

Titre: Conception d'un système de maintenance à l'aide de la simulation
par ordinateur : application à la Société des ciments d'Onigbolo
(SCO)
Title:

Auteur: Kouassi Dominique Ekon
Author:

Date: 1999

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Ekon, K. D. (1999). Conception d'un système de maintenance à l'aide de la
simulation par ordinateur : application à la Société des ciments d'Onigbolo (SCO)
Citation: [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/8693/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/8693/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Laurent Villeneuve
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE MAINTENANCE À L'AIDE
DE LA SIMULATION PAR ORDINATEUR : APPLICATION
À LA SOCIÉTÉ DES CIMENTS D'ONIGBOLO (SCO)**

KOUASSI DOMINIQUE EKON

**DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)**

JUIN 1999



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-46648-5

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

**CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE MAINTENANCE À L'AIDE
DE LA SIMULATION PAR ORDINATEUR : APPLICATION
À LA SOCIÉTÉ DES CIMENTS D'ONOGBOLO (SCO)**

présenté par : EKON Kouassi Dominique

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. GHOSH Kalyan, D.Eng., président

M. VILLENEUVE Laurent, M.Eng., membre et directeur de recherche

M. BOLDUC Éric, M.B.A., membre

À Laurette

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce document a nécessité la collaboration et l'appui de plusieurs personnes et institutions. C'est pourquoi je m'en voudrais de ne pas remercier :

- ❖ Le Programme Canadien de Bourses de la Francophonie qui m'a soutenu financièrement et moralement tout au long des deux années de formation, et donc sans lequel cette recherche ne pourrait être faite.
- ❖ Mon directeur de recherche, Laurent Villeneuve, pour la patience dont il a fait preuve pour me diriger dans ce travail. Il a cru en moi et m'a soutenu tout au long de mes recherches par ces conseils judicieux, son appui a été pour moi une source de réconfort et de persévérance.
- ❖ Le membre du jury, Éric Bolduc, pour ses critiques, remarques et conseils et surtout son intérêt pour cette recherche. Il a été d'un grand secours pour moi dans l'aboutissement de ce travail.
- ❖ Le président du jury, Kalyan Ghosh, pour toutes ses remarques et critiques et pour avoir accepté de juger ce travail.

- ❖ Les professeurs du département de mathématiques et de génie industriel pour m'avoir transmis leurs connaissances tout au long de ma formation.
- ❖ Tout le personnel de la Société des Ciments d'Onigbolo pour l'intérêt qu'il porte à cette recherche, sa compréhension, sa collaboration et son aide lors de la collecte des données.

RÉSUMÉ

Les points faibles d'une industrie constituent des freins pour la productivité. Ils varient d'un secteur d'activité à un autre et d'une industrie à une autre. Les départements de production et de maintenance constituent, pour la plupart des usines, ceux dont la gestion pose des problèmes, car les outputs de l'entreprise dépendent d'eux. Les ingénieurs sont donc appelés à travailler sur ces derniers afin d'améliorer continuellement le rendement de l'entreprise.

L'un des points faibles de la SCO est la gestion de la maintenance des équipements fixes de production. La maintenance est la source de plusieurs difficultés rencontrées au sein de l'usine. En effet, la production annuelle de la société est restée inférieure à 40% de sa capacité nominale depuis sa mise en service en 1982. Ses performances actuelles sont alarmantes. Les trois équipements principaux, le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment, occupent 90% des temps de pannes de l'usine. En 1997, la disponibilité du broyeur à cru et broyeur à ciment était 51%, tandis que celle du four était de 46%. La situation de l'entreprise est aggravée par la diminution de la performance des équipements de production. Cette dernière tourne aux environs de 43% en 1997. Le rendement global des installations de la SCO se trouve donc affecté et est de 25% en 1997.

La simulation par ordinateur est utilisée pour détecter les causes des temps d'attentes au niveau des équipements fixes de la SCO. Ces causes sont de plusieurs ordres : techniques, sociales et organisationnelles. Les mises en situation ont permis la détermination du nombre optimum d'équipes d'intervention sur le plancher de l'usine. La constitution des équipes de maintenance dans le but de diminuer les temps de réponse a été faite par le biais du logiciel de simulation "Taylor II". La prise en compte de tous les équipements de l'usine nous a permis de situer les sources des arrêts prolongés au broyeur à ciment. Une priorité a donc été établie dans l'exécution des tâches de maintenance sur les machines.

Les conditions actuelles de fonctionnement de la SCO de même que les problèmes économiques et socioculturels nous ont poussé à proposer une politique de maintenance prédictive pour la résolution des problèmes de disponibilité des équipements et d'organisation du service de maintenance. La mise en place de cette nouvelle structure et la formation du personnel se feront étape par étape. Une attention particulière est accordée à la coordination entre la formation et le transfert de certaines tâches de maintenance aux opérateurs, afin de s'assurer que ces derniers possèdent les outils techniques nécessaires pour l'exécution des tâches qui leur sont confiées. C'est une structure qui devrait s'autofinancer car, les gains obtenus des structures mises en places devraient servir à l'implantation des étapes suivantes de la politique de maintenance. Ce qui devrait faciliter l'obtention de l'appui de la direction de l'usine au service maintenance dans l'implantation de sa nouvelle politique de maintenance.

ABSTRACT

Industry weak points constitute productivity handicaps. These weak points vary from sector to sector and from one industry to another one. Maintenance and production are two very important departments for most of the industries. Rigorous management of activities is essential for functioning of industry because all outputs depend on it. Engineers must work hard on those departments to improve the plant efficiency continuously.

The “Société des Ciments d’Onigbolo” (SCO) is not any exception to the above. The management of fixed equipment is one of these weak points. Maintenance is the root cause of many problems in this industry. With that in mind, SCO annual production has been under 40 per cent since the beginning of the production in 1982. The actual performances of the equipment are terrible. The three main equipment, limostone crusher, kiln and, cement crusher constitute 90 per cent of the downtimes. In 1997, availability of raw and cement crusher was 51 per cent therefore, availability of kiln was 46 per cent. The situation is deteriorated by the diminution of equipment performance. In 1997, this performance was under 43 per cent for each of the three main equipment. Then, the overall equipment effectiveness (OEE) of the whole installation was 25 per cent in the same year.

Computer simulation is used to detect the origins of the awaiting times of SCO fixed equipment. This simulation is written in "Taylor II" language. Results of the simulation have shown that the causes are technical, social and organisational. Experiences help us to find the optimum number team and its constitution so as to decrease the awaiting times in the plant. The simulation that takes into account all the equipment of the enterprise shows that the origin of downtime lies at the cement crushing. Priority must be given to some equipment during the execution of maintenance tasks in our proposed solutions.

SCO actual functioning conditions, economic and cultural problems have forced us to propose predictive maintenance for each equipment in the plant. This kind of maintenance is to help us to resolve equipment availability and maintenance management problems. The implementation of the new structure and employees training will be done step by step. Particular attention will be given to coordinate training and transfer of maintenance tasks to operators so as to make sure that the operators get the necessary technical tools to execute those tasks. It is a structure that has to finance itself because the gains obtained in the implementation of the initial steps of the structure have to serve to implement the subsequent steps. This will facilitate the general management of enterprise to support the maintenance service on its new way to maintain the plant.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	IV
REMERCIEMENTS	V
RÉSUMÉ.....	VII
ABSTRACT	IX
TABLE DES MATIÈRES	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XVI
LISTE DES FIGURES	XVIII
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	XIX
LISTE DES ANNEXES.....	XX
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA SITUATION GÉNÉRALE DE LA SOCIÉTÉ DE CEMENTS D'ONIGBOLO (SCO).....	4
1.1. GÉNÉRALITÉS.....	4
1.1.1 RAISONS DE LA CRÉATION DE LA SCO	4
1.1.2 AVANTAGES DE LA SCO PAR RAPPORT AUX AUTRES CIMENTERIES	5

1.1.3 LES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION DE LA SCO.....	6
1.1.3.1 Concassage	7
1.1.3.2 Broyage à cru.....	8
1.1.3.3 Four.....	8
1.1.3.4 Broyage du ciment.....	9
1.1.3.5 Ensachage.....	10
1.2 DESCRIPTION DE LA SITUATION ACTUELLE.	10
1.2.1 GESTION DES COÛTS DE PRODUCTION.....	11
1.2.2 PROBLÈMES LIÉS À LA GESTION DE LA MAINTENANCE.....	13
1.2.2.1 Sur le plan structurel et organisationnel.....	15
1.2.2.2 Gestion du personnel de maintenance.....	17
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS DES	
DONNÉES DE MAINTENANCE ET DE PRODUCTION.....	21
2.1 LA PRODUCTION À LA SCO.....	21
2.2 LES ARRÊTS AU NIVEAU DES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS DE LA	
SCO.....	22
2.2.1 BROEUR À CRU	23
2.2.2 LE FOUR	24
2.2.3 LE BROEUR À CIMENT	24
2.3 ÉTUDE DES PANNES MÉCANIQUES À LA SCO.....	26

2.3.1 LE BROYEUR À CRU	28
2.3.2 LE FOUR	30
2.3.3 LE BROYEUR À CIMENT	32
CHAPITRE 3 : LES PERFORMANCES ACTUELLES DE LA SOCIÉTÉ DES CIMENTES D'ONIGBOLO (SCO)	37
3.1 LES RATIOS TECHNIQUES DE LA MAINTENANCE.....	37
3.1.1 DISPONIBILITÉ DES SYSTÈMES.....	37
3.1.2 PERFORMANCE DES SYSTÈMES	40
3.1.3 LE TAUX DE LA QUALITÉ.....	42
3.1.4 DÉTERMINATION DU TAUX DE RENDEMENT SYSTÉMIQUE OU O.E.E.....	43
3.1.5 RATIOS DE FIABILITÉ	44
3.2 RATIOS ÉCONOMIQUES DE LA MAINTENANCE.....	45
3.3 LES RATIOS DE MAIN-D'ŒUVRE	48
CHAPITRE 4 : CONCEPTION DU MODÈLE DE SIMULATION DE LA SCO	52
4.1 POURQUOI LA SIMULATION PAR ORDINATEUR ?.....	52
4.1.1 LES AVANTAGES DE LA SIMULATION PAR ORDINATEUR.....	54
4.1.1.1 <i>Avantages techniques</i>	54
4.1.1.2 <i>Avantages économiques</i>	55

4.1.2	LES INCONVÉNIENTS DE LA SIMULATION PAR ORDINATEUR.....	55
4.2	CHOIX DU LANGAGE DE SIMULATION.....	56
4.3	REVUE DE LA LITTÉRATURE	58
4.4	LA MODÉLISATION DU SYSTÈME DE PRODUCTION ET DE MAINTENANCE DE LA SCO	60
4.4.1	DESCRIPTION DU MODÈLE.....	60
4.4.2	LES DONNÉES DU MODÈLE DE SIMULATION.....	61
4.4.2.1	<i>Le temps de processus</i>	<i>62</i>
4.4.2.2	<i>La moyenne des temps entre défaillance ou MTBF</i>	<i>66</i>
4.4.2.3	<i>La moyenne des temps de réparation ou MTTR</i>	<i>68</i>
4.4.3	FORMULATION DES HYPOTHÈSES DE LA SIMULATION.....	70
4.4.4	VALIDATION DU MODÈLE	72
4.4.5	ANALYSE DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION DU MODÈLE	73
CHAPITRE 5	: MISES EN SITUATION ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS.....	75
5.1	PREMIÈRE MISE EN SITUATION : NOMBRE D'ÉQUIPES D'INTERVENTION	75
5.1.1	DESCRIPTION DE LA SITUATION.....	76
5.1.2	PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	77

5.2 DEUXIÈME MISE EN SITUATION : DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION DES ÉQUIPES.....	78
5.3 TROISIÈME MISE EN SITUATION : PRISE EN COMPTE DES ÉQUIPEMENTS CONNEXES	82
CHAPITRE 6 : GESTION ET PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE À LA SCO.....	86
6.1 DÉFINITION DES NIVEAUX DE MAINTENANCE.....	86
6.2 POLITIQUE DE MAINTENANCE.....	87
6.2.1 POLITIQUE DE MAINTENANCE PRÉDICTIVE.....	88
6.2.2 MISE EN PLACE DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE PRÉDICTIVE À LA SCO.....	90
6.2.3 DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE ACTUELLE À LA MAINTENANCE PRÉDICTIVE	93
6.2.4 LES INDICES D'ÉVALUATION DU NIVEAU D'AVANCEMENT.....	98
6.2.5 FORMATION DU PERSONNEL.....	101
6.3 ÉVALUATION DES COÛTS DE LA NOUVELLE POLITIQUE DE MAINTENANCE.....	102
CONCLUSION	107
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	110
ANNEXES	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Production annuelle à la SCO pour les cinq dernières années.....	22
Tableau 2.2 : Répartition des arrêts au Broyeur à cru.....	23
Tableau 2.3 : Répartition des arrêts au Four.....	24
Tableau 2.4 : Répartition des arrêts au Broyeur à ciment.....	25
Tableau 2.5 : Causes des arrêts mécaniques au broyeur à cru.....	29
Tableau 2.6 : Tableau des arrêts mécaniques au Four.....	31
Tableau 2.7 : Répartition des arrêts mécaniques au Broyeur à ciment.....	34
Tableau 3.1 : Tableau des temps de marche pour les principaux équipements.....	38
Tableau 3.2 : Disponibilité des principaux équipements de production.....	39
Tableau 3.3 : Performance des principaux équipements de production de la SCO....	41
Tableau 3.5 : Taux de rendement systémique ou O.E.E.....	43
Tableau 3.6 : Production moyenne journalière actuelle de la SCO.....	44
Tableau 3.7 : Coûts de maintenance par département.....	46
Tableau 3.8 : Coût de maintenance vs coûts variables de production.....	47
Tableau 4.1 : Résumé des temps de panne de deux ou trois équipements à la fois....	73
Tableau 5.1 : Résumé des résultats de la détermination du nombre d'équipes	77
Tableau 5.2 : Résumé des résultats de la détermination du nombre d'intervenants....	79
Tableau 5.3 : Résumé de l'impact économique du nombre d'équipes d'intervention.....	81

Tableau 5.4 : Comparaison des temps d'attente au niveau des équipements	
principaux	83
Tableau 6.1 : Résumé des cinq niveaux de maintenance.....	86
Tableau 6.2 : Coûts de l'implantation des techniques de maintenance prédictive....	103

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma de processus de fabrication du ciment à la SCO.....	7
Figure 1.2 : Organigramme de la direction technique de la SCO.....	16
Figure 1.3 : Organigramme du Service entretien mécanique (SEM).....	17
Figure 1.4 : Organigramme du service entretien électrique et électronique.....	18
Figure 2.1 : Histogrammes des arrêts mécaniques au Broyeur à Cru.....	28
Figure 2.2 : Histogrammes des arrêts mécaniques au Four.....	30
Figure 2.3 : Histogrammes des arrêts mécaniques au Broyeur à Ciment.....	33
Figure 4.1 : Courbe de densité du temps de processus au concasseur.....	63
Figure 4.2 : Courbe de densité du temps de processus du broyeur à cru.....	64
Figure 4.3 : courbe de densité du temps de processus du four.....	64
Figure 4.4 : Courbe de densité du temps de processus du broyeur à ciment.....	65
Figure 4.5 : Courbe de densité du temps de processus de l'ensachage.....	66
Figure 4.6 : Courbe de densité des MTBF au broyeur à cru.....	67
Figure 4.7 : Courbe de densité des MTBF au four.....	67
Figure 4.8 : Courbe de densité des MTBF au broyeur à ciment.....	68
Figure 4.6 : Courbe de densité des MTTR au broyeur à cru.....	69
Figure 4.10 : Courbe de densité des MTTR au four.....	69
Figure 4.11 : Courbe de densité des MTTR au broyeur à ciment.....	70

LISTE DES ABRÉVIATIONS

FCFA : Franc de la Communauté Française d'Afrique. (Devise utilisé au Bénin)

Nbre : Nombre.

SCB : Société des Ciments du Bénin.

SCO : Société des Ciments d'Onigbolo. (Onigbolo est un village du Bénin)

TPM : Total Productive Maintenance. (Maintenance Productive Totale)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A :	Capacité des principaux équipements de la SCO.....	113
ANNEXE B :	Différents tableaux de production et d'arrêt.....	114
ANNEXE C :	Tableaux des MTBF et des MTTR à la SCO.....	123
ANNEXE D :	Tableau des temps de processus des équipements.....	127
ANNEXE E :	Résutats de la détermination du nombre d'équipes d'intervention...	128
ANNEXE F :	Résultats de la détermination du nombre de mécaniciens par équipe de maintenance	137
ANNEXE G :	Résultats de la détermination du nombre d'électriciens et d'électroniciens par équipe de maintenance.....	145

INTRODUCTION

La maintenance dans l'industrie a été pendant longtemps laissée pour compte. Les dirigeants des industries ont, pendant longtemps, relégué les activités de maintenance au second plan. La production était la seule activité qui pouvait, à leur avis, générer des profits. La crise économique de 1929 a forcé les industries à réduire leurs coûts afin de garder leur marge bénéficiaire. L'analyse de la valeur a en outre permis de découvrir que plus de 75% des activités menées dans une entreprise n'ajoutent pas de la valeur au produit. La maintenance tient une place prépondérante dans ces activités. C'est ainsi que la maintenance a été indexée comme le secteur où l'on peut réaliser d'importantes réductions des coûts de production. Plusieurs techniques et méthodes ont été développées pour la mise en pratique de ce concept. Ces méthodes sont en perpétuel développement et mutation.

