utilisation de la théorie de la décision statistique bayésienne afin de permettre l'évolution rapide de la maintenance. La méthode proposée apporte les solutions d'une part aux insuffisances de la méthode MBF et d'autre part sert d'outil d'aide à la décision.

La démarche utilisée est loin d'être une méthode révolutionnaire puisque ces différentes méthodes utilisées sont appliquées depuis plusieurs années dans le cadre des projets mettant en œuvre des installations exigeants une haute sécurité et une fiabilité maximale.

Les deux études menées en parallèle nous ont permis de proposer une stratégie nouvelle d'organisation et de gestion de la maintenance dénommée « SOGMBREX » qui repose sur un modèle appelé SEOGIE. La méthode SOGBREX proposé permet d'intégrer les indicateurs techniques, économiques et organisationnels. La prise en compte de la dimension culturelle en Afrique permet de placer la méthodologie dans le champ d'application des travaux de cette thèse.

Pour un responsable d'une PME/PMI, la procédure idéale serait de:

- mettre en place une bonne forme structurelle proche au modèle proposé dont les caractéristiques sont la flexibilité, la complémentarité et la productivité;
- adopter les méthodes de recueil et d'analyse des données du retour d'expérience à l'image de la méthode MBF recommandée dans cette thèse et l'utilisation des

techniques bayésiennes afin de prévoir le comportement futur de l'équipement de production.

- Estimer le risque (Coût) d'une politique de maintenance pour pouvoir prendre des décisions;
- obtenir les indicateurs de la méthodes SOGBREX afin de savoir si la stratégie adoptée est bonne ou mauvaise ;
- prendre en compte l'environnement autour duquel est implanté la PME/PMI afin de mieux définir les paramètres SEOGIE qui favorisent l'épanouissement de la méthode SOGMBREX.

APPLICATION DANS LES PME/PMI

Pour valider notre méthodologie, nous avons utilisé deux formes de validation. La validation par l'échec de fonctionnement de la CELLUCAM et la validation par les indices de réussite de la CICAM 1.

Le cas CELLUCAM a été intéressant pour trois raisons:

1. Les défauts de maintenance ont condamné la CELLUCAM à disparaître. Par conséquent, une bonne politique de maintenance devrait éviter sa cessation d'activité.
2. Les enseignements sur son échec peuvent être tirés avec beaucoup de recul.
3. L'importance qu'a pris la maintenance dans la disparition de la CELLUCAM nous a conduit à avancer l'hypothèse selon laquelle la maîtrise de la maintenance peut conduire à la maîtrise de la technologie nécessaire au développement des PME/PMI.

L'application de la démarche au sein de la CICAM 1 ne s'est pas faite sans difficultés. Nous pouvons citer entre autres:

- L'introduction des estimations probabilistes qui nécessitent une culture scientifique et technique.
- La mentalité de la culture africaine
- La fatalité de la panne
- La panne profite à tous(la manne de la panne)
- Le changement fréquent des opérateurs et le groupe pilotant la méthode.

Malgré ces difficultés, nous pouvons citer quelques tendances de satisfaction:

- Réduction des pannes de près de 40%
- L'obtention d'une meilleure organisation du service maintenance
- Une approche participative dans la conduite de la production

- L'évolution des mentalités sur la panne
- La stabilisation du personnel d'exécution
- L'embauche de deux techniciens niveau DUT maintenance comme agent de maîtrise
- La bonne structuration de la collecte des données.

L'efficacité de chaque décision d'organisation et gestion de la maintenance s'obtient en déterminant son coût par rapport au coût de la défaillance qu'elle évite. Qu'il n'y pas de risque zéro pour une politique maintenance. L'utilisation de n'importe quelle décision de maintenance entraîne un certain coût. L'application faite permet d'obtenir des indices prometteurs. L'introduction des estimations probabilistes n'est pas aisée pour les PME/PMI mais les gains futurs par l'application de la méthode est une source de motivation non négligeable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I –ARTICLES.

- [AMA 92] AMABLE B., GUELLE D. « *Les théories de la croissance endogène* » revue d'économie politique, n°3 mai-juin 1992, page 333-337.
- [AMD 85] AMDEC
« *Normes publication CEI 812, techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes-Procédures d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets* » (AMDE). 1985.
- [ALL 93] ALLAN –MORING .
« *Mise en place d'un retour d'expérience* » maintenance et entreprise, 1993 N° 459, P.57-59.
- [ARU 96] ARUNACHALAM V.
« *An Empirical investigation of judgment feedback and computerized decision support in a prediction task* » Accounting, management and information technologies Journal, Volume 6, n° 3 Pages 139-156, 1996.
- [BAB 65] BABILLIS R A., SMITH A. M.
« *Application of bayésian statistics in reliability measurement* » Proceedings of the 4th annual reliability and maintainability conference. Los Angeles, 28-30 juillet 1965, p.357-365.
- [BAN 82] De BANDT J.
« *Procédés nouveaux: une affaire de culture technologique* », revue française de gestion, pp.51-56; juin-juillet-août 1982.
- [BEN 91] BENCIVENGA V., SMITH B.D.
« *Financial intermédiation and endogenous Growth* » Review of Economics Studies, vol 58, pp.195-209, 1991.
- [BOL 80] BOLIS T S.
« *Bayésian reliability theory for repairable equipment* » Norme RADC-TR80 30- Rome air development center. Février 1980.
- [BOU 89] BOUTAT. A. « *Les transferts internationaux de technologie comme instrument de développement industriel* » Lausanne, 1989, 482 p.
- [CAN 73] CANAVOS G .C ., TSOKOS C.P.
« *bayesian estimation of life parameters in the weibull distribution* » Opérations research, 1973, vol.21 P.755-763.
- [CEI 99] CEI 60 300 3 11.
« *maintenance basée sur la fiabilité, norme CEI mars, 1999.*
- [CHA 99] CHANCHEVRIER N.

- « *Méthodologie et outils pour le retour d'expérience Industriel.* », 3^{ème} congrès International pluridisciplinaire, qualité et sûreté de fonctionnement, 25-26 mars 1999, Paris France.
- [CHA 94] CHANGUEU J.P.
« *l'appui aux PME et les conditions d'efficacité des programmes des bailleurs de fonds en Afrique* » 39^{ème} Congrès de l'ICSB, Strasbourg 1994.
- [CHE 99] CHELBI A. AND DAOUD AIT-KADI.
« *An optimal inspection strategy for randomly failing equipment* », Pages 127-131, Volume 63, Issue 2, February 1999. Reliability Engineering and safety Journal.
- [CHU 98] CHUNG-BOW LEE,
« *Bayesian analysis of a change-point in exponential families with applications* », Pages 195-208, Volume 27, Issue 2, 3 April 1998, Computational Statistics and data Analysis Journal.
- [CLA 96] CLAROTTI C.A.
Compte rendu GTR. « *Techniques Bayésiennes* » ISDF, 1995
- [COT 98] COTAINA N., M.GABRIEL M, RICHET D., O'REILLY K.
« *Utilisation de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF) pour développer et optimiser les politiques de maintenance dans les scieries.* Revue Française de gestion industrielle, N° 16, P. 47-65.
- [COT 98] COTAINA N., M.GABRIEL M, RICHET D., O'REILLY K.
« *The practical application of reliability centered maintenance (RCM) and system simulation in the sawmill industry. 9th symposium on information control in manufacturing* » INCOM'98, Nancy-metz, France III, P 447-451.
- [COU 93] COUBRAY R.
« *Comparaisons de performances et de fiabilités par étude Statistiques Multidimensionnelles* »
Journées nationales Retour d'expérience, Novotel Ruel-Malmaison, 1^{er} et 2 décembre 1993.
- [CRE 72] CRELLIN G.L.
« *Spécial issue on Bayesian techniques* » IEEE Transactions on reliability, 1972, vol.21 N°3.
- [DEK 96] DEKKER R.
« *Applications of maintenance optimization models: a review and analysis,* » Pages 229-240, Volume 51, Issue 3, March 1996 Reliability Engineering and safety Journal.
- [DEK 98] DEKKER R. AND SCARF P. A.