De nos jours, maintenance et production sont deux notions indissociables et complémentaires ayant pour objectifs communs la productivité et l'amélioration du rendement des installations de production. En effet, plusieurs principes et méthodes ont été mis au point pour obtenir, au moindre coût, le maximum de rendement possible de toute l'installation. Les concepts de gestion et de management permettent d'une part de faire la coordination entre les activités de maintenance et celles de production et d'autre part, de gérer au mieux les compétences techniques existantes dans l'entreprise. La

maintenance n'est donc plus la seule affaire des techniciens et personnel de maintenance mais de tout le personnel de l'entreprise.

Les différents concepts techniques et de management restent insuffisants pour prévenir les arrêts et anticiper sur les retombées d'une politique de maintenance sur le système de production tout entier. Ils sont, le plus souvent, basés sur des estimations et les expériences du responsable chargé de la maintenance des équipements. C'est dans le but de palier ces insuffisances que nous avons choisi de diriger nos recherches sur la **"Conception d'un système de maintenance à l'aide de la simulation par ordinateur."** Une application à la Société des Ciments d'Onigbolo a été faite. Cette dernière a servi de support pour nos recherches car, elle constitue un chaîne de production complète partant de la matière première au produit fini. Les différentes solutions et recommandations contenues dans ce document sont applicables à la plupart des usines de procédés et plus particulièrement aux cimenteries. Toutefois, des restructurations sont nécessaires pour adapter le modèle de simulation, les solutions et recommandations aux structures de la nouvelle usine à étudier.

La Société des Ciments d'Onigbolo (SCO) dispose d'un système de maintenance basé essentiellement sur la maintenance corrective. Or, cette politique engendre des coûts, au moins, trois fois plus élevés que la maintenance préventive et réduit considérablement la durée de vie des installations. La description, les analyses et les performances de la situation actuelle de la SCO indiquent les origines potentielles du mal. La conception du

modèle de simulation à l'aide des données actuelles de l'entreprise a permis de faire des mises en situation. Les résultats découlants des mises en situation ont servi à l'élaboration des techniques de prévention des pannes et d'anticipation des effets de l'application d'une politique de maintenance sur un équipement et/ou sur la chaîne de production toute entière. Les étapes de l'implantation de la maintenance prédictive, les outils, les coûts et le retour sur investissement ont fait l'objet d'une étude sommaire dans le document. Une méthode basée sur les conditions socioculturelles et économiques de la SCO a été proposé pour la mise en œuvre de cette politique.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DE LA SITUATION GÉNÉRALE DE LA SOCIÉTÉ DE CEMENTS D'ONIGBOLO (SCO)

1.1. Généralités

La Société des Ciments d'Onigbolo (SCO) est une société anonyme béninoise dont trois parties sont propriétaires. En effet, elle bénéficie des contributions de la compagnie béninoise 51%, du gouvernement nigérian 43% et de la société F.L.Smith & Co. A/S* 6%. Elle est située approximativement à 100 km au nord de la capitale, Porto-Novo, dans la région appelée Onigbolo. C'est une cimenterie de procédé par voie sèche mise en service vers la fin de l'année 1982. D'une capacité de 500 000 tonnes/an, elle utilise aujourd'hui 565 employés.

1.1.1 Raisons de la création de la SCO

Au début des années 70, les chercheurs de la direction des mines découvraient, sur un même site à ciel découvert, d'importants gisements de calcaire, d'argile et de schiste. Au même moment et à une trentaine de kilomètres, on découvrait du gypse. Les études géologiques ont montré que, pour une capacité de 500 000 tonnes/an, la réserve est exploitable pendant 110 ans.

*F.L.Smith & Co : Société danoise de construction d'usine et particulièrement de cimenterie.

Les deux sociétés de cimenterie existantes dans le temps, la Société des Ciments du Bénin (S.C.B.) d'une capacité de 200 000 tonnes/an et la Société CIMBENIN d'une capacité de 300 000 tonnes/an, ne couvraient pas les besoins nationaux. Cette pénurie du ciment sur le marché béninois et l'augmentation sans cesse de la demande des populations due aux grands travaux de construction constituent les facteurs stimulants la création de cette usine. Un des facteurs à prendre en compte est la volonté manifeste du gouvernement révolutionnaire qui était en place. En effet, vers la fin des années 70 et au début des années 80, le Bénin, dans sa politique du développement du secteur industriel, a créé plusieurs entreprises industrielles dont la S.C.O.

1.1.2 Avantages de la SCO par rapport aux autres cimenteries

L'usine de la SCO est construite juste à proximité des gisements de calcaire, d'argile et de schiste. Presque toutes les matières premières sont extraites sur place à l'exception du gypse qui, finalement est importé. Ce dernier ne représente que 4 à 5% de la composition totale du ciment et ne rentre dans la fabrication du ciment qu'à la dernière étape : le broyage du clinker. La SCO est une usine complète et indépendante qui fabrique le Ciment Portland Artificiel (CPA 325), c'est-à-dire celui dont la résistance après 28 jours est de 325 bars. La société CIMBENIN et la S.C.B. importent le clinker et le gypse qu'elles se contentent de broyer et de mettre en sacs. Le processus de fabrication n'est donc pas complet et ne constitue qu'une infime partie de celui de la SCO. Elles sont, par conséquent, complètement dépendantes de leurs fournisseurs. Le

ciment fabriqué dans ces deux sociétés est le Ciment Portland CPJ35 qui est moins résistant que celui de la SCO, donc de qualité inférieure. Les deux types de ciment (CPA325 et CPJ35) sont vendus au même prix sur le marché. La combinaison de tous ces facteurs permet, en toute logique, à la SCO de s'arroger la plus grande part du marché. En effet, le type de ciment fabriqué par la SCB et la CIMBENIN n'est vendu que lorsqu'il y a pénurie de celui fabriqué par la SCO.

La satisfaction de la clientèle et l'atteinte de l'objectif de production de 500 000 tonnes/an a nécessité l'installation d'une multitude d'équipements aussi diversifiés dans leur forme que dans leur mode de fonctionnement.

1.1.3 Les principaux équipements de production de la SCO

La Société des Ciments d'Onigbolo, pour son processus complet de fabrication du ciment, dispose des équipements allant des machines à concasser le calcaire et l'argile (concasseurs) aux machines de mise en sac du ciment (machines à ensacher). C'est une chaîne de production comportant des équipements lourds, complexes et très dispendieux. Les équipements les plus importants servent à la délimitation des départements de production. Ainsi, on distingue essentiellement les départements suivants : le concassage, le broyage à cru, le four, le broyage à ciment et l'ensachage.

Schématiquement, la structure du processus de fabrication de la SCO se présente comme suit :

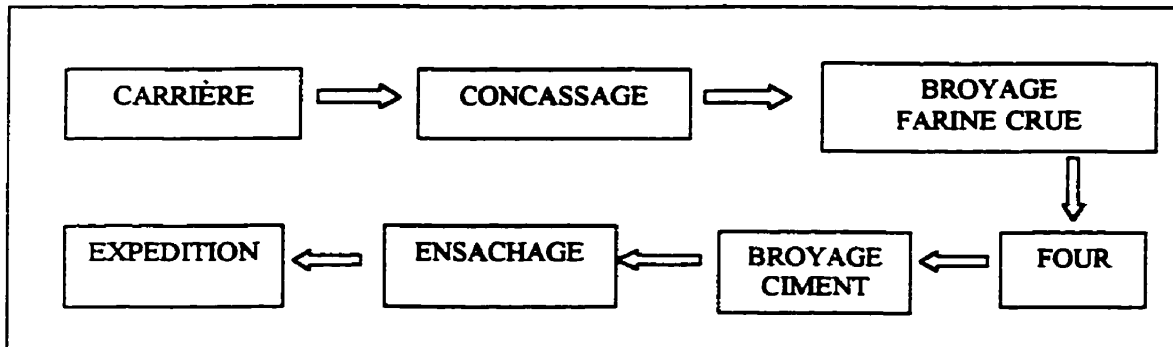


Figure1.1 : Schéma du processus de fabrication du ciment de la SCO

1.1.3.1 Concassage

Cette section est constituée du concasseur de calcaire et du concasseur d'argile (en panne depuis 1989). Le concasseur de calcaire, une machine électromécanique d'une capacité de 565 tonnes/heure, sert désormais aux deux fonctions. Ce concasseur est composé essentiellement des marteaux, des moteurs électriques, de la chaîne transporteuse des gros morceaux d'argile et de calcaire et du transporteur à courroie servant au transport continu de la matière concassée vers le hall de stockage. Il est clair que pour un équipement de ce genre, on retrouve diverses sortes de roulements, de paliers, d'engrenages, de chaînes et de courroies pour la transmission des mouvements. Il faut noter la présence des indicateurs de fin de course et plusieurs autres éléments automatiques pour les arrêts d'urgence et les changements de sens des mouvements.

1.1.3.2 Broyage à cru

D'une capacité de 130 tonnes/heure, le broyage à cru constitue l'un des départements les plus complexes de l'usine. C'est un système composé de quatre équipements principaux : le staker et le pont grateur (dans le hall de stockage de la matière concassée) les cyclones et le broyeur lui-même. Tous ces équipements sont étroitement liés entre eux. Le broyeur est une machine rotative reposant sur des paliers. Il est actionné par un moteur couplé avec un réducteur. Les paliers sont sous pression lorsque le broyeur fonctionne. Le broyage se fait par les boulets et les plaques de blindage contenus dans le broyeur. La matière est transportée par des transporteurs à courroie dont le plus important ici est la bande de dosage d'argile. Un mauvais fonctionnement de ce dernier entraîne des conséquences graves sur la qualité du produit. Les remarques faites sur la transmission des mouvements, les roulements et les paliers dans le département de concassage restent valables dans ce cas.

1.1.3.3 Four

Le four constitue la section la plus complexe de la chaîne de production de la SCO et a une capacité de 1 600 tonnes/jour. Il comprend un four Unax[®], rotatif longitudinal à combustion (longueur = 68m et diamètre = 4,55m), un préchauffeur à quatre étages, un ventilateur de séparation à aubes de haute pression, un ventilateur des gaz de fumées à haute pression et un refroidisseur. La partie cuisson du four est protégée intérieurement

par des revêtements de briques réfractaires. Ces revêtements conservent la chaleur à l'intérieur du four afin d'obtenir un meilleur rendement. Ils empêchent également, le clinker chaud de dégrader les surfaces intérieure et extérieure du four. Ce four repose sur des paliers qui sont refroidis par eau. Un système automatique sert à la lubrification des paliers. Plusieurs autres éléments comme les injecteurs, les souffleurs, les transporteurs à godets, les systèmes automatiques de contrôle de la température et de conditionnement d'air sont aussi à prendre en considération.

1.1.3.4 Broyage du ciment

D'une capacité de 75 tonnes/heure, la section du broyage à ciment est moins sensible que les précédentes. Elle est composée d'un broyeur, de même type que celui du département de broyage à cru, d'un convoyeur à godets, d'une bande de dosage du gypse (la qualité du ciment dépend du fonctionnement correct de cette bande), de deux compresseurs et des moteurs électriques. Il est à noter que l'on peut faire un stock très important de clinker, même à l'air libre, en amont de cette section. Ce qui donne une grande marge de manœuvre aux gestionnaires en matière de planification de la production.

* Marque du four de la SCO.

1.1.3.5 Ensachage

L'ensachage est constitué de deux machines identiques d'une capacité de 2 000 sacs/heure chacun (1 sac pèse 50 kg). Il comporte également, deux silos de stockage de ciment broyé de 20 000 tonnes chacun et une section de chargement de camions constituée des transporteurs à rouleaux. La surveillance étroite de ces équipements s'avère indispensable. Car, une panne de plus ou moins longue durée permettant le remplissage complet des deux silos bloquera le département en amont. Ainsi, de département en département, toute la chaîne de production sera bloquée en un temps record.

1.2 Description de la situation actuelle.

La Société des Ciments d'Onigbolo n'a jamais atteint une production annuelle de 40% de la capacité nominale installée. Cette situation est due à plusieurs raisons dont la plus frappante est la très faible disponibilité des équipements de production.

En effet, mise en service en 1982, la SCO n'a commencé à fonctionner normalement qu'en 1984. Elle est construite à un coût total de 82 milliards FCFA, soit environ 205 millions de dollars canadiens. À l'instar des usines de son envergure, elle demeure encore relativement jeune (16 ans d'utilisation). A priori, ses équipements devraient répondre, le plus efficacement possible, aux diverses sollicitations auxquelles ils sont soumis. Malheureusement, cela n'est pas le cas. Les sommes englouties dans la

maintenance des équipements de production sont énormes et les résultats obtenus sont largement en dessous des espérances. En effet, en 1997, plus 4,5 milliards de francs CFA (environ 11,25 millions de dollars canadiens) sont investis en maintenance alors que le chiffre d'affaires de cette année était de 8,5 milliards de francs CFA (environ 21,25 millions de dollars canadiens). Ceci constitue environ 53% du chiffre d'affaires. Cela n'a pas empêché que les installations soient défaillantes en décembre de la même année. Or, pour une industrie lourde (grande consommatrice d'activités de maintenance), le pourcentage maximum de coût de maintenance par rapport aux coûts variables est de 40% [29]. Le coût de production de la tonne de ciment a donc, considérablement augmenté pendant cette année. Cette situation a eu des effets néfastes sur plusieurs activités de l'entreprise. Nous y reviendrons plus amplement dans les prochains paragraphes.

Afin de mieux appréhender la situation, nous allons procéder à sa description étape par étape et ceci, par secteur d'activité.

1.2.1 Gestion des coûts de production

« Le but d'une entreprise industrielle est de faire de l'argent, et tout le reste n'est qu'un moyen d'atteindre ce but. » [13]. L'atteinte de ce but nécessite, de la part des gestionnaires, des préalables parmi lesquels figure la maîtrise du coût de production. De nos jours, il est extrêmement important que les managers cernent tous les contours du

prix de vente. En effet, le concept *prix de vente = coût de production + marge bénéficiaire souhaitée* a cédé sa place au concept *coût de production = prix de vente – marge bénéficiaire souhaitée*. Ceci revient à dire que c'est le marché qui fixe le prix de vente d'un produit. Il revient donc aux gestionnaires des entreprises industrielles d'ajuster le coût de production du produit afin de réaliser la marge bénéficiaire souhaitée.

À la Société des Ciments d'Onigbolo, le coût de production ne semble pas être pris au sérieux. Souvent, certains trimestres affichent des coûts de revient nettement supérieurs au prix de vente sur le marché. En 1996 par exemple, la moyenne du coût de production annuel de la tonne de ciment était de 53 633 FCFA (134\$) alors que le prix de cession sur le marché était de 50 500 FCFA (126\$). Les structures de coûts qui présentent une marge bénéficiaire brute inférieure à 2% font légion. En effet, les premier et quatrième trimestres de l'année 1996 présentent respectivement une marge bénéficiaire brute de 0,8% et 1,3%. En décembre 1997, des problèmes de coupure d'électricité ont mis à nu les problèmes latents existants au sein de l'entreprise.

Depuis décembre 1997 jusqu'en juillet 1998, la SCO n'a donc pas pu faire tourner toute sa chaîne de production. Or, sur le marché de consommation la demande se fait de plus en plus sentir. En effet, en 1992, une nouvelle ère de prospérité a commencé à renaître à la faveur de la démocratisation du pouvoir de l'état béninois. L'ouverture de grands chantiers de construction de routes et autres infrastructures publiques s'en est suivie. La

combinaison de tous ces facteurs a entraîné une augmentation vertigineuse de la demande que les cimenteries béninoises n'arrivent plus à satisfaire. Ce qui amène certains dépôts de ciment à spéculer sur le produit au point même de vendre la tonne à 120 000 FCFA (300\$) au lieu de 57 500 FCFA (144\$) fixé comme prix de détail en 1997. Notons pour terminer cette section que depuis sa création jusqu'en 1996, la SCO n'a jamais établi un planning de production. Le premier planning a été fait en 1997 et prévoyait une production annuelle de 200 000 tonnes. Cet objectif de 40% de sa capacité nominale n'a pas pu être atteint.

Plusieurs causes peuvent être à l'origine de cette situation : les investissements incontrôlés, la non productivité des opérateurs, les arrêts fréquents et de longue durée des équipements de production, en résumé, une mauvaise politique de gestion de maintenance et/ou de production.

1.2.2 Problèmes liés à la gestion de la maintenance

Les équipements de production, quels que soient leur robustesse et leur capacité de production, ne peuvent accomplir convenablement leurs tâches que lorsqu'ils sont soumis à une surveillance stricte et un entretien régulier. Une politique rigoureuse et adéquate de maintenance des installations est donc indispensable. Cette politique doit tenir compte des contraintes de production, du marché et même du personnel.

Pour atteindre l'objectif de 500 000 tonnes/an, toute la chaîne de production de la SCO devrait être disponible 75% du temps. Or, à ce jour, le taux de disponibilité le plus élevé des équipements de production est de 46%. Ce taux est très instable et varie aléatoirement d'une année à une autre. Ces faibles taux s'expliquent inévitablement, entre autre, par la faible performance des équipes de maintenance. Les résultats d'une telle politique de maintenance sont, sans doute, désastreuses pour les installations. En effet, en 1986, seulement quatre ans après la mise en service de la cimenterie, la coque du broyeur à cru s'est fissurée. Cette fissure est due à un déficit de remplacement ou d'entretien des plaques de blindage qui protègent le corps du broyeur contre les boulets. Le four possède aujourd'hui plusieurs traces de tâches noires, résultats d'une mauvaise gestion des activités de maintenance. Les convoyeurs et transporteurs déraillés, les courroies, chaînes et godets abîmés, les moteurs grillés ou bloqués, etc., constituent le vécu quotidien à la SCO. Il n'est pas rare d'assister à l'arrêt complet de toute la chaîne de production. Les arrêts individuels des départements sont plus fréquents et plus particulièrement dans le département du four. Or, pour un arrêt de plus de 4 heures au four, il faut le réchauffer (mise en course) pendant deux heures environ avant qu'il n'atteigne sa température de fonctionnement. Pour un four complètement refroidi, il faut 48 heures environ de mise en course. Il en résulte une perte de production de 48 heures au moins. Le coût de la quantité de fuel brûlé pour faire cette mise en course, de démotivation du personnel, de perte de clientèle, etc. sont à ajouter. De plus, lorsqu'une panne apparaît, il faut 48 à 72 heures pour que le four se refroidisse complètement afin de permettre les interventions humaines. Ceci entraîne, au total, quatre à cinq jours de

manque à gagner en production sans compter le temps de réparation et autres coûts associés aux arrêts.

En 1996 et en 1997, les techniciens de maintenance se sont confrontés, à maintes reprises, à certaines difficultés. En effet, après la réparation d'une panne sur le four et après avoir fait une mise en course de près de 40 heures, une nouvelle panne apparaît. Un nouvel arrêt du four s'impose. Le processus (refroidissement – intervention - mise en course) reprend, allongeant ainsi le temps d'indisponibilité de la chaîne de production. Ces arrêts sont, le plus souvent, dus à des pannes de même type qui se répètent sur le même équipement. Les travaux en urgence prennent alors complètement le pas sur les autres activités. Les quelques rares échéanciers existants ne peuvent donc plus être respectés. L'usine se gère, par conséquent, d'urgence en urgence comme le dépanneur du quartier. Le manque d'organisation, la mauvaise politique de maintenance, les cadres inadéquats et le très bas niveau d'instruction sont autant de facteurs qui peuvent être à l'origine de ces désastres.

1.2.2.1 Sur le plan structurel et organisationnel

La maintenance à la SCO présente deux structures séparées : une pour l'entretien mécanique et une autre pour l'entretien électrique et électronique. La coordination des activités de maintenance préventive et des interventions est presque inexistante. Car, le

flux d'information ne circule pas entre les divers services de maintenance des équipements de production. La figure suivante l'illustre assez bien.

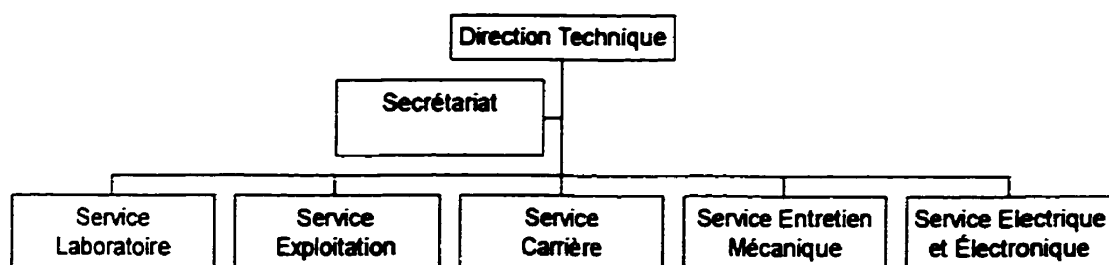


Figure1.2 : Organigramme de la direction technique de la SCO

La maîtrise du flux de l'information est indispensable pour la coordination des activités. Les plannings d'arrêt des équipements n'étant pas les mêmes, la même machine est immobilisée deux fois pour l'entretien préventif. Ainsi, sur un même équipement, on assiste à différentes politiques de maintenance. Les énergies se trouvent donc dispersées. Le résultat est sans doute mauvais comme le confirme W. George Plossl « La bataille est perdue d'avance si l'armée de terre, la marine et l'aviation ont des stratégies différentes. » [34]. La conséquence directe est la diminution de la disponibilité des équipements et donc l'augmentation du coût de production. Cette pratique a eu des conséquences néfastes sur les machines : certains équipements ont vu baisser leur capacité nominale installée.

1.2.2.2 Gestion du personnel de maintenance

Constitué de 113 employés, le personnel de maintenance est subdivisé en deux grands groupes : la mécanique d'une part, l'électricité et l'électronique d'autre part. Ces deux groupes sont sous la supervision du directeur technique de l'usine (Figure 1.2).

La mécanique est dirigée par un chef service entretien mécanique qui, est secondé dans sa tâche par un adjoint. Elle comporte quatre sections : le garage, l'entretien préventif mécanique, l'intervention mécanique et la fabrication mécanique. L'organigramme de ce service se présente comme suit :

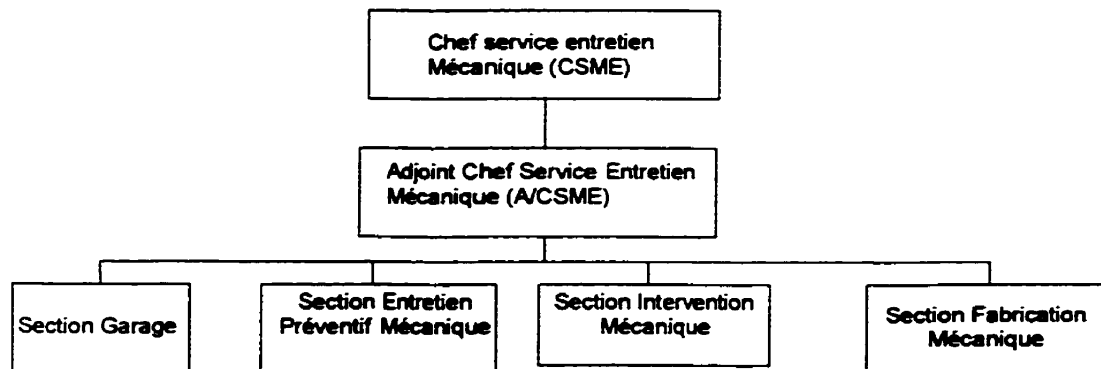


Figure 1.3 : Organigramme du service entretien mécanique (SEM)

Nous ne nous intéresserons qu'aux sections directement en contact avec les équipements de production : l'entretien préventif mécanique et l'intervention mécanique. Le garage qui intervient sur les équipements lourds (les bulldozers de la carrière et, les camions bennes qui transportent les matières premières de la carrière

aux concasseurs), ne sera pas pris en compte. Nos études couvrent uniquement les équipements fixes de production. De plus, nous avons constaté qu'il n'y a pratiquement pas de problème de manque de matières premières au début de la chaîne de production.

L'électricité et l'électronique présentent une structure presque identique à celle de la mécanique comme l'indique la figure ci-après.

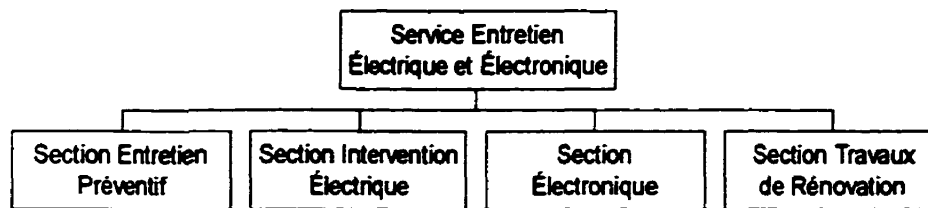


Figure 1.4 : Organigramme du service entretien électrique et électronique

Le personnel de maintenance est très mal réparti et mal utilisé. Les mécaniciens, les électriciens et les électroniciens, de l'intervention comme de la prévention, travaillent dans tous les secteurs de l'usine. Ils ont par conséquent une connaissance moins approfondie des équipements sur lesquels ils travaillent. La rapidité dans l'exécution des tâches se trouve donc affectée et les temps de réparation sont, par conséquent, très longs. Aussi, lorsque l'équipe d'intervention mécanique est en train d'intervenir sur un équipement dans un secteur et qu'une panne mécanique survient dans un autre secteur, il faut attendre la fin de la première réparation pour entamer la seconde. La réparation de la seconde panne est donc retardée. D'où la diminution du temps de disponibilité de la chaîne de production.

Le niveau d'instruction de plusieurs employés qui occupent des postes stratégiques dans la fonction maintenance est insuffisant. Certaines pannes répétitives y trouvent leur origine car, aucune analyse n'est faite pour déterminer les causes profondes des arrêts. Souvent, il faut nécessairement la présence des cadres pour que certains petits travaux soient exécutés convenablement. Notons que les données de maintenance de tous les équipements de production ne sont pas mises à jour. Un historique complet et global des problèmes que connaît chacun des équipements n'est donc pas disponible. La planification des actions futures à mener sur les installations, dans le but d'augmenter la disponibilité de la chaîne de production, est basée essentiellement sur des observations subjectives.

Produire "plus et mieux", avec les ressources humaines et matérielles dont elle dispose, est l'objectif que poursuit toute entreprise industrielle. La répartition générale du personnel au sein de la SCO n'est pas adéquate. En effet, il existe au sein de l'usine, des cadres ayant des compétences techniques dans des domaines précis. Ces cadres sont malheureusement utilisés dans des secteurs où leurs connaissances ne sont pas demandées. Un ingénieur en maintenance, un ingénieur en énergétique et un technicien supérieur en équipements motorisés se retrouvent à la supervision de la production. Or, les différents secteurs de leurs compétences ont besoin de leurs aptitudes pour fonctionner efficacement. Les exemples du genre se trouvent dans presque tous les secteurs de l'entreprise. Une attention particulière doit être accordée à ce phénomène si l'on veut produire suffisamment, efficacement et à moindre coût.

Plusieurs maux entravent le fonctionnement normal et correct de la SCO. Ils l'amènent lentement mais sûrement et inévitablement vers la faillite, si rien n'est fait pour les contrer. Il serait très prétentieux de notre part, dans ce mémoire, de vouloir régler tous les problèmes qui se posent à cette société. Nous allons surtout nous concentrer sur la disponibilité des équipements et la production de l'usine. Le chapitre suivant nous éclairera, de manière statistique, sur les conditions de travail des équipements et leurs différents arrêts, de même que les résultats de la production de la SCO pendant les cinq dernières années dans tous les secteurs de production de l'usine.

CHAPITRE 2

PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS DES DONNÉES DE MAINTENANCE ET DE PRODUCTION

Les données que nous analyserons tout au long de ce mémoire ont été recueillies dans la période allant du 18 mai au 17 juillet 1998. Ces données concernent essentiellement les années 1996 et 1997. Car, de janvier à juillet 1998, l'usine n'a pas fonctionné pour des raisons de non - disponibilité des équipements de production. Les données de ces années constituent donc les plus récentes de l'entreprise. Nous ferons appel à certaines données des années antérieures, lorsque cela sera nécessaire, pour la compréhension du contenu du document.

Nous présenterons, dans cette section, les résultats globaux des pannes des principaux équipements de production de la SCO. L'évolution de la production, dans les cinq dernières années, permettra sans doute de mieux situer les problèmes et leur développement.

2.1 La production à la SCO

L'évolution de la production au cours de ces cinq dernières années (1993 à 1997) dans les différents secteurs de la SCO est présentée dans le tableau 2.1. La production est exprimée en tonne.

Tableau 2.1 : Production annuelle à la SCO pour les cinq dernières années

Année	1993	1994	1995	1996	1997
Concassage	242 039 t	216 823 t	270 449,7 t	225 424 t	279 126 t
Farine crue	181 471 t	198 038 t	209 066 t	176 626,2 t	254 781,3 t
Clinker	148 793 t	124 371 t	152 383 t	125 178 t	146 066,48 t
Ciment	156 134 t	138 927 t	169 154 t	131 629 t	163 915,1 t
Ensachage	153 429,96 t	132 475,86 t	174 568 t	138 225,5 t	161 459,4 t

Pour plus de précisions sur les données de ce tableau, veuillez vous référer à l'annexe B, tableau B.1.

De ce tableau, il ressort que la totalité du clinker produit, au cours des cinq dernières années, a été transformée en ciment, ensachée et vendue sur le marché de consommation. En effet, la différence entre la quantité de ciment produit et celle du clinker est due à l'ajout de 4 à 5% de gypse au clinker pour obtenir la qualité du ciment produit par la SCO et aux résidus de clinker entre les deux sections. La farine crue, résultat de la production du broyeur à cru, n'a jamais pu être complètement transformée en clinker. Le taux moyen de transformation pour ces cinq ans est de 59%.

2.2 Les arrêts au niveau des principaux équipements de la SCO

A travers le tableau de la production, il apparaît clairement que le flux des matières est réglementé par trois équipements principaux : le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment. Les autres équipements ne sont pas moins importants, mais leur capacité leur permet de rattraper un quelconque retard survenu au cours de la production à leur niveau. Nous allons donc concentrer notre énergie sur l'étude du comportement de ces

trois matériels en service. Nous avons choisi la minute comme unité de temps de collecte car, un nombre impressionnant de pannes ont une durée inférieure ou égale à dix minutes. Notons que ces pannes se répètent le plus souvent et qu'il est nécessaire de connaître leurs origines.

2.2.1 Broyeur à cru

Les différents arrêts au niveau du broyeur à cru au cours des années 1996 et 1997 se présentent comme suit :

Tableau 2.2 : Répartition des arrêts au Broyeur à cru

	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Rupture de stocks		Autres Arrêts		Total des arrêts	
	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
Total	325	239257	68	40620	7	31113	25	31655	425	342645
%	76%	70%	16%	12%	2%	9%	6%	9%	100%	100%

Consulter le tableau B.2 à l'annexe B pour de plus amples informations.

Ce tableau montre que les arrêts mécaniques constituent la majeure partie des pannes survenues sur l'équipement. En effet, ils constituent 76% du total des arrêts et couvrent 70% du temps total des pannes soit 166 jours. Au total, les arrêts au broyeur à cru, en 1996 et 1997 constituent un manque à gagner en production équivalent à 234 jours sur les 730 jours de travail. Le tiers du temps de production est donc perdu pour raison de non - disponibilité du broyeur.

2.2.2 Le four

Le four, compte tenu de l'importance de son produit, constitue le moteur de la production du ciment à la SCO. Les différents temps d'arrêt observés sont résumés dans le tableau 2.3. Voir Tableau B.3 à l'annexe B pour plus de détails sur ces temps.

Tableau 2.3 : Répartition des arrêts au Four

	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Rupture de stocks		Autres Arrêts		Total des arrêts	
	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
Total	153	254901	38	34696	7	123710	32	95289	230	508571
%	67%	50%	16%	7%	3%	24%	14%	19%	100%	100%

Le temps d'arrêt total pour les années 1996 et 1997 est de 508571 minutes. Ceci représente 353 jours d'arrêt de production pour raison de non disponibilité du four. Ceci représente environ une année perdue sur les deux ans de production que couvre notre étude. Les pannes mécaniques représentent 67% du nombre total des pannes et constituent, dans ce cas, la moitié des temps d'arrêt soit, six mois.

2.2.3 Le Broyeur à ciment

Le broyeur à ciment met fin au processus de fabrication proprement dit du ciment. Sa production semble être régulée, jusqu'à ce jour, par les équipements située à son amont. Mais, le tableau 2.4 nous montre une autre facette de ce qui pourrait advenir lorsque la

production des autres équipements aurait augmentée. Voir le tableau B.4 à l'annexe B pour plus de détails sur ces temps de panne.

Tableau 2.4 : Répartition des arrêts au Broyeur à ciment

	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Rupture de stocks		Autres Arrêts		Total des arrêts	
	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
Total	174	123587	292	44807	123	357448	53	16194	640	541990
%	27%	23%	46%	8%	19%	66%	8%	3%	100%	100%

Le temps total des arrêts au broyeur à ciment est de 541 990 minutes. Soit environ 376 jours. Ce qui équivaut à plus d'un an d'arrêt de production, sur les deux ans que couvre notre étude. Dans cette section., les pannes mécaniques (23%) sont en deuxième position après les arrêts dus aux ruptures de stocks. Ces derniers constituent 66% du temps total des arrêts. Il nous paraît important de souligner ici que cette rupture de stocks est le résultat de la combinaison des arrêts observés au broyeur à cru et au four. Car, le broyeur à ciment est en aval de ceux-ci. D'où l'importance que l'on doit accorder aux pannes mécaniques observées ici. Le taux du nombre de pannes électriques est le plus élevé. Mais celles-ci n'occupent que 8% des temps d'arrêt. Ceci dénonce la légèreté avec laquelle les pannes électriques sont traitées. Les entretiens périodiques des équipements laissent donc à désirer.

A travers la présentation des résultats de la collecte, un constat s'impose. Les pannes mécaniques constituent la majeure partie des arrêts survenus sur les équipements de

production. Ceci nous amène à dire que le système de maintenance de la SCO a une faiblesse dans la gestion des équipements mécaniques de la société. Mais qu'est-ce qui est à la base de ces pannes mécaniques ? Quelles sont les facteurs qui favorisent leur développement ?

2.3 Étude des pannes mécaniques à la SCO

Il nous paraît important de préciser que cette étude ne concerne que les équipements du broyeur à cru, du four et du broyeur à ciment, étant donné qu'ils sont indexés comme ceux qui sont critiques pour le processus de fabrication. Aussi, voudrions-nous attirer l'attention du lecteur sur le fait que ces études, malgré leur caractère statistique, ne nous donnent qu'une idée globale de la situation actuelle à la SCO. Étant donné que tous les équipements de la chaîne de production ne sont pas pris en compte, des déviations pourraient être observées et des ajustements seront nécessaires pour coller à la réalité. Nous ne saurions faire l'étude proprement dite sans décrire la méthodologie que nous avons adoptée.