- « *On the impact of optimisation models in maintenance decision making: the state of the art*, »Pages 111-119 , Volume 60, Issue 2, May 1998, Reliability Engeniering and safety Journal.
- [DEL 94] DELCHEF A.
« *Quelques conditions et facteurs de succès d 'une structure d 'aide aux PME* » PME initiatives, vol 2, n°2 mars 1994.
- [DEN 99] DENIAUD S., ZERHOUNI N., EL MOUDNI A., MOREL F.
« *Sur une modélisation de maintenance préventive à l'Alstom* ». International Journal of Mechanical production systems Engineering. Number 2,V-53 à V-65. Mai 1999.
- [DUR 88] DURLAY F.
« *A bayes sensitivity analysis when using the bête distribution as a prior* » IEEE transactions on reliability, 1988.
Vol.37 N°2, P.239-267.
- [EFA 03] EFAGA E.D., DANWE R., BRAUN F., SUHNER M-C., AWONO ONANA
« *Analyse des données du retour d'expérience pour l'organisation de la maintenance des outils de production des PME et PMI dans le cadre de la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité)* ». 5^{ème} congrès international pluridisciplinaire Qualité et Sûreté de Fonctionnement. 18,19,20 mars 2003 – Nancy (France).
- [EFR 96] EFRON B., MORRIS C.
« *Le paradoxe de Stein »pour la science* ». Le Hasard, avril 1996
- [ESR 94] ESREL
« *9^e colloque international de fiabilité et de maintenabilité « λμ »* . La Baule-France . Du 30 mai au 3 juin 1994. Page 322 –331. ESREL'94.
- [ENH 90] EHRLICH I.
« *The problem of development:Introduction* », Journal of political economy, vol;98,1990. Pp. 301-308.
- [FAB 97] FABRICE LE VIGOUREUX
« *Entreprises moyennes: Structures de propriété et comportement stratégique* » Revue française de gestion , N°116, Novembre-décembre 1997 pages 70-82.
- [FOU 92] FOUGEROUSSE S., GERMAIN J.
« *Pratique de la maintenance par le coût global* », AFNOR, Paris ,1992.
- [FRE 93] FREEMAN C.
« *Les technologies nouvelles sont elles à l 'origine de la crise économique?* », La recherche n°125, vol.12 pages 102-135.
- [GUI 85] GUILLOU M.

- « *Culture et technologie: l'aspect de l'AUPELF* », Monde et développement, n°49, tome 13, 1985, PP. 207-210.
- [GIL 93] GILLICAN T.
« *The competitive effects of resale price maintenance* » Rand Journal of Economics, n°17 pp; 544-556, 1993.
- [HAL 92] HALL R.
« *Optimising preventive maintenance Using RCM* », Maintenance, 7-4 décembre 1992.
- [HAR 94] HARRIS J., MOSS B
« *practical RCM analysis and its information requirements* », Maintenance, 9-4, septembre, 1994.
- [HOF 99] HOFER E.
On two-stage Bayesian modeling of initiating event frequencies and failure rates, Pages 97-99, Volume 66, Issue 1, October 1999 . Reliability Engeniering and safety Journal.
- [HON 96] HONTELEZ J. A. M, BURGER H. H., DIEDERIK J. D.
« *Optimum condition-based maintenance policies for deteriorating systems with partial information* », Pages 267-274, Volume 51, Issue 3, March 1996 Reliability Engeniering and safety Journal .
- [HUS 91] HUSEBY A.B., NATVIG B.
« *Bayésian methods and expert opinions applied to system reliability estimation and management*.107 –128. In : *Opérational reliability and systematic maintenance* » Ed by HOLMBERG K. ,FOLKESON H. Essex :Elsevier Science Publishers Ltd, 1991 331P. Juin 1970.
- [JHAN 99] JHANG J. P. AND SHEU S. H.
Opportunity-based age replacement policy with minimal repair, Pages 339-344 , Volume 64, Issue 3, June 1999 Reliability Engeniering and safety Journal.
- [JOF 97] JOFFRE P.
« *Les atouts des entreprises moyennes* » Revue française de gestion, N°116, Novembre-décembre 1997 pages 65-69.
- [KES 93] KESSEL N. I. V.
« *Searching for the optimum plant maintenance strategy through the application of maintenance concepts* » Maintenance, 8-2 juin ,1994.
- [KER 96] KERN . F., LLERNA P.
« *Programme d'appui aux entreprises et émergence d'un système industriel local* » Édition Harmattan, Paris 1996.
- [KUO 80] KUO W, TILLMAN P .A., HWANG KSU C. L .

- « Une estimation de la disponibilité selon bayes » Actes du 2nd colloque septembre 1980. P.255-261.
- [LAF 93] LAFFARGE J.P.
« Croissance endogène et développement:points de vue récents » revue d'économie de développement », septembre 1993, pages 3-27.
- [LAM 93] LAMAILLE Y.
« Retour d'expérience, facteurs humains : description et analyse d'une méthodologie » Journées nationales Retour d'expérience, Novotel Ruel-Malmaison, 1^{er} et 2 décembre 1993.
- [LEG 96] LEGAT V., ALUDOVA A. H, ERVENKA V. AND JURA V.
« Contribution to optimization of preventive replacement », Pages 259-266 ,Volume 51, Issue 3, March 1996 . Reliability Engeniering and safety Journal
- [LEM 84] LEMIERE B.
« Essais bayésiens de la validation de la fiabilité principe général. Différents types de distributions a priori ».Document interne Renault- Cahier N° 9000223 -1984.
- [LES 93] LESPONNE, GABRIEL M., SUHNER M-C, RICHET D., COTAINA N., O'REILLY K.
« Adaptation et mise en place de la méthode MBF (RCM) dans les P.M.I. du secteur fonderie en Europe, Espagne » ESSTIN : Journées d'actualisation 1993,pp131-140, Nancy,1993.
- [LIA 99] T. W. LIAO, Z-H. ZHAN AND C. R. MOUNT.
« Integrated database and expert system for failure mechanism identification: Part I :automated knowledge acquisition ». Pages 387-406, Volume 6, Issue 6, Décembre 1999 Engineering Failure Analysis Journal.
- [MAN 97] MAN-SUK OH.
Estimation of posterior density functions from a posterior sample, Pages 411-427, Volume 29, Issue 4, 28 February 1999 , Computational Statistics and data Analysis Journal.
- [MAR 99] MARTORELL S., SANCHEZ A. AND SERRADELL V.
« Age-dependent reliability model considering effects of maintenance and working conditions », Pages 19-31 ,Volume 64, Issue 1, April 1999 Reliability Engeniering and safety Journal .
- [MAT 97] MATSUYAMA K,
« Maintaining optimal inventory level by feedbacks, » Pages 57-69, Volume 53, Issue 1, 6 Novembre 1997 , International Journal of Production Economics
- [MAZ 96] MAZZUCHI T.A., SOYER R.

- « *A Bayesian perspective on some replacement strategies,* » Pages 295-303
Volume 51, Issue 3, March 1996 . Reliability Engineering and safety Journal.
- [OLO 87] OLOMO P.R.:
«*Comment concilier tradition et modernité dans l'entreprise Africaine* »
revue française de gestion, septembre -octobre 1987 pp. 30-36.
- [PAP 99] PAPAZOGLOU I.A.
Bayesian decision analysis and reliability certification, Pages 177-198,
Volume 66, Issue 2, November 1999 . Reliability Engineering and safety
Journal.
- [PRO 97] PROCACCIA H., CORDIER R. AND MULLER S.
« *Application of Bayesian statistical decision theory for a maintenance
optimization problem* », Pages 143-149 , Volume 55, Issue 2, February 1997 .
Reliability Engineering and safety Journal.
- [PRO 97] PROCACCIA., H.
« *L'approche bayésienne et ses applications industrielles* » Journée
Technique organisé par l'IsdF avec la collaboration de l'ESSTIN et L'ISI, 4
juin 1997.
- [REN 83] RENARD J.J
« *Cellucam, après deux ans de fonctionnement* » Industries et travaux d'ou-
mer, 1983, pp.344-345.
- [RIC 97] RICHET D., COTAINA N., GABRIEL M.
« *Maintenance basée sur la fiabilité optimisation économique du plan de
maintenance technique.* » 16 ème congrès canadien de mécanique appliquée ;
CANCAM 97, Québec , Canada, p. 583 –584. 1997
- [RIN 80] RINNER J.J.
« *Une modélisation bayésienne du taux de défaillance* » Actes du 2nd colloque
international sur la fiabilité et la maintenabilité », Perros-Guirec, 8-12
septembre 1980. P.262-268.
- [ROM 99] ROMER P.M
« *endogenous technological change* » Journal of political economy,1998. Pages
71-102.
- [ROS 82] ROSENBERG
« *Learning by using in inside the black Box.* » Technology and Economics,
Cambridge University Press, pages 763-782.
- [RYA 92] RYAN V.
« *getting Started in RCM* » Maintenance , 7-4 décembre 1992.
- [SAN 91] SANDTROV H. ,RAUSSAND M ;

- « RCM- Closing the loop between design reliability and operating Reliability »
Maintenance ,1-6 mars 1991.
- [SCH 72] SCHAFFER R.E , SHEFFIELD T.S.
« Bayesian reliability démonstration : phase II , developpment of a priori distribution » Norme RADC-TR-71-209. Hughes aircraft compagny- 1972.
- [SHU 97] WEI ZENG SHUO.
« Discussion on maintenance strategy, policy and corresponding maintenance systems in manufacturing », Pages 151-162, Volume 55, Issue 2, Février 1997 Reliability Engeniering and safety Journal.
- [SUH 97] SUHNER M-C., LARCHER D., GABRIEL M.
« Utilisation de l'AMDEC pour formaliser le retour d'expérience en utilisant une approche bayésienne. » 16 ème congrès canadien de mécanique appliquée CANCAM 97, Québec, Canada, p.585 –586.1997.
- [SUH 97] SUHNER M-C., SELLALI B., MARTINET S., GABRIEL M., RICHEL D.,
« Démarche de retour d'expérience et estimation de la fiabilité d'équipements de production dans le cadre de la MBF. 2^{ème} congrès pluridisciplinaire «Qualité et Sûreté de Fonctionnement » Angers, France, P.421-428. 1997.
- [SWA 03] SWANSON L.
« An information - processing model of maintenance management »
International journal of production economics no 83, 2003 , pages 45-64.
- [THE 99] THEVENOT D.
« Retour d'expérience », 3^{ème} congrès International pluridisciplinaire, qualité et sûreté de fonctionnement, 25-26 mars 1999, paris France.
- [TSO 72] TSOKOS C.P. CANOVAS G.C.
« Bayesian concepts for the estimation of reliability in the Weibull life testing model ». International statistical Review, 1972, Col.40, N°2, P.153-160.
- [TSO 96] C.TSOUROS, M. SATRATZEMI.
« -Optimal solution of a total time distribution problem, » Pages 473-478, Volume 45, Issue 1-3. 1 august 1996, International Journal of Production Economics.
- [VAT 97] VATN J.
« Maintenance optimisation from a decision theoretical point of view », Pages 119-126 , Volume 58, Issue 2, November 1997, Reliability Engeniering and safety Journal.
- [VAT 96] VATN J, HOKSTAD P., BODSBERG L.
« An overall model for maintenance optimization », Pages 241-257 volume 51 issue3 March 1996, Volume 51, Issue 3, March 1996.

- [VAU 97] VAURIO J.K.
« *On time-dependent availability and maintenance optimization of standby units under various maintenance policies* », Pages 79-89 ,Volume 56, Issue 1, April 1997. Reliability Engineering and safety Journal.
- [VER 99] VERZEA I., GABRIEL M., RICHET D.
« *MBF globale: une étape stratégique vers la TPM*. Revue Française de gestion industrielle , N°18 , P.35-54. 1999.
- [VER 99] VERZEA I., GABRIEL M., RICHET D.
MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité)globale- application aux PME roumaines. 3^{ème} conférence Internationale sur l'automatisation Industrielle, Montréal, Canada, P1.5-1.8 ,1999.
- [WAL 89] WALTON R.A.
"Entretien dans la revue Afrique –Agriculture" N°161, février 1989, PP:25-29.
- [WEI 65] WEILER H.
« *The use of incomplete beta functions for priori distributions in binomial sampling* » Technometrics, vol. 7, n°3, P .335 –347.
- [WIL 72] WILSON M. A.
« *Expérience with bayesian reliability measurement of large system* ».IEEE transactions on reliability, 1972, vol.21, N°3 P.181-185.
- [ZWI 92] ZWINGELSTEIN G.
« *Optimisation de la maintenance par la fiabilité* », maintenance et entreprise, N°454, Paris ,septembre, 1992.
- [ZWI 94] ZWINGELSTEIN G .
« *La maintenance basée sur la fiabilité : Une doctrine de maintenance pour optimiser la fiabilité et la sûreté de fonctionnement* »Congrès qualité et sûreté de fonctionnement, compiègne. 17 novembre, 1994 .

II- OUVRAGES

- [ABD 96] ABDELMAKI L.; COURLET C.
« *Les nouvelles logiques du développement* » Édition Harmattan, Paris 1996.
- [AFC 87] R.PEREZ, NARESH-CHRISYIAN SEN
« *La productique : Concepts, méthodes, mise en œuvre* » Edition .Economisa, 1987 .
- [AUP 94] AUPIED J.
« *Retour d'expérience appliqué à la sûreté de fonctionnement des matériels en exploitation* » collection de la Direction des études et recherche d'électricité de France, Editions. Eyrolles, paris 1994.
- [BAC 98] BACHA M., CELEUX G, IDEE E., LANNOY A, VASSEUR D.,

- « *Estimation des modèles de durées de vie fortement censurées* », Editions Eyrolles ,1998.
- [BOU 88] BOUCLY F .
« *Maintenance : Les coûts de la non –efficacité* » éditon AFNOR 1988.
- [CHA 68] CHAPOUILLE P., DE PAZZIS R.
« *Fiabilité des systèmes* » édition Masson 1968.
- [DAG 75] DAGNELIE P.
« *Théorie et méthodes statistiques* » Presse agronomiques de GEMBLOUX, A.S.B.L. édition 1975.
- [DES 92] DESCRIMAU A.
« *Structures d 'entreprise : analyse et gestion* » éditions Vuibert gestion, Paris, février 1992.
- [FRA 01] FRANCASTEL J.C. « *Externalisation de la maintenance : Stratégies, méthodes et contrats* »éditions DUNOD, Paris, 2001
- [GAB 87] GABRIEL M., RAULT J-C.
« *Systèmes Experts en Maintenance* »édition Masson 1995.
- [GAB 98] GABRIEL M., RICHET D.
« *La maintenance Basée sur la fiabilité (MBF). Pratique de la maintenance industrielle.* » Collections Dunod 1998.
- [GAY 79] GAY F.A. ,
« *Ketelsen Perforamnce evaluation for gracefully degrading systems. Proceedings of 9th IEEE In.Symp. Fault-tolérant Computing* », Madison, Wisconsin, USA, juin 1979.
- [HAZ 87] HAZARD C .
« *Guide de la maintenance* », édition Nathan Paris1987.
- [HEL 96] HELFER J.P.
« *Management :stratégie d 'organisation* »éditions Vuibert gestion, paris, octobre 1996.
- [ISD 92] ISDF
« *Guide de rédaction d'un manuel de maintenabilité orienté PME/PMI* » ; projet P8/92, Paris 1992.
- [ISO 93] ISO 9000-4
« *Norme internationale, Norme pour la gestion de la qualité et l'assurance de la qualité, partie 4 : Guide de gestion du programme sûreté de fonctionnement, ISO 9000-4, 1993.*
- [LAN 94] A. LANNOY, H. PROCACCIA