Méthodologie d'étude et d'analyse des pannes mécaniques

La multiplicité des arrêts mécaniques et de leurs causes, nous ont amené à adopter une classification de ces pannes en deux grandes catégories. En effet, les arrêts dus à des causes banales (nettoyage, lubrification, inspection et serrage) seront classés dans la même catégorie. Ceux dus à des causes plus complexes (mauvaise conduite de l'équipement, dégradation normale ou anormale, points faibles de conception, insuffisance de compétence, etc.) sont classée dans la seconde catégorie. Dans le cadre de notre étude, nous mettrons particulièrement l'accent sur les effets que peuvent produire certaines actions, qui nous paraissent très banales, mais qui constituent en fait le cœur des activités de maintenance.

Afin d'avoir une idée claire et précise sur la variation des temps d'arrêt au niveau de chaque équipement, nous avons tracé des graphes. Ces graphes (ou histogrammes) nous permettront de déterminer les causes éventuelles pouvant être à l'origine de la déchéance des principaux équipements de la SCO. L'étude de ces pannes se fera par équipement et par année. Les temps d'arrêts sont classés par ordre de grandeur croissant afin de mieux apprécier l'évolution de la situation, les étapes critiques et les périodes de pointe.

2.3.1 Le Broyeur à Cru

Les graphiques des arrêts mécaniques au broyeur à cru en 1996 et 1997 se présentent comme suit :

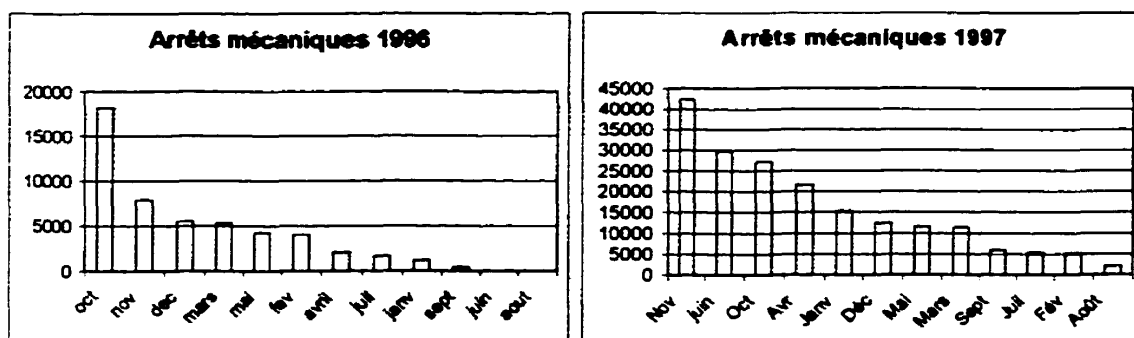


Figure 2.1 : Histogrammes des arrêts mécaniques au Broyeur à Cru

De ces graphiques, il ressort que les mois d'octobre et de novembre constituent la période pendant laquelle les pannes sont plus importantes. En effet, elles constituent environ 52% en 1996 et 36% en 1997 des temps des pannes mécaniques au broyeur à cru. Notons qu'en 1997 les temps d'arrêts mécaniques sont plus importants qu'en 1996.

L'analyse des bris et arrêts observés au niveau du broyeur à cru a conduit à la détection de certaines causes dont le nettoyage et la lubrification sont les plus indexés. Le tableau suivant donne un résumé des causes des arrêts. Pour plus de détails, se conférer au tableau B.5 à l'annexe B du présent document.

Tableau 2.5 : Causes des arrêts mécaniques au broyeur à cru

1996 et 1997	Causes des arrêts mécaniques					
	Mauvais nettoyage et lubrification		Autres causes*		Total	
	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Total	177	146320	148	92937	325	239257
Pourcentage	55%	61%	45%	39%	100%	100%

*Dégradations normales ou anormales, mauvaise conduite de l'équipement, points faibles de conception, insuffisance de compétence, etc.

Ce tableau nous montre que la majeure partie des arrêts mécaniques est essentiellement due au mauvais nettoyage et à une insuffisance de lubrification des composantes mécaniques du broyeur à cru. En effet, ces arrêts constituent 61% du total des temps des arrêts mécaniques. Soit environ 102 jours d'arrêt de production dû au manque de nettoyage et de lubrification. L'inspection et le serrage sont aussi à prendre en compte.

Une analyse plus approfondie, sur une période de cinq ans (1993 à 1997), du phénomène a révélé que ces arrêts pourraient être reliés à une saison de l'année. Le dernier trimestre de l'année et le mois de janvier, constituent la période de sécheresse au Bénin. En effet, au cours de cette période de l'année, le taux de poussière dans l'atmosphère est très élevé. La cimenterie, et par conséquent la SCO, étant par définition une usine de poussière, ces conditions viennent aggraver la situation de l'air, déjà pollué. La poussière va donc se déposer sur les parties sensibles des équipements et avec le temps provoque des dysfonctionnements qui entraînent des arrêts. C'est le cas des roulements, des chaînes, des engrenages, des courroies et même de certaines poulies. Notons que

tous les systèmes de dépoussiérage de la SCO ne sont plus fonctionnels depuis près de 10 ans.

2.3.2 Le Four

L'allure du graphe obtenu à partir des temps des arrêts mécaniques au four en 1996 et 1997 se présente comme suit :

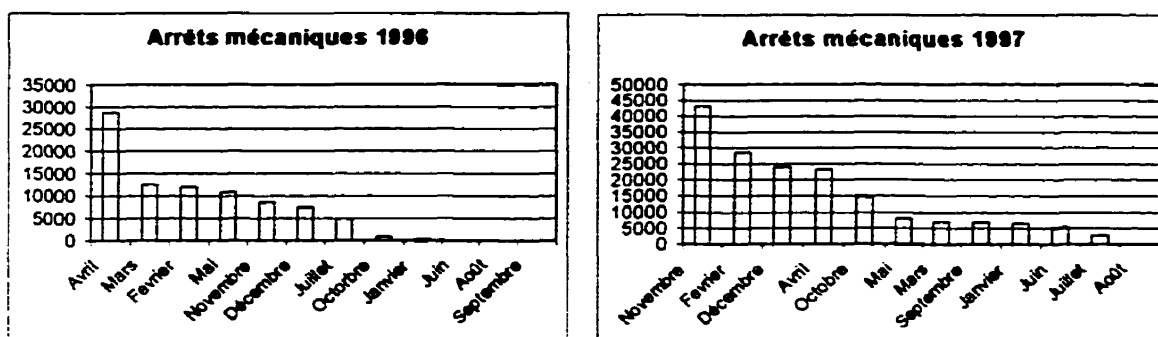


Figure 2.2 : Histogrammes des arrêts mécaniques au four

Le mois de février semble être la période commune pendant laquelle les pannes sont plus importantes que les autres périodes. Ceci coïncide avec le début de la saison pluvieuse au Bénin. En effet, l'eau de pluie a tendance à pénétrer entre les parties mécaniques du four lorsqu'il est à l'arrêt. Ainsi, les fluides lubrifiants se détériorent très rapidement et perdent leurs caractéristiques : la lubrification devient inadéquate. Des dégradations des organes mécaniques s'en suivent et les pannes deviennent inévitables.

La période de pluie n'est pas la seule responsable des détériorations précoces observées sur l'équipement, mais constitue un élément catalyseur. Le premier responsable de ce

fléau est le manque de politique de maintenance adéquate et la négligence des responsables ayant à charge, le maintien en bon état de fonctionnement des équipements de production. De plus, les effets néfastes de la poussière du dernier trimestre de l'année et du mois de janvier, augmentent les temps d'indisponibilité du Four. Une attention particulière doit être accordée en tout temps à cet équipement.

Toutes les causes des arrêts mécaniques au four précédemment énumérées sont résumées dans le tableau 2.6. Voir le tableau B.6 à l'annexe B pour plus de détails sur les proportions des arrêts par mois.

Tableau 2.6 : Tableau des arrêts mécaniques au four

1996 et 1997	Causes des arrêts mécaniques au Four					
	Mauvais nettoyage et lubrification		Autres causes		Total	
	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Total	99	139278	54	115623	153	254901
Pourcentage	65%	55%	35%	45%	100%	100%

Ce tableau indique que la plupart des pannes sont dues à un mauvais nettoyage et à une insuffisance de lubrification des parties sensibles du four. En effet, 55% des temps des pannes sont dus essentiellement à la non-application de la maintenance de premier niveau (nettoyage, inspection, lubrification et réglage). Environ 97 jours d'arrêt de production (perte de capacité, de production, de la clientèle, etc. et tous les coûts associés) dû essentiellement à des activités aussi banales que sont le nettoyage et la

lubrification. Il ne faut pas perdre de vue que les inspections et les opérations de serrage contribueront à améliorer le temps de disponibilité de la chaîne de production.

Notons ici que certaines des pannes (autres causes) sont essentiellement dues à une mauvaise conduite du Four par les opérateurs. Ces derniers ne maîtrisent pas, à ce jour, toutes les manipulations nécessaires pour une conduite adéquate de l'équipement. Une fois encore, le problème de formation du personnel de production se pose avec acuité. Ceci est indispensable pour maintenir un bon niveau de fonctionnement des équipements. L'évaluation correcte des activités du service de maintenance en dépend.

2.3.3 Le Broyeur à ciment

Le broyeur à ciment est l'un des équipements de production de la SCO auquel les responsables accordent le moins d'attention. Ils avancent comme argument qu'il possède un excédent de capacité par rapport aux autres équipements, et donc tout retard peut être rattrapé. Mais n'oublient-ils pas qu'il y a une limite à ce retard qu'il ne faut pas franchir ?

Le stock en aval du broyeur à ciment est de 40 000 tonnes. Avec la capacité de la section ensachage de la SCO (200 tonnes par heure), le temps maximum pendant lequel la suite de la chaîne est capable de fonctionner lorsque le broyeur à ciment est en panne est de 200 heures soit, 8 jours 8 heures.

Le tracé des graphiques de la variation des pannes mécaniques au cours des années 1996 et 1997 nous donnera quelques pistes.

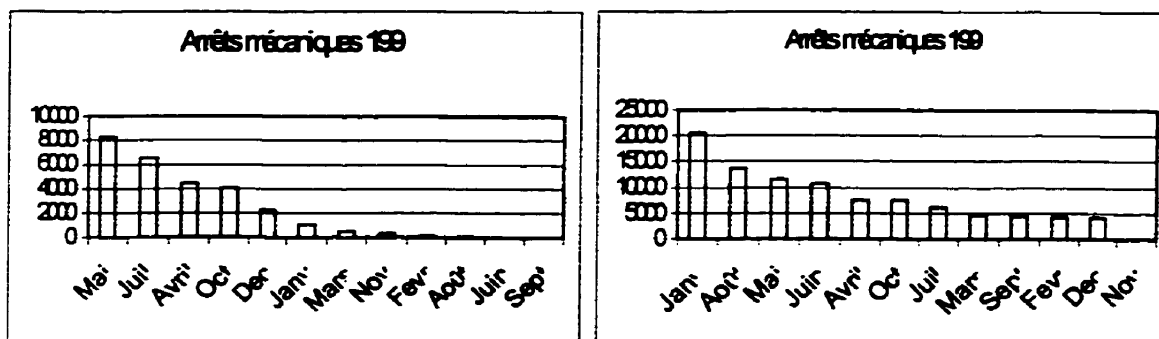


Figure 2.3 : Histogrammes des arrêts mécaniques au Broyeur à Ciment

Ces graphiques nous indiquent qu'il existe des mois de l'année pendant lesquels plus de la moitié des pannes se produisent. En effet, en 1996 les mois d'avril, mai et juillet constituent, à eux seuls, 70% des temps d'arrêts. En 1997, les mois de janvier, août et mai représentent 48% des arrêts au broyeur à ciment. La moyenne des arrêts dans cette section est de 395 heures en 1996 et 357 heures en 1997. Ces deux chiffres sont nettement supérieurs au temps maximum de fonctionnement autonome de la section ensachage (200 heures). Ceci explique les fréquents arrêts dus aux ruptures de stock de matières dans la chaîne de production.

Le tableau des différentes causes qui sont à l'origine des pannes nous permettra de mieux situer les problèmes de ce département. Voir le tableau B.7 à l'annexe B pour plus d'informations sur les pannes mécaniques au broyeur à ciment.

Tableau 2.7 : Répartition des arrêts mécaniques au Broyeur à ciment

1996 et 1997	Causes des arrêts mécaniques					
	Mauvais nettoyage et lubrification		Autres causes		Total	
	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Total	101	90633	73	32954	174	123587
Pourcentage	58%	73%	42%	27%	100%	100%

De ce tableau, il ressort que 73% du temps des arrêts mécaniques au broyeur à ciment (environ 63 jours) sont dus à l'inefficacité de la politique de nettoyage et de lubrification. Notons ici que nous avons, le plus souvent, affaire aux convoyeurs déraillés (clinker et gypse), aux rouleaux des transporteurs à bande coincés, à la bande de dosage du gypse coincé, etc. Ceci provoque des dysfonctionnements et par la suite des arrêts (le plus souvent des pannes).

Les autres équipements de production tels que le concasseur, les machines à ensacher, les transporteurs et les convoyeurs subissent les mêmes contraintes que les précédents. Il ressort de cette analyse des pannes mécaniques que le problème principal au niveau de la mécanique à la SCO reste et demeure la maintenance de premier ordre : le nettoyage, la lubrification, l'inspection et le serrage des composantes mécaniques des équipements.

La défectuosité du système de dépoussiérage participe, pour une bonne part, à la non maîtrise des opérations préliminaires de la maintenance. Mais le constat est que les opérations ne sont même pas effectuées. Il revient donc aux responsables gestionnaires de la maintenance d'établir des programmes rigoureux d'activités de maintenance, dans un premier temps, basés sur le nettoyage, la lubrification, les inspections et les réglages. Ces opérations devraient aider l'usine à améliorer ses performances. Dans un second temps, il est nécessaire de supprimer les sources de salissure. Dans ce cas, il n'est pas possible de supprimer complètement ces sources. La remise en marche du système de dépoussiérage est indispensable pour la diminution du taux de poussière au sein de l'usine. Enfin, une formalisation et un transfert progressif de ces activités aux opérateurs permettront d'avoir des résultats plus probants et durables. Cette dernière opération nécessite une formation préalable des opérateurs sur le plan des activités élémentaires de maintenance. Nous y reviendrons dans les prochains chapitres.

Aussi voulons-nous attirer l'attention des gestionnaires de l'entreprise sur un certain nombre d'avantages de ce processus d'opérations. En effet, l'ensemble des temps d'arrêt dus à la non-application de ces activités préliminaires (aux fonctions spécifiques des techniciens de maintenance) au four s'élève à 2 321,3 heures (97 jours). Pour la capacité de production du four (1 600 t/j), nous avons un manque de production de 155200 tonnes de clinker. Cette perte de production est supérieure à la production annuelle de clinker de chacune des cinq dernières années. Partant du fait que toute la quantité du clinker est toujours transformée en ciment, ces arrêts constituent une perte de

production de ciment de 162 960 tonnes (ajout de 5% de gypse). Aussi, la diminution du nombre et des temps d'arrêts qui résulte de l'application de ce programme, participe-t-elle de la maîtrise des coûts de maintenance. A ce point, il convient d'être prudent car, il faut prendre en compte les coûts d'implantation et d'application qu'induit la politique de maintenance qui sera mise en place. Les prochains chapitres nous éclaireront sur cette situation. Un climat de confiance et de stabilité animera tous les intervenants dans l'usine. La satisfaction du client fera partie des avantages d'une telle politique. Le transfert des activités élémentaires de maintenance aux opérateurs permettra aux spécialistes de la maintenance de se concentrer sur les activités plus sérieuses : les analyses des causes des pannes, la maintenance prédictive, les améliorations, etc. Les avantages liés à une telle politique sont très nombreux et variés pour être explorés de manière exhaustive dans le cadre de ce travail.

La détermination des points à maintenir, les politiques de maintenance à adopter et les coûts d'implantation et d'application de même que le retour sur investissement feront l'objet d'une étude dans le chapitre 6 du présent document.

Mais avant toute chose, nous déterminerons dans le chapitre suivant, les performances actuelles de la SCO afin de mieux apprécier la situation. Ces performances, déterminées par l'entremise des indices et des ratios courants de maintenance, nous serviront plus tard dans le document de facteurs de mesure de la progression des activités de maintenance.

CHAPITRE 3

LES PERFORMANCES ACTUELLES DE LA SOCIÉTÉ DES CIMENTS D'ONIGBOLO (SCO)

Cette partie nous permettra de voir l'état de fonctionnement actuel de la SCO sur plusieurs plans. Ce qui nous intéresse dans ce document est le fonctionnement du service de maintenance et par conséquent, des équipements de production. La production à la SCO n'est que la conséquence de l'état de fonctionnement des équipements installés. Les performances que nous allons déterminer sont d'ordre technique, économique et organisationnel.

3.1 Les ratios techniques de la maintenance

Ces ratios permettent d'analyser à fond les problèmes qui se posent à la maintenance afin de prendre les décisions qui s'imposent.

3.1.1 Disponibilité des systèmes

La norme X60-503 "Introduction à la disponibilité" la définit comme suit :

« Aptitude d'un système – sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance – à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné. »

Afin de mieux apprécier le comportement des principaux équipements de production en service de la SCO, nous allons déterminer leur disponibilité respective.

La disponibilité de la chaîne de production sera déterminée à partir de la disponibilité de ses composantes. Le tableau suivant résume les temps de marche et d'arrêt (en heures) de chacun des équipements. Pour plus de détails sur ce tableau, se conférer aux tableaux C.1, C.2 et C.3 de l'annexe C. L'année civile compte 365 jours.

Tableau 3.1 : Tableau des temps de marche pour les principaux équipements

Année	Temps(heures)	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
1996	Arrêt	1 464,7	3 815,67	4 748,33
	Marche	7 295,3	4 944,33	4 011,67
1997	Arrêt	4 246,05	4 660,52	4 284,83
	Marche	4 513,95	4 099,48	4 475,17
Temps disponible /année		8 760	8 760	8 760

La disponibilité d'un équipement est obtenue à partir de la formule suivante :

Disponibilité = temps de disponibilité/(temps de disponibilité + temps d'indisponibilité).

= temps de marche /(temps de marche + temps d'arrêt).

Le tableau suivant résume la disponibilité de chacun des équipements.

Tableau 3.2 : Disponibilité des principaux équipements de production

Équipement	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
1996	83,27 %	56,44 %	45,80 %
1997	51,51 %	46,80 %	51,08 %

La lecture de ce tableau montre que les équipements ne sont disponibles qu'environ 50% du temps. Il va s'en dire que, pour la SCO, pendant les 50% du temps restant, l'équipement subit des défaillances de tout genre. Les standards dans ce domaine sont compris entre 90 et 98%.[30] Or, le coût de défaillance d'un matériel en exploitation est souvent très élevé, non seulement à cause des pièces de rechange, mais aussi et surtout à cause de la privation d'usage que cela impose à l'utilisateur.

En effet, le coût de défaillance d'un matériel est très difficile à déterminer. Il comprend : le coût des pièces de rechange, le coût de perte de production, le coût de non-respect des délais de livraison, le coût de perte de la clientèle, le coût de démotivation du personnel, etc. Si les deux premiers peuvent être facilement déterminés, ce n'est pas le cas pour les autres. Les entreprises ne tiennent souvent compte que des deux premiers éléments du coût de la défaillance ; ce qui ne reflète nullement la réalité de l'environnement concurrentiel à l'aurore du 21^{ème} siècle.

Une remarque importante s'impose. Nous sommes en présence d'un système de production dont les équipements sont en série (chaîne de production) avec un stock en

amont et en aval pour chaque machine. La disponibilité du système est celle de l'équipement ayant la plus faible disponibilité. Dans ce cas, la disponibilité du système est de 45,80% en 1996 (celle du broyeur à ciment) et 46,80% en 1997 (celle du four). En somme, pour améliorer la disponibilité du système de production, il suffit d'améliorer celle de l'équipement ayant la plus faible disponibilité et la ramener au niveau de celle des autres équipements. A partir de cet instant, l'amélioration de la disponibilité passe nécessairement par celle de tous les équipements composant de la chaîne. Tout effort d'amélioration de la disponibilité de la chaîne, qui ne tienne pas compte de la disponibilité la plus faible, est vain. Cet effort n'a d'impact que sur la disponibilité de l'équipement pris isolément et non sur la chaîne de production.

3.1.2 Performance des systèmes

Les entreprises ont souvent tendance à ignorer ce phénomène. En effet, les arrêts mineurs, les mises en course et les ralentissements des équipements de production sont pris en compte dans ce ratio. Il est fréquent d'observer, dans les usines, des équipements qui fonctionnent apparemment bien mais qui ne fournissent pas un bon rendement. Ces genres de pannes, invisibles, compliquent la tâche aux ingénieurs de planification et de production. Ces derniers éprouvent d'énormes difficultés à rencontrer les exigences des échéanciers fournis aux clients. Le fait que les équipements fonctionnent aveugle généralement les responsables de la maintenance.

Le taux de performance se définit comme suit :

Taux de performance = capacité actuelle / capacité nominale.

A la SCO, la production moyenne des équipements est estimée par heure de fonctionnement. La capacité actuelle de chacun des équipements se détermine de la façon suivante :

Capacité actuelle = production annuelle / (temps alloué- temps d'arrêt)

Il en résulte donc le tableau 3.3. Voir tableau C.4 en annexe C pour de plus amples informations sur la production horaire actuelle de chacun des équipements de la SCO.

Tableau 3.3 : Performance des principaux équipements de production de la SCO

		Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
Année	Capacité nominale	130 t/h	66,67 t/h	75 t/h
1	Production annuelle	176 626,2 t	125 178 t	131 629 t
9	T alloué - T arrêt	7 296 h	4 944 h	4 008 h
9	Capacité actuelle	24,21 t/h	25,32 t/h	32,84 t/h
6	Performance	18,6%	38%	43,8%
1	Production annuelle	254 781,3 t	146 066,48 t	16 3915,1 t
9	T alloué- T arrêt	4 608 h	4 104 h	4 488 h
9	Capacité actuelle	55,29 t/h	35,60 t/h	36,52 t/h
7	Performance	42,5%	53,4%	48,7%

En 1996, un seul de ces taux est compris dans la marge admise, 40% à 85%.[30] En 1997, ces taux sont compris dans la marge mais sont très voisins de la borne inférieure. Ces taux montrent la baisse de performance des équipements de production de la SCO.

Les résultats de la production horaire moyenne par section, tableau C.4 à l'annexe C, au cours de ces cinq dernières années sont édifiants. Cette performance est en nette régression d'année en année

3.1.3 Le taux de la qualité

Ce ratio est lié à la qualité du produit. En effet, c'est ici que sont imputés les rebuts, les pertes de production au démarrage (mise en course) et les produits défectueux qui doivent être retouchés.

Au sein de la Société des Ciments d'Onigbolo, les rebuts et les pertes de production sont presque inexistantes. Le cas qui se présente le plus souvent est celui des produits défectueux auxquels il faut faire des retouches. En effet, lors du démarrage du four, environ cinquante tonnes de clinker produites ne sont pas de la qualité souhaitée. Ce produit défectueux est mélangé progressivement à la production ultérieure tout en respectant les normes de qualité en vigueur. Ce mélange est transformé en ciment au niveau du broyeur à ciment en y ajoutant quatre à cinq pour cent de gypse.

Le taux de qualité étant, par définition, le rapport entre le nombre de produits fabriqués diminué du nombre de produits défectueux, et le nombre de produits fabriqués, nous sommes en mesure de dire qu'à la S.C.O., ce taux peut être considéré comme égal à 1. Nous sommes toutefois conscients que le mélange qui doit être fait, augmente les heures

de main-d'œuvre au sein de l'usine. La quantification des heures en main-d'œuvre que cela nécessite pourrait être faite si nous disposons des informations nous le permettant.

3.1.4 Détermination du taux de rendement systémique ou O.E.E. (Overall Equipment Effectiveness)

Ce taux permet de juger du rendement réel de l'équipement et plus précisément ce que l'équipement est capable de fabriquer actuellement. Ce ratio est très indispensable pour les planificateurs et les ingénieurs de production, pour la mise en marche de leur programme directeur de production.

Par définition le taux de rendement systémique est le produit des ratios de disponibilité, de performance et de qualité. Les résultats des calculs d'OEE des équipements principaux de la SCO sont résumés dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Taux de rendement systémique ou O.E.E.

Année	Taux de rendement systémique des principaux équipements		
	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
1996	15,48%	21,43%	20,05%
1997	21,90%	24,98%	24,87%

A partir de ces taux, nous pouvons établir la production moyenne journalière de chacun des équipements.

Tableau 3.6 : Production moyenne journalière actuelle de la SCO

Année	Production moyenne journalière (en tonnes)		
	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
1996	483	342	361
1997	683	400	448
Production prévue	3 120	1 600	1 800

Nous remarquons à partir de ce tableau que l'usine fonctionne à moins du quart de sa capacité de production. Remarquons ici que la production journalière du broyeur à ciment est supérieure à celle du four ; ce qui apparemment est impossible. Ceci est essentiellement dû à l'ajout du gypse sur le clinker pour former le ciment (4 à 5%), et aux résidus de stocks qu'il y a entre les deux équipements.

Le taux de rendement systémique nous a permis de voir, de façon générale, le comportement de la chaîne de production de la SCO. D'autres ratios techniques vont nous permettre d'appréhender d'autres aspects du problème.

3.1.5 Ratios de fiabilité

Ces ratios nous permettent d'avoir une idée claire du comportement du matériel en service sur le plan de la fiabilité.

$R_1 = \text{Nombre de pannes} / \text{Nombre d'unités produites.}$

En 1996, $R_1 = (234 + 117 + 153) / 131\,629 = 0,004 \text{ panne / tonne.}$

En 1997, $R_1 = (272+113+406) / 163\,915 = 0,005$ panne / tonne.

Les tableaux C.1, C.2 et C.3 de l'annexe C donnent les informations détaillées sur le nombre et la durée des pannes.

En somme, pour produire 1 000 tonnes de ciment, il faut prévoir 4 arrêts en 1996 et 5 en 1997. Mais pendant combien de temps durent ces arrêts ?

$R_2 = \text{Temps d'arrêt} / \text{unité produite.}$

En 1996, $R_2 = 10\,028,7 / 131\,629 = 0,076$ h/t = 4,5 min./t.

En 1997, $R_2 = 13\,199,4 / 163\,915 = 0,080$ h/t = 5 min./t.

Pour produire une tonne de ciment, il faut prévoir un temps de panne de 4,5 minutes en 1996 et de 5 minutes en 1997. Donc, pour une production de 1 000 tonnes de ciment, le temps d'arrêt à prévoir est de 75 heures (3 jours 3 heures) en 1996 et, 80 heures (3 jours 8 heures) en 1997. Or, la production moyenne journalière installée à la SCO est de 1 600 tonnes. Donc en 1997, pour atteindre la production journalière installée, il faut prévoir plus de quatre jours, dont plus de trois jours pour les temps de pannes. Ce taux vient confirmer le taux de rendement systémique précédemment calculé.

3.2 Ratios économiques de la maintenance

L'objectif principal de la maintenance est de maintenir, à moindre coût, les équipements de production en état de fonctionnement correct. L'analyse économique a une importance qu'il n'est point besoin de démontrer. Aussi, lorsqu'on sait que la

maintenance fait partie intégrante des activités à valeur non ajoutée, la question ne se pose plus. Car, le but principal d'une entreprise est de faire plus d'argent, et beaucoup d'argent en investissant le moins possible.

L'analyse des coûts est un outil essentiel de gestion et permet aux responsables de maintenance d'effectuer les choix principaux de politiques qu'ils doivent mettre en œuvre. Elle leur permet, en outre, d'établir un budget et de le respecter, de suivre les dépenses, l'efficacité des activités de maintenance, etc. Notons que les critères de décision ne sont pas seulement économiques, mais aussi technologiques.

À la SCO, le tableau des coûts de maintenance par section se présente comme suit :

Tableau 3.7 : Coûts de maintenance par département

Année	Coûts de maintenance en FCFA*					Total
	Concassage	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment	Ensachage	
1996	331635898	801337450	929247225	808944447	424140121	3313305141
1997	652271921	1083055091	1112407165	1042628049	624565084	4514927310

Source : Service Coût et Budget, Structure de coût de revient de la SCO.

R_{e1} = Ratio économique global de maintenance = coûts de maintenance / unités produites.

= 3 313 305 141 / 131 629 = 25 172 FCFA / tonne (en 1996).

= 4 514 927 310 / 163 915 = 27 544 FCFA / tonne (en 1997).

* Monnaie utilisée au Bénin : Franc de la Communauté Française d'Afrique (1FF équivaut à 100FCFA).

Une tonne de ciment a coûté 27 544 FCFA d'activités de maintenance en 1997. Or, la tonne de ciment se vend sur le marché à 50 500 FCFA. Ceci représente un pourcentage de 55% du prix de vente du ciment. Ce taux est alarmant et il urge que les équipements qui consomment exagérément les activités de maintenance soient repérés en vue d'une action immédiate à mener.

$$R_{e2} = \text{Coût total de maintenance} / \text{chiffre d'affaires.}$$

$$= 4\,514\,927\,310 / 8\,500\,000\,000 = 0,5311 = 53,11\% \text{ (en 1997).}$$

Ce ratio est inadmissible lorsqu'on sait que plus de 53% du chiffre d'affaires de l'usine doit être investi dans l'entretien des équipements. Il est donc clair que toute réduction des coûts de maintenance, aussi insignifiante peut-elle paraître, contribue directement, dans la même proportion, à l'augmentation de la marge bénéficiaire de l'usine.

$$R_{e3} = \text{coûts de maintenance} / \text{coûts variables.}$$

Le tableau 3.8 indique le ratio R_{e3} des coûts de maintenance et des coûts variables à la SCO en 1996 et 1997.

Tableau 3.8 : Coût de maintenance vs coûts variables de production

Année	Coûts de maintenance	Coûts variables de production	R_{e3}
1996	3 313 305 141	3 910 147 617	85%
1997	4 514 927 310	3 140 411 051	144%

Ces taux dépassent largement les marges admises en maintenance des industries de cimenterie. En effet, le coût de maintenance peut représenter 15 à 40% des coûts variables.[29] Toutefois, il peut advenir que ce taux soit supérieur à 40%. Ceci est souvent le cas des industries de sidérurgie ou de papeterie. Dans le cas de la SCO, les mesures urgentes doivent être prises afin de contrôler les différents coûts liés à la maintenance des équipements de production.

3.3 Les ratios de main-d'œuvre

L'intervention humaine est capitale dans tous les systèmes de production, peu importe leur degré d'automatisation. Aussi, voudrions-nous faire remarquer à tous les intervenants dans l'entreprise que plus de 40% des défaillances d'un système sont dues à l'erreur humaine.[20] Ces erreurs sont à la fois imputables aux opérateurs et au personnel de maintenance. Il est important, pour toute industrie, de disposer des unités qui permettent la formation continue des employés afin d'améliorer continuellement leur niveau d'instruction et par conséquent, leur performance.

Avoir un personnel qualifié et en bonne proportion constitue le problème majeur de nos industries. En effet, à la SCO, le personnel de maintenance, toutes sections confondues, est de 113 employés. D'où, le ratio de personnel de maintenance :

$$R_{pm} = \text{effectif du personnel de maintenance} / \text{effectif total de l'usine.}$$

$$= 113 / 565 = 0,2 = 20\%.$$

Ce taux est très faible lorsqu'on sait que dans les industries lourdes (sidérurgie, cimenterie, industrie pétrolière, etc.), le personnel de maintenance représente souvent 40% de l'effectif total.[9]

La mauvaise planification et exécution des activités de maintenance et tous les problèmes de maintenance précédemment cités, ont-ils une partie de leur source dans ce faible taux du personnel de maintenance ? Nous ne saurions répondre avec exactitude à cette question à cette étape de notre étude. Il est d'une évidence que ce faible ratio contribue, d'une manière ou d'une autre, à la mauvaise gestion des équipements de production. Il ne fait aucun doute que d'autres facteurs se combinent à ce taux pour empirer la situation. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer notamment le rendement du personnel de maintenance, leur compétence, l'organisation du travail, etc.

Le rendement du personnel nous permet, à la lumière du taux de rendement systémique des équipements, d'évaluer l'aptitude du personnel à effectuer efficacement ses tâches. Malheureusement, dans le cas de la SCO, nous ne disposons pas des données nous permettant de faire cette analyse. Néanmoins, lors de notre passage dans l'usine, nous avons fait des observations durant la rénovation de trois cabines électriques brûlées. Cette rénovation a duré environ deux semaines. L'ensemble des cabines regroupe 31 boîtiers. Pour les mêmes travaux sur ces boîtiers électriques identiques et pour trois employés différents, la variation des taux horaires est très grande d'un individu à un autre. Par exemple, pour le câblage du boîtier et la pose d'un compteur électrique de 400

volts, les temps moyens au niveau de chacun des trois employés sont les suivants : 1h28min, 2h32min, 3h20min. Ceci constitue une variation de 2 heures environ entre le premier et le troisième. Cet état de chose complique la planification des activités de maintenance. Il pose également, le problème de formation du personnel, des méthodes de travail et de l'organisation individuelle. Il est normal qu'il y ait variation du temps de travail entre deux individus. Mais il y a une limite pour cette variation. Aussi, pour la même activité, la variation est-elle très grande au niveau du même individu selon la période de la journée. D'après nos observations sur les mêmes travaux décrits ci-dessus, le premier employé a passé en moyenne, dans l'après-midi, 1h55mn et les deux autres respectivement 2h58min et 3h40min. C'est une augmentation de temps de travail de 30% pour le premier, 17% et 10% respectivement pour le second et le dernier.

Serait-on porté à dire que les temps d'intervention des employés sont influencés par la période de la journée pendant laquelle le travail se déroule ? Ceci pourrait faire l'objet d'une autre étude que nous n'aborderons pas dans ce document. Toutefois, ce sont des facteurs qu'il faut prendre en compte dans la planification des activités de maintenance.

Les différents ratios calculés dans ce chapitre constituent des outils essentiels pour la gestion des activités de la maintenance. Ils constituent des outils de réflexion, de gestion et de prise de décision. En effet, c'est à partir des informations fournies par ces ratios qu'une planification annuelle des activités de maintenance est faite. Et, à partir de cette planification, le budget de la maintenance est établi. Ils nous permettent aussi, de suivre

les performances de nos équipements et d'anticiper sur leur défaillance et leur baisse de rendement. Aussi, nous permettent-ils de mettre en évidence les différents problèmes liés à la maintenance et de prendre les décisions qui s'imposent afin d'améliorer continuellement la performance des équipements de production.