- « *Méthodes avancées d'analyse des bases de données du retour d'expérience industriel* » édition Eyrolles, 1994.
- [LAN 96] LANNON A.
« *Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité* », édition Eyrolles , 1996.
- [LAP 95] LAPRIE J-C
“ *Guide de la sûreté de fonctionnement*”, Cépaduès –éditions 1995.
- [LIG 92a] LIGERON J.C.
« *La fiabilité en exploitation :Organisation et traitement des données* ». Tom1-édition Lavoisier, Paris1992.
- [LIG 92b] LIGERON J.C.
« *La fiabilité en exploitation :Organisation et traitement des données* ». Tom 2 édition Lavoisier Paris1992.
- [LYO 86] LYONNET P.
« *Mathématiques et Méthodes* » Tec et Doc Lavoisier édition 1986.
- [LYO 93] LYONNET P.
« *Optimisation d'une politique de maintenance* » édition Lavoisier, Tec et Doc. Paris 1993
- [MAD 98] MADERS H.P.
« *Conduire un projet d 'organisation, guide méthodologique* » éditions d 'organisation, Paris 1998.
- [MAT 82] MARTZ F., WALLER. R.
«*Bayésian Reliability Analysis* »John Wiley and sons publication 1982.
- [MON 90] MONKAM N., WELADJI R.
« *Guide du créateur d 'entreprise au Cameroun, Fascicule du promoteur de la PME/PMI* », AGRO-PME, Yaoundé, 1990.
- [MON 00] MONCHY F. « *Maintenance : Méthodes et organisation* » éditions DUNOD, Paris, 2000.
- [MON 96] MONSEF Y.
« *Modélisation et simulation des systèmes complexes, concepts, méthodes et outils* »,édition Tec et Doc Lavoisier 1996.
- [MOR 97] MORRIS P.A.
« *Combining expert judgments : Bayesian approach* »management science,1997.
- [MOU 98] MOUBRAY J.

- « *Reliability Centred Maintenance* » Second.Ed. 1998.
- [PEL 97] PELLEGRIN C.
« *Fondements de la décision de maintenance* » éditions Économica Paris 1997.
- [PIM 93] PIMOR Y. ADEPA , CLAME,
« *Guide de la mise en place de la TPM* » rapport interne ADEPA-Clame ,septembre 1993.
- [PRO 92] PROCACCIA H., PIEPSZOWNIK L.
« *Fiabilité des équipements et Théorie de la décision statistique fréquentielle et bayésienne* ». Paris . éditions Eyrolles 1992.
- [RIC 96] RICHET D., GABRIEL M., MALON D.
« *Maintenance basée sur la fiabilité. Un outil pour la certification* », éditions. Masson, 1996.
- [SOU 90] SOURIS J-P.
« *La maintenance source de profits* ». Les éditions d'organisation, 1990.
- [ROB 92] ROBERT C.
« *L'analyse statistique bayésienne* » éditions Economica, Paris 1992.
- [SAL 79] SALEM M.
« *Les contrats clé en main et les contrats « produits en main »*: Technologie et vente de développement, librairies techniques, Paris 1979.
- SCH 84] SCHUMPETER J.A.
« *Capitalisme, socialisme et démocratie* », Payot édition, Paris 1984.
- [TAS 92] TASSINARI, R.
« *Pratique de l'Analyse Fonctionnelle* », édition DUNOD, Paris, 1992.
- [WHI 92] WHITTAKER R.
« *Project management in the process industries* », édition John Wiley and sons, 1992.
- [ZWI 96] ZWINGELSTEIN G.
« *La maintenance basée sur la fiabilité* », édition Hermes, Paris 1996.

III- NORMES DE MAINTENANCE

- [AFN 88] AFNOR
« *Maintenance industrielle, recueil de normes Françaises* » Paris 3ème. édition AFNOR 1988 X60-010 Maintenance –Vocabulaire et gestion des biens durables.
- X60-000 Fonction maintenance -Principes généraux de mise en place ou d'organisation dans l'entreprise.

- X60-020 Indicateurs de maintenance.
- X60-200 Documents techniques à remettre aux utilisateurs de biens durables à usage industriel et professionnel -Nomenclature et principes généraux de rédaction et de présentation.
- X60-105 Contrats de maintenance -Relations contractuelles - Guide de rédaction des clauses du contrat.
- X50-501 Durée de vie et durabilité des biens –vocabulaire.
- X60-500 Terminologie relative à la fiabilité – maintenabilité – disponibilité.
- X50-126 Guide d'évaluation des coûts résultant de la non qualité.
- X06 –501 Applications de la statistique -Introduction à la fiabilité.
- X50-420 Management des systèmes –Soutien logistique intégré -Concepts généraux.

IV- THESES

- [COT 99] COTAINA N. P.
«*Méthodologie d'aide à la décision et la mise en place de politiques de maintenance pour les PME. L'apport de la MBF (Maintenance basée sur la Fiabilité)*» Doctorat de l'Université Henri Poincaré, NancyI soutenue le 22 octobre 1999
- [GRE 99] J-C. GRENOUILLEAU
«*Modélisation de politiques d'approvisionnement en Eléments de Rechange*» Doctorat de la Centrale de Paris Soutenue le 15 décembre 1999.
- [KOU 94] KOUAME T.
«*Croissance endogène et transfert de technologie dans une approche intégrée* » thèse, paris, EHESS, 1994.
- [ROC 96] ROCHON S.
«*Méthodologie de conception fiable des produits industriels associants l'approche expérimentale et l'expérience* » Doctorat de l'Université de Savoie. Soutenue le 9 juillet 1996.
- [ROL 98] ROLLINGER R.
«*Application de la sûreté de fonctionnement à l'optimisation de la maintenance des bâtiments et des infrastructures techniques – La méthode SINPATI* ». Doctorat de l'Université Henri Poincaré , Nancy I, soutenue le 30 octobre 1998.

- [SUH 94] SUHNER M-C
«*Utilisation de l'analyse Bayésienne pour optimiser les plans d'essai de validation de fiabilité- application de la démarche à l'automobile et intégration dans le cycle de vie du produit* ». Thèse de l'Université de Nancy I. soutenue le 8 février 1994.
- [VER 99] VERZEA I . «*Contribution à l'optimisation des méthodes de management de maintenance* ». Thèse en co-tutelle entre l'Université Henri Poincaré Nancy 1, et l'Université Technique G . Asachi (Roumanie), 28 mars 1999.

GLOSSAIRE

Analyse des modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC):

Méthode d'analyse d'un système qui comprend une analyse des modes de défaillances et de leurs effets, complétée par une analyse de criticité des modes de défaillance.

(NF X 60-500, NF X 60-510).

Analyse fonctionnelle: démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions.

Analyse de la valeur : méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire

Arborescence matérielle: Arborescence illustrant la décomposition d'ensembles matériels remplissant une ou plusieurs fonctions requises.

Besoin : Nécessité ou désir éprouvé par un utilisateur, norme AFNOR NFX50-150.

Cause de défaillance: Circonstance liée à la conception, la fabrication ou l'emploi et ayant entraîné une défaillance (NF X 60-010)

Conception: action d'élaborer un produit en partant d'une idée générale.

Contrainte: limitation de la liberté du concepteur-réalisateur du produit (NFX 50-151)

Coût: charge ou dépense générée par l'entreprise, ou ses partenaires, supportée par elle-même par suite de l'exploitation de moyens.

Coût: Charge ou dépense générée par l'entreprise, ou ses partenaires, supportée par elle-même par suite de l'exploitation de moyens

Coût global (de possession), LCC Life Cycle Cost en anglais : somme des dépenses sur l'ensemble de la vie du produit pour un usage donné.

Défaillance: cessation de l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise AFNOR X60-501

Défaillance critique: défaillance considérée comme susceptible de causer des dommages corporels, des dégâts matériel importants ou de conduire à d'autres conséquences jugées inacceptables. (NF-500)

Défaillance en fonctionnement: Défaillance se produisant sur l'entité, alors que la fonction requise est utilisée. (NF-500)

Degré: Caractérise le "gravité" de l'anomalie au moment de la découverte.

Densité de probabilité: la densité de probabilité est fonction dérivée de la fonction de répartition.