Prendre des décisions appropriées et au bon moment constitue un vrai casse-tête pour les techniciens de nos jours. Car, ces décisions doivent prendre en compte les facteurs techniques, économiques et humains de la maintenance. Les décisions à prendre sont parfois très divergentes selon que l'on considère l'un ou l'autre de ces facteurs. Les mathématiques et les sciences exactes ne sont pas encore arrivées à prendre en considération tous ces facteurs à la fois. Il serait alors intéressant de faire intervenir une discipline comme la simulation pour régler ce problème complexe à plusieurs variables aléatoires. Dans le chapitre suivant, il sera essentiellement question de la construction d'un modèle de simulation dans le langage "Taylor II". Cet outil est utilisé, dans la suite du document, lors de l'expérimentation de la mise en œuvre d'une politique de maintenance et de son impact sur la chaîne de production tout entière.

CHAPITRE 4

CONCEPTION DU MODÈLE DE SIMULATION DE LA SCO

Nous nous sommes inspirés des équipements de la SCO pour la construction du présent modèle. Ce modèle pourra donc être utilisé pour toute industrie de cimenterie à condition que certaines modifications soient faites : retrait ou ajout d'équipements, entrée des données correspondantes à l'entreprise à étudier, etc. Ces ajustements auront pour seul but, de faire correspondre le modèle à la réalité de l'entreprise à étudier car, chaque usine a sa spécificité et ses réalités techniques, économiques, organisationnelles et socioculturelles qu'il faut prendre en compte.

4.1 Pourquoi la simulation par ordinateur ?

Dans cette section du document, il nous apparaît important de souligner les raisons pour lesquelles nous avons choisi la simulation par ordinateur, pour faire face aux problèmes de maintenance qui se posent actuellement à la SCO, au lieu d'utiliser les méthodes habituelles de statistiques et de management. Loin de nous l'idée d'écarter toute possibilité d'utilisation de la statistique et de la gestion, la simulation par ordinateur sera un troisième atout qui nous permettra de venir à bout des problèmes complexes et dynamiques.

En effet, la complexité des équipements de production et l'évolution continue des techniques de gestion de la production créent de multiples variables aléatoires très

difficiles à gérer, voire maîtriser, lors d'une interruption de travail due à une panne. Ces variables, dynamiques et aléatoires, possèdent de multiples contraintes, évoluant dans le temps, auxquelles il faut faire face. La gestion de la production par "flux tiré" oblige la maintenance à lui emboîter le pas, en rendant plus disponibles les équipements de production afin de répondre aux demandes, le plus rapidement possible. Il est vrai que la combinaison de la statistique et du management arrive à résoudre la plupart des problèmes. Mais, les efforts fournis ne sont-ils pas énormes ? L'anticipation sur les résultats d'une quelconque politique ne comporte-t-elle pas beaucoup de risques dus à des erreurs d'appréciation des événements?

L'analyse des éléments à maintenir et la détermination des actions à mener sont basées essentiellement sur l'historique de l'équipement. L'avènement de la Maintenance Productive Totale (TPM) a changé les méthodes de gestion de plusieurs managers. Il n'en demeure pas moins que la planification de certaines activités de maintenance reste encore basée sur des historiques. Le plus important ici, est qu'il est difficile pour le manager de connaître, à l'avance, les résultats approximatifs des actions à mettre en œuvre. De plus, il lui est également impossible de connaître les effets de ces actions sur le système de production tout entier, y compris le personnel.

Pour mieux comprendre les bienfaits de la simulation, nous proposons dans les paragraphes suivants les avantages et les inconvénients que l'on peut y tirer dans le cas de la SCO.

4.1.1 Les avantages de la simulation par ordinateur

Les avantages de la simulation sont multiples et variés selon les domaines d'application. Les principaux avantages dans l'entreprise manufacturière, objet de notre étude, se classent en deux grands groupes : techniques et économiques.

4.1.1.1 Avantages techniques

Ils sont les plus nombreux et constituent les principales raisons de l'utilisation de l'outil de simulation. En effet, ils nous permettent de développer des stratégies afin de mieux gérer le département de maintenance. On peut citer entre autres avantages :

- Étude des systèmes complexes avec une meilleure compréhension du problème ;
- Maîtrise plus facile des conditions de fonctionnement et de la notion du temps ; réponses plus rapides (compression du temps ; ex. simuler une année d'activité en moins de 30 minutes.), convaincantes et plus significatives ;
- Utilisation multiple du modèle de simulation par des mises en situations sans perturber le système de production proprement dit.

4.1.1.2 Avantages économiques

Économiquement, la simulation manufacturière présente des avantages incontestables. Ces avantages poussent de plus en plus les entreprises à se tourner vers l'utilisation d'un tel outils. Les plus palpables sont :

- Le coût d'obtention d'informations par la simulation est nettement inférieur à la mise en pratique (ou pilotage) dans le système réel, plus lourd et plus difficile à manipuler ;
- Outil d'aide à la décision, il prend moins de temps que le système réel et la mise en application des différentes alternatives est facile et rapide. D'où un gain de temps et d'argent.

Malgré ses nombreux avantages, la simulation par ordinateur n'est pas sans inconvénients.

4.1.2 Les inconvénients de la simulation par ordinateur

Il nous paraît important de souligner les désavantages de la simulation par ordinateur afin de ne pas commettre certaines erreurs préjudiciables à son utilisation bénéfique. Ils sont peu nombreux mais souvent sources d'échec des projets.

- Le modèle nécessite beaucoup d'informations, peut-être difficile à concevoir et peut-être consommateur de temps. La collecte des

informations occupe, le plus souvent, environ 40% du temps total de l'étude.

- Le modèle de simulation constitue une représentation simplifiée de la réalité et ne fournit pas de réponses exactes.

Il est extrêmement important de faire attention, dans l'interprétation des résultats, afin de ne pas être rigide sur les décisions à prendre sans s'accorder une marge de manœuvre.

4.2 Choix du langage de simulation

Quatre grands critères sont à la base du choix du langage de simulation que nous avons utilisé dans ce document : la configuration des entrées des données, la flexibilité, la fiabilité des résultats et la convivialité.

Configuration des entrées : il est important dans notre cas de trouver un langage de simulation qui tienne compte à la fois des entrées de la production, des activités de la maintenance et de la gestion du personnel.

Flexibilité : une facile modification des données dans le langage de simulation est un atout considérable pour la simulation des plans d'expériences du point de vue de gain en temps.

Fiabilité des résultats : les types de résultats fournis et leur fiabilité sont très utiles dans l'analyse des situations en vue des décisions à prendre. La précision des rapports fournis par le logiciel permettra au manager de minimiser les risques d'erreurs dans la prise des décisions.

Convivialité : la facilité d'utilisation du langage de simulation et les interfaces avec l'utilisateur donnent une rapidité et une envie de travailler. Ceci permet de construire le modèle en un temps record. Ce critère nous paraît très important car, les utilisateurs doivent avoir plus de facilité pour construire leur modèle étant donné qu'ils ne sont pas des informaticiens.

Nous avons eu à faire le choix entre deux langages de simulation étudiés : "Visual SLAM and AweSim" et "Taylor II". Notre choix s'est porté sur "Taylor II" car, il satisfait simultanément à tous les critères précédemment décrits. Outre ces atouts, "Taylor II" offre la possibilité du suivi du personnel de production et de maintenance sans faire appel à des constructions astronomiques. Aussi, l'animation offerte et les icônes dynamiques de ce langage permettent-elles à l'utilisateur de se rendre compte, très tôt, des incohérences dans le modèle conçu sans attendre les résultats de la simulation. Ceci constitue un avantage considérable par rapport aux autres langages.

4.3 Revue de la littérature

La maintenance est une nouvelle discipline qui a fait son apparition dans l'industrie dans les années 50 aux États-Unis d'Amérique. Elle trouve son origine dans le vocabulaire militaire et se définit comme étant : « Le maintien du matériel et des effectifs à un niveau constant des unités de combat. » [27, 29] Les besoins, les exigences économiques et humaines, et la recherche de meilleurs compromis constituent les fers de lance de la maintenance au cours de son évolution.

En effet, la maintenance a évolué sous diverses formes au fil des années. De la maintenance corrective, dite de sapeur pompier, à la maintenance productive totale, l'étape ultime à laquelle toutes les entreprises aspirent, elle est passée par la maintenance préventive systématique, la conditionnelle puis la prédictive. Cette évolution rapide de la maintenance, au cours de ces deux dernières décennies, est en grande partie due aux nouvelles techniques de production qui consistent à maximiser les bénéfices tout en minimisant les investissements. Aussi, le développement des équipements lié à l'automatisation, l'évolution des techniques de maintenance et les coûts de maintenance sont-ils à prendre en compte.

L'informatique a fait son apparition dans l'entreprise, par l'intermédiaire du service de la comptabilité, peu après la crise économique de 1929. La maintenance est le dernier secteur de l'entreprise dans lequel l'informatique a été introduite. [18] Les différentes

tâches sur lesquelles la Maintenance Assistée par Ordinateur (MAO) devrait concentrer ses forces sont de trois ordres : l'acquisition des données et l'aide à la gestion de la maintenance, l'auto diagnostic et la télémaintenance.[5] L'informatisation des structures de maintenance permet la maîtrise du flux opératoire des activités de maintenance et la collecte des données historiques de maintenance des équipements. Elle permet également une large disponibilité des données au niveau de tous les intervenants à quelque niveau que ce soit. Enfin, les interfaces avec d'autres systèmes permettent une meilleure programmation, planification et communication entre les diverses structures de l'entreprise.[37] L'introduction de l'informatique dans la gestion de la maintenance a pour but la simplification et la réalisation plus rapide des tâches de base de la maintenance.[11,12]

Cette revue de la littérature montre les différents aspects pris en compte par les auteurs dans le domaine de l'informatique appliquée à la maintenance industrielle. Tous utilisent l'informatique pour simplifier et gérer le plus rapidement possible, les activités de maintenance. Le but visé par tous ces auteurs est la minimisation des temps d'indisponibilité des équipements de production. Ils agissent sur les activités déjà existantes. Même si Smit et Slaterus préconisent une remise en question des méthodes de travail existantes, ils ne proposent aucun moyen pour anticiper sur les conséquences que pourrait engendrer un tel changement. La détermination du personnel destiné aux activités de maintenance, les coûts liés aux diverses branches de la maintenance et les conséquences de la modification de la politique de maintenance d'un équipement sur le

reste de la chaîne de production, sont autant de problèmes que toute entreprise se doit de régler méthodiquement et de façon optimale.

Ne serait-il pas plus bénéfique d'anticiper sur le contenu de ces résultats avant la mise en application des modifications ? C'est le travail auquel nous allons nous atteler dans cette partie du document en construisant le modèle de l'entreprise.

4.4 La modélisation du système de production et de maintenance de la SCO

L'analyse des résultats de la collecte des données et des performances de la SCO, telle que présentée au chapitre 3, nous a indiqué que trois équipements sont au centre de la maintenance. En effet, ces trois équipements (le broyeur à cru, le broyeur à ciment et le four) consomment la presque totalité des temps d'arrêt dans l'usine. Ce fait nous oblige à concentrer nos efforts sur ces trois principaux équipements. Les autres équipements recevront une attention moins soutenue.

4.4.1 Description du modèle

Le modèle conçu comprend les équipements principaux d'une usine de cimenterie : la carrière (les sondeuses, les chargeuses et les camions), le concasseur, le hall de stockage de calcaire et d'argile concassé, le broyeur à cru, les cyclones, le four, le broyeur à ciment, la machine à ensacher et les silos de stock tampon en amont et en aval de chacun des équipements de production. Toutes les machines sont reliées entre elles, soit par un

convoyeur à godets, soit par un transporteur à courroie en forme de "V", soit par un tuyau dans lequel le déplacement de la matière est assuré par une pression d'air fournie par un compresseur. Le fait que le modèle dispose de presque toutes les composantes d'une cimenterie, le prédispose à une utilisation plus générale dans d'autres cimenteries. Il est évident que certaines modifications spécifiques de l'usine à étudier doivent être opérées chaque fois que l'on change d'entreprise. La structure générale du modèle de simulation reste la même.

Lors de la conception du modèle, l'emphase a été mise sur le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment. Ainsi, toutes les activités liées à ces équipements sont traitées et analysées minutieusement puis, intégrées au modèle de simulation. Les autres équipements sont considérés comme de grosses "boîtes noires" pour lesquelles nous avons associé les conditions d'entrée et de sortie du produit, le temps de cycle et la capacité pour chacun d'eux.

4.4.2 Les données du modèle de simulation

Le choix des distributions statistiques représentant les données d'entrée de la simulation est la première étape la plus importante de la conception. Averill M. Law et al. l'ont clairement exprimé : « It is evident that the choice of probability distribution can have a large impact on simulation output and potentially on the quality of the decisions made with the simulation results. » [2] Il est clair qu'une mauvaise représentation statistique des

données est source de graves erreurs que ce soit dans le modèle que dans les décisions à prendre lors de l'analyse des résultats obtenus car, ceux-ci ne représenteront pas la réalité du plancher de l'usine.

Trois principaux types de temps retiennent notre attention dans le modèle de simulation conçu : le temps de processus, la moyenne des temps entre défaillances ou MTBF (Mean Time Between Failure) et la moyenne des temps de réparation ou MTTR (Mean Time To Repair). Nous nous sommes servis du logiciel "ExpertFit" pour déterminer les différentes distributions statistiques liées à ces temps.

4.4.2.1 Le temps de processus

Le temps de processus est le temps mis par un équipement pour produire une tonne de produit. Le choix de la quantité (une tonne) nous a été imposé par le langage de simulation. En effet, le langage "Taylor II" est conçu pour la simulation discrète. Le temps de processus est par conséquent le temps mis pour fabriquer une unité. Pour les besoins de la simulation, nous avons donc déterminé le temps nécessaire pour produire une tonne de produit selon l'étape de fabrication. Ce temps est très varié d'une heure de production à la suivante, d'un mois à l'autre et évidemment d'un équipement de production à un autre. Le tableau D.1 de l'annexe D donne la moyenne des temps de processus par mois et par équipement de production. Le traitement de ces données, à partir du logiciel "ExpertFit", a fourni les résultats suivants :

Concasseur : la courbe de densité (figure 4.1) indique que la distribution est celle des valeurs extrêmes de type B.

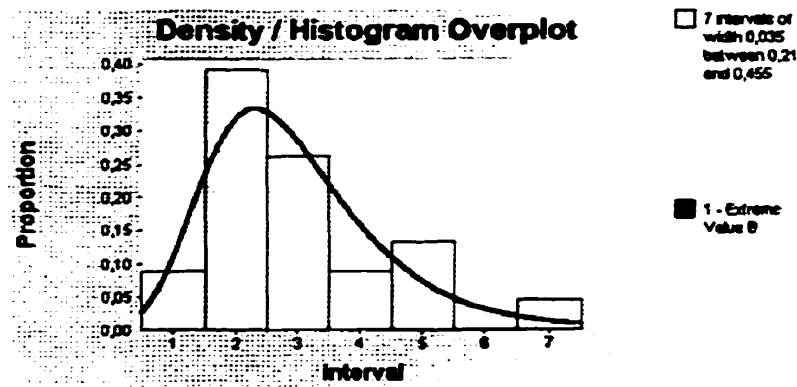


Figure 4.1 : Courbe de densité du temps de processus au concasseur

La traduction de ces temps dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivant :

```
begin p1:=ln[1./ran];(if p1<1. then p1:=ln[1./p1] else p1:=0.-ln[p1]);
      0.038683*p1+0.273784 end
```

Broyeur à cru : le temps de processus suit une distribution statistique du type laplace dont la courbe de densité est la suivante :

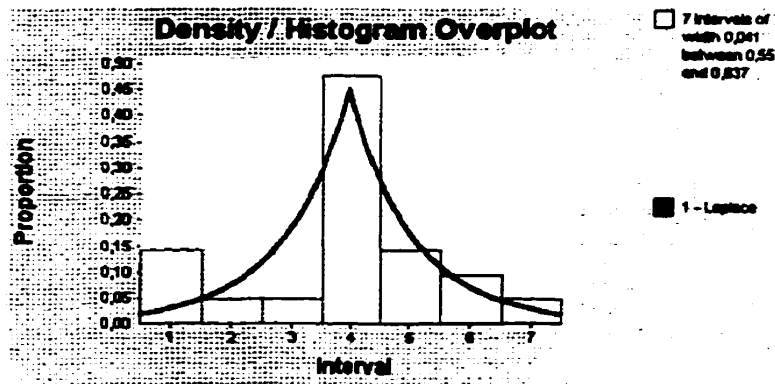


Figure 4.2 : Courbe de densité du temps de processus du broyeur à cru

La traduction de la distribution statistique de laplace dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) se présente de la façon suivante : `begin p1:=ran;(if p1<0.5 then p1:=0.-ln[0.5/p1] else p1:=ln[0.5/(1.-p1)]); 0.045381*p1+0.692700 end`

Le four : le temps de processus suit une distribution statistique de type log-laplace.