Disponibilité: aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en existe, en réalité, différents types de disponibilité s :

- la disponibilité instantanée prévisionnelle, définie par la norme ci dessus

- la disponibilité moyenne qui correspond à la moyenne sur un intervalle donné de la disponibilité instantanée prévisionnelle. En opérationnel, cette moyenne correspond au rapport durée de fonctionnement effectifs sur durée de l'étude.

Durée de vie: Durée pendant laquelle une entité accomplit une fonction requise dans des conditions d'utilisation et de maintenance données, jusqu'à ce qu'un état soit atteint .

Echantillon: C'est une partie de la population où sont portées les observations lorsque celle-ci est infinie ou de taille suffisamment grande.

Effets mesurable : phénomène physique observé sur le composant élémentaire.

Equipement de production: C'est un ensemble déterminé d'éléments discrets (composants) interconnectés ou en interaction dont le but est de réaliser la production.

Espérance de vie: Durée de vie utile moyenne escompter d'une entité matérielle.

Estimation: Opération statistiques qui consiste à déterminer les paramètres caractéristiques d'un échantillon représentatif.

Fiabilité: aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné (NFX 60-500). Il existe 3 types de fiabilité:

- opérationnelle : observée ou estimée à partir d'autres entités identiques placées dans les mêmes conditions d'utilisation.

- prévisionnelle : prédite à partir de la connaissance et l'analyse de la fiabilité des composants de l'entité.

- extrapolée : extrapolation ou interpolation de la fiabilité opérationnelle sur des durées ou des conditions différentes..

Fonction: action réalisée par un produit ou par l'un de ses constituants, exprimée en terme de finalité, en faisant abstraction de toute référence à des solutions NFX50-150

Fonction de répartition: La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps t , est appelée fonction de répartition des premières défaillances et notée $F(t)$. On a $F(t) = 1 - R(t)$ (NF X06-501)

Fonction technique : action interne au produit et définie par le concepteur-réalisateur sous sa responsabilité pour assurer les fonctions attendues d'un produit (NFX 50-150).

Fréquence: Représente le risque que la cause potentielle de la défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré (NF X60-500)

Intervalle de confiance: Intervalle dont les deux bornes encadrent la vraie valeur qu'elle (inconnue) du paramètre avec une probabilité fixée a priori.

Maintenabilité: dans les conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. (NFX 60-500)

Maintenance: ensemble des activités destinées à maintenir ou à 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 de management. AFNOR (NFX60-010)

Maintenance préventive: maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. (NFX 60-011)

Maintenance préventive conditionnelle: maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (mesure, diagnostic).

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

Maintenance préventive systématique: maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité (ou RCM Reliability Centred Maintenance, ou OMF? Optimisation de la Maintenance par la fiabilité : Méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'atteindre efficacement le niveau de fiabilité nécessaire à l'équipement.

Mécanisme de défaillance: Processus physique, chimique ou autre ayant entraîné une défaillance. (NF X60-150)

MTTF: Mean Time To Failure (moyenne des temps de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance).

MDT: Mean Down Time (Moyenne des temps d'arrêt)

MTTR: Mean Time To Repair (Moyenne des temps de réparation)

MTBF: Mean Time Between Failure (Moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

Mode de défaillance: effet par lequel une défaillance est observée.

MSG-3 : Maintenance Steering Group 3) version, Amélioration ultérieure de la MSG-2 et développée pour les avions 757 et 767. Publié en octobre 1980 sous le titre : MSG-3 Document de planification de la maintenance des Compagnies aériennes/Constructeurs. Le document fait l'objet de révisions en mars 1988.

Panne: état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisation (NFX 60-500). Ainsi, la panne est l'état dans lequel se trouve le système consécutivement à une défaillance. Lors de la remise en service, l'entité peut à nouveau accomplir sa fonction.

Probabilité: Degré de croyance de l'apparition d'un événement.

Projet: est une démarche (méthodique et progressive) élaborée pour répondre au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle impliquant un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données (et limitées) (NFX 50-105)

Qualité (au sens utilisateur - client): la qualité d'un produit (bien ou service) est son aptitude à satisfaire les besoins de ses utilisateurs. d'après ISO 9000

Qualité (pour l'entreprise ou une organisation): la qualité (quelquefois dite "qualité totale" consiste en la mise en œuvre d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout le personnel pour améliorer:

- la qualité de ses produits et services,
- l'efficacité de son fonctionnement,
- la pertinence et la cohérence de ses objectifs,

en relation avec son environnement.

Qualité (pour la production): la qualité d'une production réside dans son aptitude à produire au moindre coût des produits satisfaisant les besoins utilisateurs.

Retour d'expérience: Gestion des faits techniques et des performances techniques, observées pendant toute la durée de vie d'un produit, de la conception au retrait du service.

Lannoy, Procaccia 1994.

Réparable: Entité susceptible techniquement et /ou économiquement d'être réparée.

Qualité: aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs

Sécurité: aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. La sécurité est un terme qui est défini différemment selon le domaine d'utilisation de celui-ci qui ne répond à aucune norme française NF. Il existe cependant des instructions ministérielles Françaises du type 1514, 940,.... De plus, sur certains matériels, il existe une réglementation spécifique à la sécurité (la sûreté nucléaire par exemple).

L'évaluation de la sécurité ne touche actuellement que quelques activités, telles que la chimie, le nucléaire et l'aéronautique. Dans ces différents types d'entreprise, les équipements et les systèmes employés nécessitent une très grande fiabilité car leur mauvais fonctionnement a généralement des répercussions graves sur l'homme et son environnement (ex: Titanic en 1912, Seveso en 1976, Tchernobyl en 1986 et tout récemment l'explosion de l'usine de Toulouse en France).

Ces évaluations ne sont basées, dans la plupart des cas que sur des études statistiques réelles, expérimentales ou simulées des différents accidents possibles.

Sûreté de Fonctionnement: aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données., caractérisée par la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité, la sécurité et la soutenabilité (norme NFX 60-500). La Sûreté de Fonctionnement a pour objectifs l'identification, l'évaluation, la prévision, la mesure et la maîtrise des défaillances des systèmes

Taux de défaillance: Caractéristique de fiabilité fréquemment utilisée désignant la proportion ramenée à l'unité de temps des dispositifs qui ayant survécu à un instant arbitraire t , ne sont plus vie à l'instant $t+dt$.(NF X06-501)

Taux de réparation: Caractéristique de maintenabilité de fréquemment utilisée désignant la proportion ramenée à l'unité de temps des dispositifs lors de la répartition à l'instant t , sont en fonctionnement à $t + dt$.

Temps à la défaillance: Temps au bout duquel une entité matérielle est défaillante.

Temps de fonctionnement: Durée pendant laquelle un bien accomplit effectivement la fonction qui lui a été assigné.

Temps de rémission correspond à la durée maximale que peut avoir un arrêt sans avoir de répercussion sur la production finale (la défaillance est "absorbée" par le système)

Validation: Confirmation par examen et apport de preuves tangibles que les exigences particulières pour un usage spécifique prévu sont satisfaites.

Visite de maintenance: Opération de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou parti (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de premier niveau.

Vraisemblance: Fonction d'un paramètre donnant la probabilité d'observer un échantillon d'une variable aléatoire ayant une densité de probabilité dépendant de ce paramètre.

LISTE DES ABREVIATIONS

Adf	Arbre de défaillance
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité
CCP	Chemin Critique de Production
CGP	Coût Global de Possession
CCQ	Chemin Critique de Qualité
CCS	Chemin Critique de Sécurité
CdCF	Cahier des Charges Fonctionnel
CICAM	Cotonnière Industrielle du Cameroun
CSCQ	Chemin Sous-critique de Qualité
CSCP	Chemin Sous-critique de Production
C_{d1}	Coûts directs de maintenance 1
C_{d2}	Coûts directs de maintenance 2
C_{ind1}	Coûts indirects de maintenance 1
C_{ind2}	Coûts indirects de maintenance 2
$C_{p,m}$	Coût de la politique de maintenance
$C_{r,m}$	Coûts de remise en marche
C_h	Coût d'une heure d'arrêt
d_1	Décision de maintenance une
d_2	Décision de maintenance deux
d_3	Décision de maintenance trois
E.E.M	Evaluation économique
E.T.T.	Evaluation des tâches techniques
GMAO	Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur
GPAO	Gestion de Production assistée par Ordinateur
LCC	Life Cycle Cost (l'équivalent anglais du CGP)
LCP	Life Cycle Profit
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité
MCC	Maintenance Corrective Curative
MDT	Mean Down Time : temps moyen d'indisponibilité
MPC	Maintenance préventive Conditionnelle
MPS	Maintenance préventive Systématique
MSG	Maintenance steering Group
MTBF	Mean Time Between Failure : temps moyen de fonctionnement entre défaillances
MTTR	Mean Time To Repair : temps d'indisponibilité après défaillance

MUT	Mean Up Time : temps moyen de disponibilité
Pc ₁	Probabilité de la cause de défaillance 1
Pc ₂	Probabilité de la cause de défaillance 2
Pc ₃	Probabilité de la cause de défaillance 3
P _m	Probabilité de marche avec dégradation sans perte
P _d	Probabilité de fonctionnement en mode dégradé
P _a	Probabilité pour l'arrêt
P _o	Probabilité de fonctionnement en régime nominal
l(d)	Fonction de perte
P.M.E.	Petites et Moyennes Entreprises
P.M.I.	Petites et Moyennes Industries
PMT	Plan de Maintenance Technique
PMO	Plan de Maintenance Optimisé
rex	Retour d'expérience
Rd	Risque de décision
RCM	Reliability Centred Maintenance
SdF	Sûreté de Fonctionnement
SOGMBREX	Stratégie d'organisation et de gestion de la maintenance basée sur le retour d'expérience.
SEOGIE	Sortant ,entrant, organisation, gestion interne, environnement extérieur
T.M	Tâche de management
TPM	Total Productive Maintenance ou parfois Total Productive Management
TRS	Taux de Rendement Synthétique (ou TRG : Taux de Rendement Global)
TBF	Taux brut de fonctionnement
TP	Taux de performance
TQ	Taux de qualité
SPC	Statistic Process Control (l'équivalent anglais de MSP)
TR	Temps de Rémission

LISTE DES FIGURES

PARTIE I

- Figure 1.1:* Décomposition hiérarchique d'un équipement de Production
- Figure 1.2:* Structure hiérarchique
- Figure 1.3:* Structure fonctionnelle
- Figure 1.4:* Structure hiérarchico-fonctionnelle
- Figure 1.5:* Structure divisionnelle
- Figure 1.6:* Structure matricielle
- Figure 1.7:* Mise en place d'un retour d'expérience
- Figure 1.8:* Modélisation de l'effet de la maintenance
- Tableau 1.1:* Avantages et inconvénients de chaque type de Structure
- Tableau 1.2:* Classement des formes structurelles théoriques
- Tableau 1.3:* Tableau de synthèse

PARTIE II

- Figure 2.1:* Proposition d'un nouveau type de structure
- Figure 2.2:* Nouvelle stratégie de maintenance
- Figure 2.3:* Structure pour la valorisation des moyens humains
- Figure 2.4:* Transfert des tâches de maintenance niveau 1 à la production
- Figure 2.5:* Nouvelles relations maintenance/production
- Figure 2.6:* Principe de l'inférence bayésienne
- Figure 2.7:* Démarche prédictive de Zhao et Jacob
- Figure 2.8:* Etat du système
- Figure 2.9:* Modélisation de la démarche de l'aide à la décision
- Figure 2.10:* Le classement basé sur la criticité

<i>Figure 2.11:</i>	Méthodologie de maintenance corrective
<i>Figure 2.12:</i>	SOGMBREX
<i>Figure 2.13:</i>	Schéma général inter-relationnel
<i>Graphique 2.1:</i>	Tracé de l'hypothèse de Khi-deux.
<i>Tableau 2.1:</i>	Représentation des différentes familles
<i>Tableau 2.2:</i>	Contenu d'un tableau AMDEC
<i>Tableau 2.3:</i>	Correspondance indice d'occurrence et taux de défaillance
<i>Tableau 2.4:</i>	Correspondance indice d'occurrence et taux de réparation
PARTIE III	
<i>Figure 3.1:</i>	système des profiteurs de la panne
<i>Figure 3.2:</i>	logigramme de décision des tâches de maintenance
<i>Figure 3.3:</i>	représentation de l'historique des causes de défaillance
<i>Figure 3.4:</i>	Tracé de la fonction de vraisemblance de disponibilité
<i>Figure 3.5:</i>	structure de la CICAM 1
<i>Graphique 3.1:</i>	Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 1
<i>Graphique 3.2:</i>	Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 2
<i>Graphique 3.3:</i>	Tracé de la distribution a priori, vraisemblance et a posteriori de la cause 3
<i>Graphique 3.4:</i>	Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour k=1 et a priori uniforme informative et non informative.
<i>Graphique 3.5:</i>	Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour k=4 et a priori uniforme informative et non informative
<i>Graphique 3.6:</i>	Tracé de la distribution de disponibilité a posteriori pour k=5 et a priori uniforme informative et non informative.
<i>Tableau 3.1:</i>	Présentation de quelques PME/PMI Camerounaises

<i>Tableau 3.2:</i>	Effectifs, taux de panne et coût de maintenance
<i>Tableau 3.3:</i>	Extrait de la décomposition organique des équipements de la rame V
<i>Tableau 3.4:</i>	Extrait de l'AMDEC de la rame V
<i>Tableau 3.5:</i>	Extrait des planifications, tâches et décisions
<i>Tableau 3.6:</i>	politique de maintenance sur le composant critique de la rame V
<i>Tableau 3.7:</i>	Historique des causes de défaillance sur le composant critique
<i>Tableau 3.8:</i>	les différentes valeurs de la fonction de densité de probabilité a priori, vraisemblance et a posteriori
<i>Tableau 3.9:</i>	Tableau présentant les résultats du calcul de la fiabilité
<i>Tableau 3.10:</i>	Historique de la Rame V
<i>Tableau 3.11:</i>	Calcul de la MTBF et du MTTR
<i>Tableau 3.12:</i>	Calcul de C_d et C_{ind} et $C_{r.m}$
<i>Tableau 3.13:</i>	Déduction des conséquences économiques
<i>Tableau 3.14:</i>	Expression de l'espérance
<i>Tableau 3.15:</i>	Résultats financiers de la CELLUCAM

ANNEXES

A1 : FICHE D'ENQUETE

QUESTIONNAIRE DE L'ENQUETE**1. NOM ET ACTIVITE DE L'ENTREPRISE**

- Nom :
- Activité :

2. ADRESSE TELEPHONE, TELECOPIE, RAISON SOCIALE.

- Adresse :
- Téléphone :
- Télécopie :
- Raison sociale :

3. EFFECTIFS ET CHIFFRE D'AFFAIRE

- Effectif global :
- Effectif du service de maintenance :
- Chiffre d'affaires :
- Nombre total de machines et équipements industriels :

4. QUALIFICATION DU PERSONNEL

- Nombre de cadres et ingénieurs :
(titulaire d'un diplôme bac +3 et plus)
- Nombre d'agents de maîtrise :
(titulaire d'un diplôme bac à bac +2)
- Nombre d'agent titulaire d'un diplôme du niveau B.E.P. et/ou C.A.P.
 - **B.E.P.**
 - **C.A.P.**
 -
- Nombre d'agents sans qualification :

1. INDICATEUR DE PERFORMANCE EN MAINTENANCE :

- Nombre de pannes par jour :
- Temps de panne par jour :
- Temps de diagnostic par jour :
- Temps de réparation par jour :
- Temps de bon fonctionnement par jour :

2. INDICATEURS MENSUELS DE COÛT EN MANTENANCE

- Coût mensuel de maintenance :
- Coût de la sous-traitance :
- Coût des matières :
- Coût de main d'œuvre :
- Frais généraux de maintenance :

**A2 : FICHE DE RAPPORT
D'INTERVENTION**

RAPPORT D'INTERVENTION

Nom : _____ Date:.....
 N°
 Identification :.....

Nom de l'intervenant: _____ Durée Intervention:

Secteur: Durée arrêt de production:.....