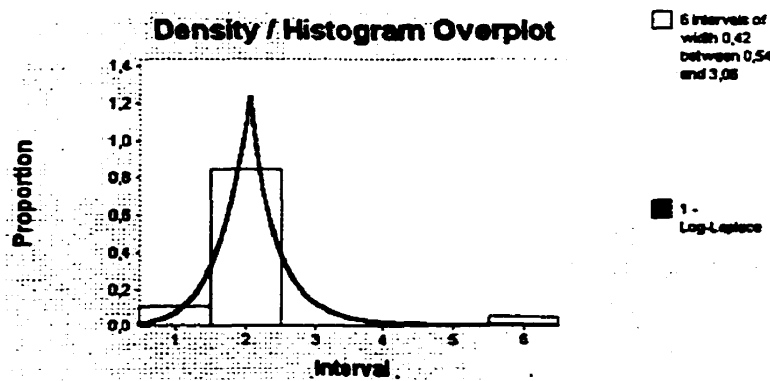


Figure 4.3 : courbe de densité du temps de processus du four

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) de cette distribution est la suivante :

```
begin p1:=ran;(if p1<0.5 then p1:=0.-ln[0.5/p1] else p1:=ln[0.5/(1.-p1)]);
    exp[p1/7.043880]*1.198300+0.000000 end
```

Broyeur à ciment : le temps de processus satisfait à la distribution statistique de type log-logistique.

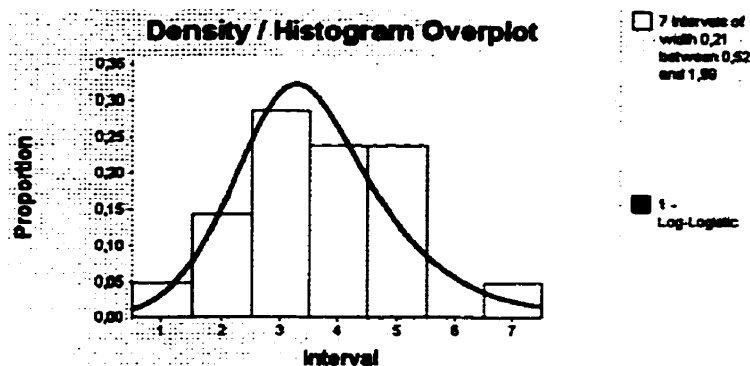


Figure 4.4 : Courbe de densité du temps de processus du broyeur à ciment

La traduction de la distribution statistique log-logistique dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante :

```
begin p1:=ran;exp[(ln[1./1.-p1])-ln[1./p1])/6.958560]*1.152532+0.000000 end
```

Ensachage : la distribution statistique de type log-logistique représente le temps de processus à l'ensachage.

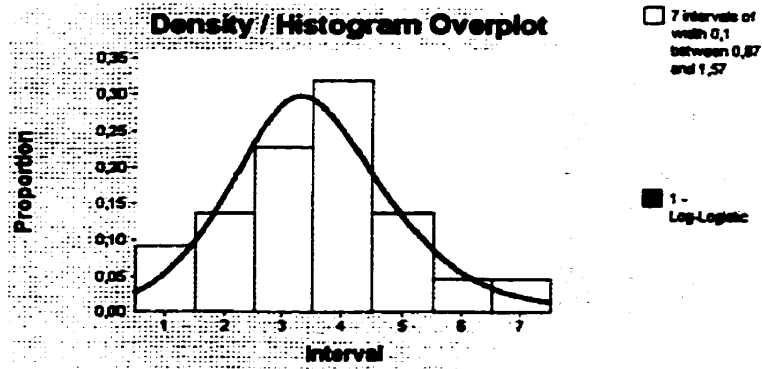


Figure 4.5 : Courbe de densité du temps de processus de l'ensachage

La traduction de cette distribution statistique dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante :

```
begin p1:=ran;exp[(ln[1./1.-p1])-ln[1./p1])/13.860870]*1.164904+0.000000 end
```

4.4.2.2 La moyenne des temps entre défaillance ou MTBF

Le temps de bon fonctionnement d'un équipement est un indicateur très précieux pour la production et la planification d'un bien. La moyenne de ces temps constitue un indicateur d'analyse du comportement du matériel en service, de sa santé et de son autonomie de fonctionnement. Elle entre en ligne de compte lors de la planification des activités de maintenance. Pour les besoins du modèle, seuls les MTBF des trois principaux équipements sont pris en compte.

Broyeur à cru : les MTBF, dans cette section, satisfont à la loi inverse de gauss.

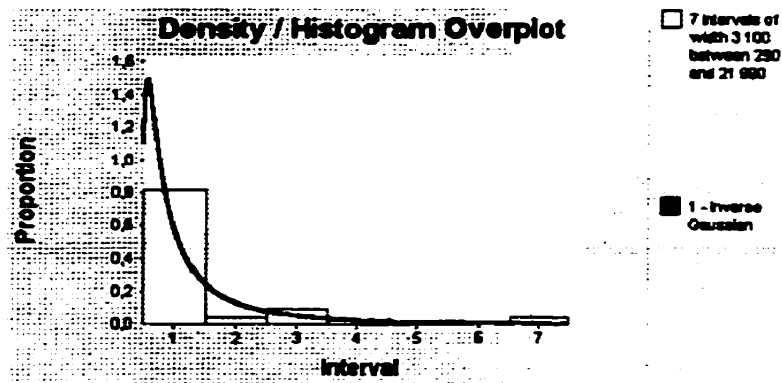


Figure 4.6 : Courbe de densité des MTBF au broyeur à cru

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante :

```
begin      p1:=normal[0.,1.];p2:=2905.393882;p1:=p2*p1*p1;p1:=(1.-
((6298.661878/p1+1.)^0.5))*p1*0.922543+p2;(if ran<p2/(p2+p1) then p2:=p1 else
p2:=p2*p2/p1);p2+0.000000 end
```

Four : la courbe de densité satisfait à la distribution statistique de type lognormal.

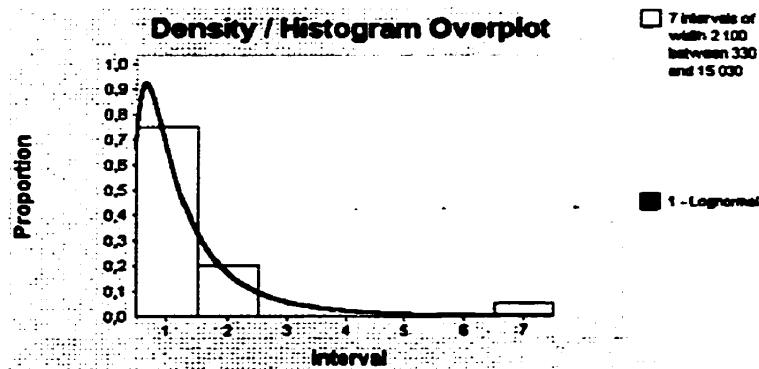


Figure 4.7 : Courbe de densité des MTBF au four

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante : $\text{lognormal}[2265.885927, 2511.569991]$

Broyeur à ciment : le résultat de l'analyse statistique des MTBF a fourni une courbe de densité suivant les caractéristiques d'une distribution statistique de type Johnson SB.

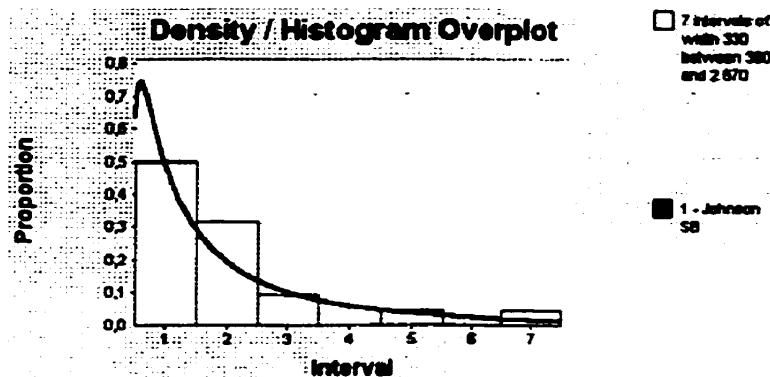


Figure 4.8 : Courbe de densité des MTBF au broyeur à ciment

La traduction de cette distribution statistique dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante :

$$3806.825207 / (1 + \text{lognormal}[29.161196, 9246.086162]) + 336.595402$$

4.4.2.3 La moyenne des temps de réparation ou MTTR

Ce temps indique la rapidité avec laquelle les activités de maintenance sont exécutées. Il donne aussi une idée générale du comportement du personnel face à une défaillance, l'efficacité du système d'information (interne et externe) et la compétence du personnel de maintenance. Il constitue un indicateur d'analyse des activités de maintenance.

Les distributions statistiques caractéristiques des données de MTTR de chacun des équipements se présentent comme suit :

Broyeur à cru : les MTTR dans cette section satisfont à la loi de weibull de type E .

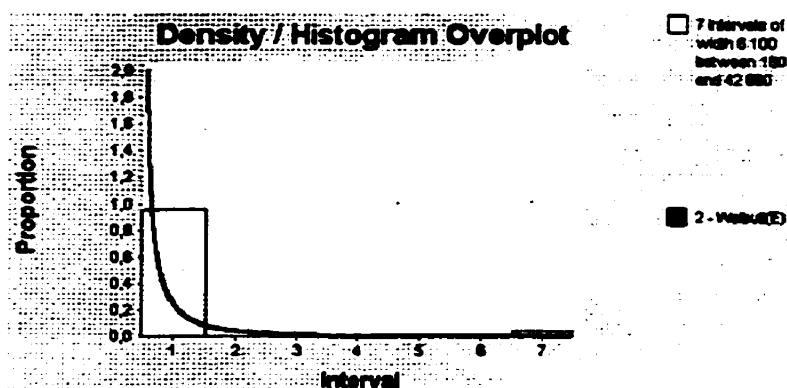


Figure 4.9 : Courbe de densité des MTTR au broyeur à cru

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante : weibull[1788.818614, 0.451473]+181.996996

Four : la courbe de densité satisfait à la distribution statistique de type lognormal.

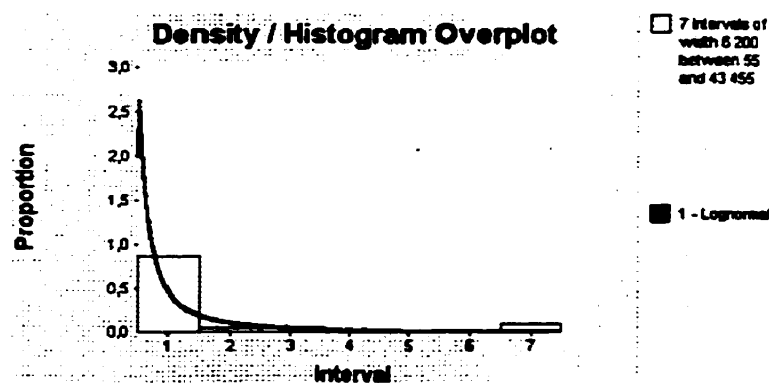


Figure 4.10 : Courbe de densité des MTTR au four

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface"(TLI) est la suivante : `lognormal[6997.143615, 22827.561734]`

Broyeur à ciment : le résultat de l'analyse statistique des MTTR a fourni la courbe de densité suivante caractéristique d'une distribution statistique de type log-logique.

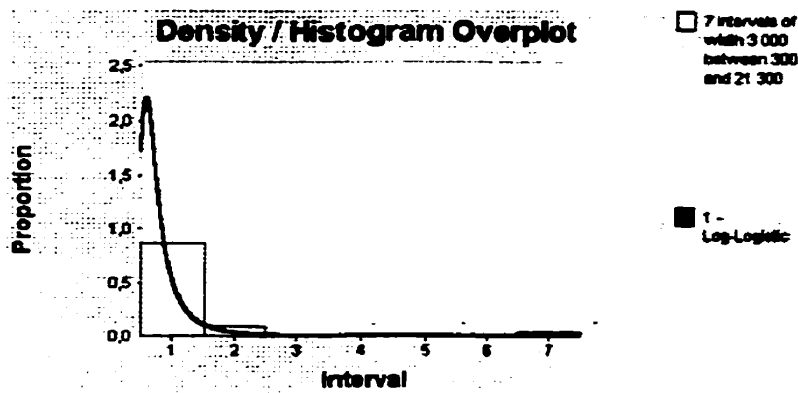


Figure 4.11 : Courbe de densité des MTTR au broyeur à ciment

La traduction dans le langage de simulation "Taylor Language Interface" (TLI) est la suivante :

```
begin p1:=ran;exp[(ln[1./1.-p1])-ln[1./p1])/2.090384]*899.995309+0.000000 end
```

4.4.3 Formulation des hypothèses de la simulation

La corroboration des activités de production nécessite la formulation de certaines hypothèses étant donné que tout n'est pas pris en compte dans le moindre détail au niveau du modèle construit. En effet, afin de ne pas alourdir le modèle de simulation et

de permettre une utilisation facile et conviviale nous avons formulé les hypothèses suivantes :

- Maximisation de la vitesse des convoyeurs et transporteurs reliant les différents équipements entre eux. Cette hypothèse a pour objectif principal de minimiser le délai de transport. En effet, étant une chaîne de production continue, il n'est point besoin de mettre un délai de transport pour chaque tonne produite. La chaîne de production contient, en tout temps, des produits semi-finis près de chaque équipement.
- Le temps de processus des convoyeurs et transporteurs est de 0,001 unité. Ceci, dans le but de minimiser, voire annuler, les délais de transformation des produits car, ils ne subissent aucune transformation lors de leur passage sur les convoyeurs ou les transporteurs dans le système réel.
- Lorsque la machine est inoccupée, ce temps n'est pas comptabilisé dans le temps des MTBF.
- Les MTTR comprennent le temps d'appel des techniciens, le temps réel d'intervention sur les équipements défectueux et les délais de réapprovisionnement. Les mises en course et les essais ne sont pas pris en compte.

Nous avons fait ces hypothèses pour alléger la construction et rendre plus rapide les actions à mener. Notons que ces hypothèses n'affectent pas la substance principale de la configuration du système réel de production.

4.4.4 Validation du modèle

L'un des trois facteurs les plus importants de la simulation, la validation du modèle, est l'étape pendant laquelle on vérifie le caractère réaliste de la construction qui a été faite. En effet, c'est à cette étape qu'on vérifie les hypothèses posées, le choix des distributions statistiques et les conditions spécifiques de fonctionnement. Le comportement général et les détails de chacun des éléments du modèle doivent être vérifiés dans le but de confirmer que les résultats correspondent aux conditions initiales de fonctionnement et à la réalité transcrite dans le modèle de simulation. En d'autres termes, « Validation is a process of establishing that the model available is a sufficiently correct model of the real system.» [6] Il ne s'agit pas dans notre cas de vérifier, dans les plus fins détails, tous les éléments composant le modèle. Mais il est important de vérifier ceux que nous étudions et évidemment les résultats intermédiaires et finaux fournis par ces éléments.

Notons qu'il y a des écarts entre ces résultats et la réalité. Car, les données de la simulation suivent des distributions statistiques, donc les résultats de la simulation ne sont pas les mêmes d'une simulation à l'autre. Il est alors important d'effectuer une série de simulations et d'observer si les résultats obtenus répondent, en général, aux conditions initiales de la conception du modèle et à la réalité du plancher. Une bonne simulation ne fournit pas des résultats exacts mais une approche très près de la réalité.

4.4.5 Analyse des résultats de la simulation du modèle

La simulation du modèle nous a fourni des informations importantes relatives aux comportements des équipements en panne. Ces informations, centrées évidemment sur les trois équipements principaux, montrent que deux ou trois équipements peuvent être en panne à la fois. Le temps pendant lequel deux équipements sur trois sont en panne varie entre 53min. et 58h 48min(soit 2 jours 10h 48min.). La période pendant laquelle les trois équipements sont simultanément en panne, a une durée relativement courte. En effet, elle varie entre 15min. et 2h 36min. Le tableau 4.1 résume ces différents temps et le nombre de fois que ces événements sont survenus. Voir l'annexe E pour plus de détails sur les résultats de la simulation.

Tableau 4.1 : Résumé des temps de panne de deux ou trois équipements à la fois

Equipements	Broyeur à cru et Four	Broyeur à cru et Broyeur à ciment	Four et Broyeur à ciment	Les trois équipements	Total
Nombre	14	17	38	3	72
Temps (min.)	4 524	2 732	41 010	205	4 8471

D'après l'hypothèse selon laquelle les temps d'attente sont compris dans le MTTR et le fait que la SCO n'utilise qu'une seule équipe pour effectuer les opérations de maintenance pour ces trois équipements avec leurs équipements connexes, il ressort que l'entreprise perd énormément de temps. En effet, le temps de réponse est très long compte tenu des résultats que nous venons d'observer. Pendant que les travaux de la

première panne n'étaient pas encore achevés, une autre panne survient sur un autre équipement. Selon les résultats de la même simulation, tous les trois équipements peuvent tomber simultanément en panne. En ajoutant les équipements connexes aux trois premiers, la situation devient presque incontrôlable. C'est exactement ce à quoi on assiste à la SCO. Il n'est pas rare d'entendre les responsables de maintenance dire que les équipements sont amortis et ne répondent plus aux besoins. Mais la direction n'hésite pas à blâmer le service de maintenance en le traitant d'incompétent.

Les temps d'attente et de réponse constituent une énorme perte de production et de productivité. Il est très important pour nous, de nous pencher sur les cas de double ou triple panne afin d'éliminer les temps d'attente très coûteux pour l'entreprise. Pour ce faire il convient d'apporter des modifications à la situation actuelle sur le double plans de l'organisation des équipes d'intervention et des méthodes de travail en vigueur dans l'entreprise.