Elément concerné :..... Equipement concerné:.....

Défaillance:

Cause

Mécanique
 Hydraulique
 Pneumatique
 Electrique
 Electronique

Panne machine
 Matière première
 Convoyage/encadrement
 Divers

Type:

Appel Sous-traitant:

Correctif Modification oui

Préventif Travaux neuf non

Anomalie constatée:

Description de l'intervention	Pièces remplacées

A3 : FICHES MBF

SITE

USINE
CICAM 1

LIGNES OU SECTEURS	A BLANCHIMENT	B LAVAGE	C TEINTURE	D IMPRESSION	E FINISSAGE	F PLIAGE	G ENERGIE	H LABORATOIRE
	A -1		C -1	D -1	E -1	F -1	G -1	
	221	231	291	431	512	611	841	111
MACHINES	222	232	292	432	513	612	842	112
IMPLIQUEES	223	233	293	433	514	F -2	844	113
	A -2	234	294	D -2	515	621	845	114
	212		295	241	E -2	622	G -2	115
			C -2	D -3	521	623	871	116
			281	412	522	624	872	116
			282	413		625	873	117
			283	414		626	G -3	118
			284	415		F -3	861	
			285	416		691	862	
			286	D -4		692	863	
			287	711		F -4	864	
			C -3	713		641	G -4	
			271	714		642	855	
			272	D -5		643	857	
			273	721		644	G -5	
			C -4	722		F -5	888	
			263	723		651	G -6	
			264	724		652	891	
			C -5	725		653	892	

NOMENCLATURE

A		E	
BLANCHIMENT		FINISSAGE	
A-1 PREPARATION	221 Benninger 222 Foulard Osthoff (Flambeuse) 223 Foulard Brugman	E -1 RAMES	512 Rame II 513 Rame III 514 Rame IV 515 Rame V
A-2	212 Visiteuse 2 Ecrus	E -2 CALANDRAGE	521 Calandre 522 Gaufreuse
B		F	
LAVAGE		PLIAGE	
	231 Laveuse I 232 Laveuse Saic 233 Laveuse III 234 Mini Fluid Goller	F -1 VISITE PLIAGE	611 Enrouleuse I 612 Enrouleuse II
		F -2 DOSSAGE PLIAGE	621 Doseuse I Doseuse Plieuse 622 II Plieuse/métreuse 623 III Plieuse/métreuse 624 IV Plieuse/métreuse 625 V Plieuse/métreuse 626 VI
C			
TEINTURE			
C-1 TEINTURE JIGGER	291 Jigger I		
	292 Jigger II		

	293 Jigger III
	294 Jigger IV
	295 Jigger V (nouveau)
C-2 TEINTURE EPONGE	281 Ecosoft
	282 Jet 80
	283 Jet (THIES)
	284 Gyrostock
	285 Ouvreuse Bianco
	286 Essoreuse
	287 Détorsionneuse Bianco

C-3 TEINTURE FOULARD	271 Foulard Amdes
	272 Hot Flue
	273 Foulard Artos

C-4 TEINTURE SYNTHETIQUE	263 Autoclave III
	264 Autoclave IV

C-5 PASSERELLE DROGUES	251 Pompes/Mélangeurs
	252 Palan

D -1 ROTATIVES	431 Rotative I (oret)
	432 Rotative II
	433 Rotative III

F -3 PLIAGE SYNTHETIQUE	691	Dosseuse/plaque tte N° I
	692	Dosseuse/plaque tte N° II
F -4 EMBALLAGE	641	Presse I
	642	Presse II
	643	Presse III
	644	Plastifieuse
F -5 CERCLAGE	651	Cercleur I
	652	Cercleur II
	653	Cercleur III

G		
ENERGIE		
G -1 APPROVISIONNEMENT VAPEUR	841	Chaudière I
	842	Chaudière II
	844	Chaudière IV
	845	Chaudière à huile
G -2 APPROVISIONNEMENT AIR	871	Compresseur I
	872	Compresseur II
	873	Compresseur III (nouveau)
G-3 APPROVISIONNEMENT ELECTRIQUE	861	Transformateur I
	862	Transformateur II
	863	Transformateur III

D -2	FIXATION	241 Foulard Gerber
D -3	CUISINE A COULEURS	412 Pompes/Mélangeurs 413 Bascules/Levage 414 Tamiseuses 415 Station CTRL Echantillon/couleur 416 Machine à laver les bidons
D -4	CALQUAGE	711 Copieuse SCR 75 713 Tireuse DARNEY 714 Paralux
D -5	PHOTO	721 Caméra BOUZARD 722 Chambre caméra REPROMASTER 723 Chassis Pneumatique I (petit) 724 Chassis Pneumatique II (grand) 725 Lucop LUSCHER
D -6	GRAVURE	731 Machine à graver les cylindres 732 Machine d'enduction SCR 75 733 Armoire de climatisation

	864	Transformateur IV
G-4 APPROVISIONNEMENT EAU	855	Traitement eau
	857	Pompage eau
G -5 APPROVISIONNEMENT CARBURANT	888	Pompe MOUVEX
G -6 DIVERS USINE	891	Bassin de décantation
	892	Neutralisation fumée

H		
LABORATOIRE		
	111	Autoclave labo
	112	Teinture Biberon
	113	Four micro onde
	114	Machine à laver labo
	115	Foulard labo
	116	Appareil de distillation
	117	Agitateur
	118	Visiteuse 1 labo

Analyse Fonctionnelle					F3		
Secteur:FINISSAGE					FINISSAGE		
Date:19 avril 1999							
DF	Modes de défaillance fonctionnelles classées	Moyens de détection		Criticité*			
				G	F	C	
1.1	Mauvaise expression	Tactile		2	3	6	
1.2	Absence d'alimentation	Visuel		4	3	12	
2.1	Introduction difficile	Visuel		4	4	16	
2.2	Problème de lubrification	Visuel		4	3	12	
2.3	Absence de transport	Visuel		4	2	8	
2.4	Transport difficile	Voyant		3	2	6	
3.1	Absence de séchage	Visuel ou tactile		3	3	9	
3.2	Mauvais séchage	Visuel ou tactile		2	1	2	
4.1	Problème de nettoyage	Visuel		2	3	6	
4.2	Absence de la mise en largeur	Visuel		4	1	4	
5.1	Absence de transport	Visuel		4	4	16	
5.2	Absence d'alimentation	Visuel		2	2	4	
6.1	Absence d'alimentation	Contrôle final		4	3	12	

Procédure MBF-Fiche 5: Hiérarchisation des modes de défaillances et des causes associées

ANALYSE DES MODES ET CAUSES DE DEFAILLANCES ET LEURS EFFETS							F5			
Projet: C1CAM 1 Equipement: RAME 5				Secteur: FINISSAGE Date: 19 avril 1999						
EM	Éléments	MD	Modes de défaillance	CD	Causes de défaillance classées	Effets de la défaillance	CRITICITE			
							G	F	C	
2.2.C	Tâteurs guide-lisières	2.1	Introduction difficile	2.1.C	Défaut d'isolement	Arrêt machine	4	4	16	
2.2.B	Ouvre-pinces	2.1	Introduction difficile	2.1.B	Membranes usées	Arrêt machine	4	4	16	
2.2.A	Ouvre-lisière à deux carottes	2.1	Introduction difficile	2.1.A	Arrêt du moteur d'entraînement	Arrêt machine	4	4	16	
2.1.B	Gicleurs	2.2	Problème de lubrification	2.2.B	Gicleurs cassés ou bouchés	Arrêt lubrification	3	4	12	
2.3.B	Rouleaux de guidage	2.3	Absence de transport	2.3.A	Bout d'axe cassé ou usé	Arrêt machine	4	3	12	
3.1.A	Filtres circulaires	3.1	Absence de séchage	3.1.A	Accumulation de duvets	Blocage air	3	4	12	
4.2.B	Chaîne de transmission	4.2	Absence mise en largeur	4.2.A	Rupture chaîne	Arrêt machine	4	3	12	
4.2.E	Moteur électrique	4.2	Absence mise en largeur	4.2.B	Rotor pas alimenté	Arrêt machine	4	3	12	
5.1.A	Moteur électrique principal	5.1	Absence de transport	5.1.A	Induit pas alimenté	Arrêt machine	4	3	12	
6.1.B	Détecteurs de déchirures	6.1	Absence d'alimentation	6.1.B	Mauvais contact	Arrêt machine	4	3	12	
3.1.D	Moto-ventilateurs	3.1	Absence de séchage	3.1.B	Moteurs grillés	Arrêt machine	4	2	8	
1.1.H	Motopompe électrique	1.2	Absence d'alimentation	1.2.C	Enroulements coupés	Arrêt naphtolage	4	2	8	
2.3.C	Rouleau d'entrée	2.3	Absence de transport	2.3.B	Rouleau bloqué	Arrêt machine	4	2	8	
2.3.H	Moteur électrique	2.3	Absence de transport	2.3.C	Moteur bloqué	Arrêt machine	4	2	8	
3.1.C	Extracteur de fumée	3.2	Mauvais séchage	3.2.B	Moteur grillé	Gêne production	2	4	8	
6.1.A	Arrêts d'urgence	6.1	Absence d'alimentation	6.1.A	Mauvais contact	Arrêt machine	4	2	8	
6.2.G	Fusibles	6.1	Absence d'alimentation	6.1.J	Fusibles fondus	Arrêt machine	4	2	8	
1.1.D	Moto réducteur	1.2	Absence d'alimentation	1.2.B	Disjonction du moteur	Arrêt machine	2	3	6	
6.2.E	Disjoncteur	6.1	Absence d'alimentation	6.1.H	Disjoncteur du moteur	Arrêt machine	2	3	6	
1.1.E	Rouleaux presseurs	1.1	Mauvaise expression	1.1.A	Rouleaux usés	Gêne pour qualité du tissu	2	3	6	
2.2.G	Chaîne de fond	2.4	Transport difficile	2.4.A	Mauvais réglage chaîne	Gêne pour choix de vitesse	3	2	6	
2.3.A	Redresseurs de fils de trame	2.4	Transport difficile	2.4.B	Fin de course cassée	Gêne production	3	2	6	
4.1.B	Dispositif de nettoyage	4.1	Problème de nettoyage	4.1.A	Moteur grillé ou brosse usé	Gêne production	2	3	6	

1.1.C	Chaîne de transmission	1.2	Absence d'alimentation	1.2.A	Chaîne coupée	Arrêt machine	4	1	4
6.2.A	Interrupteurs	6.1	Absence d'alimentation	6.1.D	Mauvais contact	Arrêt machine	4	1	4
6.2.B	Boutons poussoir	6.1	Absence d'alimentation	6.1.E	Mauvais contact	Arrêt machine	4	1	4
6.2.C	Autotransformateur	6.1	Absence d'alimentation	6.1.F	Enroulements coupés	Arrêt machine	4	1	4
6.2.F	Relais thermiques	6.1	Absence d'alimentation	6.1.I	Bobine coupée	Risque de surcharge	4	1	4
6.2.H	Contacteurs	6.1	Absence d'alimentation	6.1.K	Bobine coupée	Arrêt machine	4	1	4
6.2.I	Ponts redresseurs	6.1	Absence d'alimentation	6.1.L	Diode passante dans les deux sens	Arrêt machine	4	1	4
1.1.K	Rouleaux de guidage	1.2	Absence d'alimentation	1.2.E	Roulements défectueux	Gêne production	3	1	3
2.1.A	Motopompe électrique	2.2	Problème de lubrification	2.2.A	Disjonction du moteur	Arrêt lubrification	3	1	3
6.1.C	Fin de course du plieur	6.1	Absence d'alimentation	6.1.C	Mauvais contact	Gêne production	3	1	3
6.2.D	Rhéostats	6.1	Absence d'alimentation	6.1.G	Rhéostats cassés	Gêne pour réglage	3	1	3
3.1.B	Radiateurs	3.2	Mauvais séchage	3.2.A	Fuite du radiateur	Gêne production	2	1	2
5.3.A	Vérin hydraulique	5.2	Absence d'alimentation	5.2.B	Fuite d'huile du vérin	Gêne pour utilisation plieur	2	1	2
5.4.C	Tambour refroidisseur	5.2	Absence d'alimentation	5.2.C	Bout d'axe bloqué ou absence d'eau	Gêne production	1	1	1

PLANIFICATION DES TÂCHES				F7	
Projet: CICAM 1 Equipement: RAME 5			Secteur: FINISSAGE Date: 28 Avril 1999		
Éléments	Tâches	Intervenants	Commentaires	Date intervention	
Rame 5	Effectuer des tests sur les interrupteurs	Production		Journalier	
Rame 5	Effectuer des tests sur les boutons poussoir	Production		Journalier	
Rame 5	Effectuer des tests sur le disjoncteur	Production		Journalier	
Rame 5	Effectuer des tests sur les arrêts d'urgence	Production		Journalier	
Rame 5	Contrôler l'étanchéité des membranes du vérin hydraulique	Production		Tous les deux jours	
Rame 5	Effectuer des tests sur les détecteurs de déchirures	Production		Tous les deux jours	
Rame 5	Vérifier usure des carottes.	Production		Tous les trois jours	
Rame 5	Nettoyer les gicleurs	Production		Tous les trois jours	
Rame 5	Contrôle usure de la membrane des ouvre-pinces	Production		Hebdomadaire	
Rame 5	Enlever les duvets sur les filtres	Production		Hebdomadaire	
Rame 5	Contrôle des brosses et la rotation des moteurs du dispositif de nettoyage	Production		Hebdomadaire	
Rame 5	Nettoyer le motopompe électrique	Production			
Rame 5	Vérifier la rotation des deux petits moteurs des carottes	Production			
Rame 5	Contrôle l'étanchéité des radiateurs.	Production			
	Validation (groupe management)Date.....				

PLANIFICATION DES TÂCHES				F7
Projet: CICAM 1 Equipement: RAME 5		Secteur: FINISSAGE Date: 28 Avril 1999		
Éléments	Tâches	Intervenants	Commentaires	Date intervention
Rame 5	Effectuer des tests et remplacer dès que le test n'est pas concluant	Maintenance		Hebdomadaire
Rame 5	Tester la continuité des fusibles	Maintenance		Bimensuel
Rame 5	Vérifier rotation et équilibre des phases des moteurs d'extraction	Maintenance		Bimensuel
Rame 5	Contrôler la membrane du vérin pneumatique	Maintenance		Bimensuel
Rame 5	Souffler les moto ventilateurs	Maintenance		Bimensuel
Rame 5	Vérifier tension et jeu entre les maillons de la chaîne de transmission	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Graissage de la chaîne de transmission	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier rotation et accouplement du moto réducteur des foulards	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Souffler ces moteurs	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Prise des empreintes des rouleaux presseurs	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier jeux axial et radial de ses bouts d'arbre	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Contrôler l'état des roulements de ces rouleaux	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier rotation du moto pompe électrique	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Nettoyer ce moto pompe	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Contrôler isolement de ses enroulements	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier jeux axial et radial des rouleaux de guidage	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier protection des conducteurs des tateurs guide-lisières	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier tension chaîne de fond, état tige filetée, usure des maillons	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier état des disques, des roulements, des pinces, des moyeux	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier état des chaînes, des paliers du redresseur de fils de trame	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier jeu axial et radial, état des roulements du rouleau d'entrée	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier son embrayage, ses accouplements et sa chaîne	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier la rotation de son moteur électrique, le nettoyer	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier rotation du moteur électrique principal et l'équilibre des phases	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Mesurer les tensions d'entrée et de sortie	Maintenance		Mensuel

Rame 5	Vérifier le bon état de la bobine des relais thermiques	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Tester le bon fonctionnement des contacteurs	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Tester la conduction des diodes	Maintenance		Mensuel
Rame 5	Vérifier l'état des roulements du tambour refroidisseur	Maintenance		Tous les deux mois
Rame 5	Tester le bon fonctionnement des rhéostats et remplacer au cas échéant	Maintenance		Tous les deux mois
Validation (groupe management) :				Date :