CHAPITRE 5

MISES EN SITUATION ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS

Ce chapitre traite de trois mises en situation au niveau de la SCO. Il s'agit de :

- La déterminer le nombre d'équipes d'intervention.
- La composition des équipes d'intervention en maintenance sur le plancher de l'usine et son impact sur la production de l'entreprise.
- La prise en compte de tous les équipements de l'usine.

5.1 Première mise en situation : Nombre d'équipes d'intervention

Dans cette partie, nous déterminerons le nombre d'équipes d'intervention en maintenance sur le plancher afin de maintenir, en toute efficacité, les équipements en état de bon fonctionnement. Une attention particulière sera accordée aux temps de réponse avant le début de chaque intervention de l'équipe de maintenance. L'objectif poursuivi est de minimiser, autant que faire se peut, ces temps très coûteux pour l'entreprise. De ce fait, les gains de temps serviront directement à l'accroissement de la production de l'entreprise. La productivité pourrait augmenter de manière inespérée.

5.1.1 Description de la situation

La situation est identique au modèle sur le plan des données de la simulation et des équipements de production. Le changement réside dans le fait qu'on ajoute des équipes de maintenance appelées "repair aid". En effet, sans la disponibilité d'au moins une de ces aides, aucune réparation ne peut être faite sur un équipement en panne. En termes clairs, chaque fois qu'une machine est en panne, il faut nécessairement que l'une des équipes de maintenance soit disponible avant que l'opération de maintenance ne débute. Ce qui est tout à fait conforme à la réalité du plancher de l'usine. Dans le modèle précédemment construit, nous avons considéré les temps d'attente comme intégrés aux MTTR. Ce modèle fait la part entre les temps d'attente et les MTTR. Il est alors possible de mesurer les temps de réponse des équipes d'intervention après l'apparition de chaque panne.

Mais avant de passer à la simulation proprement dite de la situation, il convient d'émettre certaines hypothèses.

1. Les MTTR restent les mêmes que dans le modèle précédent mais les délais d'attente ne sont plus inclus ;
2. Les équipements, autres que le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment, ont chacun un taux de défaillance nul.
3. Les améliorations apportées par les interventions ne sont pas prises en compte dans la suite de la simulation.

5.1.2 Présentation et analyse des résultats

Les résultats de la variation du nombre d'équipes d'intervention en maintenance sont résumés dans le tableau 5.1. Notons que ces résultats ne concernent que les trois équipements principaux.

Tableau 5.1 : Résumé des résultats de la détermination du nombre d'équipes

	Equipements	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
Nombre d'équipes = 1	Temps de réponse*	1 523,45 h	259,93 h	519,4 h
	Temps d'arrêt*	3 779,95 h	14 737,98 h	1 283,72 h
	Pourcentage du temps de réponse	40,30 %	1,76 %	40,46 %
Nombre d'équipes = 2	Temps de réponse*	20 h	1,65 h	0,63 h
	Temps d'arrêt*	3 776,25 h	1 4742,96 h	1 278,23 h
	Pourcentage du temps de réponse	0,53 % Insignifiant	0,01% Insignifiant	0,05% Insignifiant

* Les temps d'arrêt et les temps de réponse constituent la moyenne de l'exécution de cinq simulations.

Ce tableau montre que la variation du nombre d'équipes d'intervention a une très grande influence sur les temps de réponse. Il indique également que le nombre d'équipes qu'il faut pour un meilleur rendement de la maintenance dans le cas des trois équipements principaux est deux. Lorsque le nombre d'équipes est porté à trois, les résultats de la simulation indiquent qu'il n'y a plus de temps de réponse. Mais ces temps de réponse ne sont pas seulement l'œuvre du nombre de équipe d'intervention. Ils dépendent, entre autres, de la préparation et de l'organisation du travail en vigueur dans l'entreprise. Nous y reviendrons dans le prochain chapitre.

5.2 Deuxième mise en situation : détermination de la composition des équipes

Maintenant que nous avons déterminé le nombre d'équipes nécessaires pour les trois équipements principaux, il convient de déterminer la constitution de ces équipes afin que les interventions soient efficaces et menées en un temps optimum. Dans le chapitre 2, nous avons déterminé les genres de pannes auxquels fait face le service maintenance de la SCO. Elles sont, en grande partie, mécaniques, électriques et électroniques. Il nous apparaît donc évident de constituer les équipes d'intervention en fonction de la nature des pannes que subissent fréquemment les équipements. Dans ce cas, nous allons procéder à deux autres simulations.

Dans la première simulation, nous remplacerons les temps de panne, dans le modèle construit, par des pannes mécaniques uniquement. Les MTTR et les MTBF seront ainsi uniquement constitués des arrêts mécaniques. Ensuite, nous allons faire varier le nombre d'intervenants en mécanique jusqu'à ce que le temps d'attente soit insignifiant ou égal à zéro. Ceci nous permettra de déterminer le nombre de mécaniciens nécessaires pour les différentes réparations à effectuer.

Pour la seconde simulation, la procédure reste identique à la première, mais les MTTR et les MTBF sont constitués des arrêts dus aux pannes électriques et électroniques.

Pour l'ensemble des deux simulations, le temps de processus de la matière reste le même que dans le modèle construit. Les résultats de ces deux simulations sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau 5.2 : Résumé des résultats de la détermination du nombre d'intervenants

Type d'arrêts	Nombre	Temps d'arrêt	Temps de réponse	Pourcentage
Mécaniques	Intervenant =1	6 619 h	811,26 h	12, 25 %
	Intervenant =2	6 612 h	30,33 h	0,46 %
Electriques et électroniques	Intervenant =1	825,68 h	157,34 h	19,05%
	Intervenant =2	821,57 h	0	0

* Les temps d'arrêt et les temps de réponse constituent la moyenne de l'exécution de cinq simulations.

Les chiffres de ce tableau indiquent qu'il faut pour chacune des équipes d'intervention en maintenance sur le plancher de l'usine:

- Deux mécaniciens
- Un électricien
- Un électronicien

L'électricien et l'électronicien sont regroupés dans une même catégorie dans le modèle de simulation.

Les autres interventions qui ne ressortent pas des compétences des équipes, seront effectuées par l'équipe centrale de maintenance. Cette équipe centrale de maintenance

est constituée des spécialistes de la menuiserie, de la maçonnerie, du soudage, de la fabrication mécanique, de la plomberie, etc. Ces pannes surviennent de manière sporadique. Il n'est donc pas nécessaire qu'on intègre ces spécialistes dans la constitution des équipes d'intervention.

Afin de mesurer les effets économiques du nombre d'équipes d'intervention en maintenance sur la production de l'entreprise, d'autres modifications sont apportées au modèle initial. Ces modifications ont pour principal but d'optimiser le nombre d'équipes d'intervention sur le double plans technique et économique. A cet effet, nous avons associé des coûts à la main-d'œuvre constituée par les équipes de maintenance et aux temps d'attente au four chaque fois qu'il y a une panne.

Nous avons choisi le temps d'attente au four parce que la simulation de la situation actuelle à la SCO nous a permis de découvrir que le four constitue le goulot de la chaîne de production. Tout effort de gain de temps au four constitue un gain direct de production pour l'entreprise. D'autre part, les livres comptables de la société indiquent une marge bénéficiaire moyenne brute de 4 300 FCFA (environ 10\$ CAN) par tonne de ciment. Aussi, d'après la capacité nominale de production du four (1 600t/j), il produit 1,111t /min. de clinker. Ceci nous amène à associer un coût de 4 777 FCFA (soit $4\,300 \text{ FCFA} \times 1,111$) à chaque minute d'attente due à une panne au niveau du four.

D'autre part, avec un salaire moyen de 80 000 FCFA par mois (salaire en vigueur dans l'entreprise), le coût total du personnel, pour une équipe durant une année de simulation, est de 3 840 000 FCFA. Ce coût, associé à chaque équipe d'intervention, est à multiplier par deux, trois, etc. selon le nombre d'équipes d'intervention. Aussi, le calcul du nombre d'équipes doit-il tenir compte de la semaine de congé de chaque équipe. En effet, après trois semaines de travail, chaque équipe a droit à une semaine de repos. Ainsi, l'ajout d'une équipe de maintenance pendant un quart de travail entraînerait la création de quatre équipes pour vingt-quatre heures de travail : trois répartis sur les trois quarts de travail de la journée et la seule équipe restante, au repos. Les résultats des différentes simulations sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 5.3 : Résumé de l'impact économique du nombre d'équipes d'intervention

Nombre d'équipes	Temps d'attente au four (heure)	Coûts des attentes (FCFA)	Coûts du personnel (FCFA)	Gain par rapport à une seule équipe (FCFA)
1	254,98	73 094 267	0	0
2	18,32	5 251 733	15 360 000	53 417 067
3	0	0	30 720 000	42 374 276

Ce tableau montre qu'économiquement, choisir deux équipes d'intervention est le choix optimum. Il permet d'aller chercher environ 53 millions de FCFA (132 500\$) du bénéfice brut perdu lors des temps d'attente au four. Le choix de trois équipes d'intervention, bien qu'il annule complètement les temps d'attente au four, ne permet pas à l'entreprise de faire plus de gain. Au contraire, il a fait chuter le gain précédent de

11 millions de FCFA (27 500\$). Ceci est essentiellement dû aux coûts du personnel, qui sont passés du simple au double. Il importe de faire le mixage entre les facteurs techniques et économiques dans toutes les sortes de décisions à prendre dans la vie d'une entreprise.

La détermination du nombre d'équipes et de leur composition ne tient pas compte des autres équipements de l'usine. Il est important de souligner ici que, pour une généralisation de la résolution du problème, une analyse approfondie de chacun des équipements de l'entreprise doit être faite et intégrée dans le modèle de simulation. Il faut aussi prendre en compte tous les équipements connexes aux principaux. Il est possible que dans ces conditions, la constitution des équipes d'intervention change, même au niveau des équipements principaux : broyeur à cru, four et broyeur à ciment. Ceci nous amène à une troisième mise en situation.

5.3 Troisième mise en situation : Prise en compte des équipements connexes

Dans cette mise en situation, tous les autres équipements de l'usine sont pris en compte. En effet, ils ne sont plus considérés comme des équipements qui ont une disponibilité illimitée. Il leur a été associé des MTTR et des MTBF.

Modifications apportées au modèle précédent :

1. Nous supposons, pour les raisons de la simulation, que chacun des équipements, autres que le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment, a une disponibilité variant aléatoirement entre 80 et 90%.
2. Le temps moyen de réparation de ces équipements, c'est à dire le temps de disponibilité perdu, varie aléatoirement entre 10 et 20%.
3. Nous avons défini une priorité dans l'ordre d'exécution des travaux de maintenance. Le four constitue la première priorité, ensuite le broyeur à cru car il faut assurer le fonctionnement continu du four en lui fournissant la matière, et enfin le broyeur à ciment. Les travaux de maintenance sur les autres équipements seront effectués dans l'ordre d'apparition des pannes, tout en privilégiant tout équipement situé en amont du four.

Les résultats, pour une année de simulation, sont consignés dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 : Comparaison des temps d'attente au niveau des équipements principaux

Equipements	Broyeur à cru	Four	Broyeur à ciment
Les trois équipements principaux	20 h	1,65 h	0,63 h
Tous les équipements pris en compte	20,51 h	1,72 h	132,27 h
Variation en pourcentage	0,02 %	0,04 %	208,95 %

Ce tableau indique de très faibles variations des temps d'attente au broyeur à cru et au four. Par contre, au broyeur à ciment, la variation des temps d'attente est très considérable. En effet, cette variation est d'environ 209% du temps d'attente observé lorsqu'on ne prend en compte que les trois équipements principaux. Cette mise en situation explique les longues durées d'attente observées fréquemment au niveau de cet équipement. Ainsi, avec le temps, nous aurons une montagne de clinker devant le broyeur à ciment parce qu'incapable de transformer la totalité des produits du four. Il deviendrait notre nouveau goulot. Le goulot se déplacerait donc au sein du système de production. En outre, nous avons observé des temps d'attente significatifs sur les équipements connexes au broyeur à cru et au four. Ceci diminue, sans aucun doute, les temps de production de ceux-ci. En augmentant le nombre d'équipes d'intervention à trois, il n'existerait pratiquement plus de temps d'attente. Mais remarquons tout de même que les équipes de maintenance sont occupées à environ 40% du temps d'après les résultats de la simulation.

Le système de maintenance d'une usine constitue un tout. Il est suicidaire de vouloir dissocier la maintenance de certaines machines des autres. Lorsqu'une modification survient dans l'usine, tout le système de maintenance doit être repensé conformément aux nouvelles conditions. La maintenance doit adapter ses services aux conditions d'utilisation des machines. Le département de maintenance, à l'instar de celui de la production, doit être en perpétuelle mutation afin de coller aux réalités du plancher de l'entreprise. Il constitue le plus important département d'une usine car, de lui dépend la

disponibilité des équipements de production, et donc la production des biens. L'adoption d'un système de maintenance au sein d'une entreprise reste toujours temporaire. En effet, au fur et à mesure que les conditions de fonctionnement changent, il faut nécessairement changer les méthodes de maintenance des équipements. Une analyse permanente de l'état de santé des équipements doit rester le leitmotiv de la politique de maintenance du département de maintenance.

CHAPITRE 6

GESTION ET PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE À LA SCO

Pour une meilleure compréhension des termes utilisés dans ce chapitre, il nous paraît important de définir les différents niveaux de maintenance.

6.1 Définition des niveaux de maintenance

La compréhension des concepts de maintenance et leur niveau est indispensable pour la définition des limites d'action de chacun des différents intervenants au sein de l'entreprise. D'après les normes AFNOR, les activités de maintenance se classent en cinq niveaux comme l'indique le tableau ci-après.

Tableau 6.1 : Résumé des cinq niveaux de maintenance

Niveau	Types de travaux	Personnel concerné	Moyens
1	Intervention simple sans démontage d'équipement.	Opérateur système	Outillage défini dans la notice d'utilisation.
2	Réparation ou dépannage par échange standard ou opérations simples de prévention.	Technicien habilité	Outillage et pièces de rechange trouvées sur place
3	Identification des origines des pannes. Echange des composants fonctionnels.	Technicien spécialisé	Outillage et appareils de mesure
4	Travaux importants de maintenance préventive ou corrective.	Atelier central, équipe encadrée.	Outillage spécialisé.
5	Travaux de rénovation ou de réparation importants.	Atelier central, équipe complète.	Moyens importants proches de ceux du constructeur.

C'est à titre indicatif que ces niveaux de maintenance ont été définis par l'AFNOR. Il revient donc à chaque entreprise de les adapter à ses équipements et aux conditions de fonctionnement de ceux-ci.

À la SCO, aucune distinction n'est faite entre les différents niveaux décrits précédemment. Jusqu'à date, toutes les activités de maintenance sont effectuées par le même personnel : celui de la maintenance. Ceci constitue l'une des sources de non-disponibilité du personnel de maintenance, car il se trouve submergé par des travaux de tout genre. Par conséquent, il ne dispose plus du temps nécessaire pour les diagnostics et les analyses dans le but de détecter d'éventuelles causes des arrêts. La mise en place d'un système cohérent de maintenance nécessite une combinaison entre les niveaux de maintenance, les équipements et les actions à mener.

6.2 Politique de maintenance

Dans ce paragraphe, nous mettrons en exergue la spécificité des équipements de la SCO dans le but de définir les actions à mener sur chacun d'eux. L'objectif principal est la réduction du nombre et des temps des pannes. Cet objectif a pour corollaire la diminution des stocks, des coûts de maintenance et des heures supplémentaires, et l'augmentation de la disponibilité et de la durée de vie des équipements de production. En somme, c'est la productivité et le profit de l'entreprise qui augmentent. Tels sont les avantages principaux de la mise en place d'une bonne politique de maintenance.

D'autres avantages comme l'augmentation de la capacité de production, le respect des délais de livraison, la sécurité et la satisfaction morale du personnel ne sont pas à négliger. Mais quelle politique de maintenance doit-on adopter à la SCO?

Disposant d'un système de production à fonctionnement continu, il est indispensable de prévenir l'apparition des pannes. La maintenance prédictive est la plus adaptée aux conditions de développement actuel de la SCO. L'objectif final est la mise en place d'une politique de maintenance productive totale (TPM). Comment mettre en place un tel système ? Quelles en sont les différentes étapes ?

6.2.1 Politique de maintenance prédictive

La politique de maintenance prédictive doit tenir compte de la spécificité de la SCO, du niveau d'évolution de la maintenance et des réalités socioculturelles de l'entreprise concernée. La SCO est une chaîne de production à processus continu qui fonctionne 24 heures par jour et 365 jours par année. Il est extrêmement important que tous les maillons de la chaîne de production fonctionnent normalement afin d'assurer la continuité de la production. Le mode de fonctionnement de l'usine offre très peu de marge de manœuvre d'arrêts pour les entretiens préventifs de longue durée. En effet, les stocks tampons entre les équipements de la chaîne sont limités mais suffisants pour une intervention appropriée lorsque le service de maintenance est bien organisé. Il est, dans

ce cas, très important de préparer les travaux d'intervention qui devraient être planifiés à l'avance.

Dans l'établissement de la politique de maintenance de la SCO, une attention particulière est accordée aux équipements comme le broyeur à cru, le four et le broyeur à ciment car, leurs temps de panne occupent la presque totalité des arrêts de l'usine. Pour le reste des équipements, en cas d'intervention pour panne, la priorité d'intervention est accordée à toute machine située en amont du four par rapport à celles situées en aval.

Les étapes de la mise en place de la maintenance prédictive

La mise en place de cette politique de maintenance passe par trois grandes étapes :

1. *Implication de la direction* : elle doit recruter le personnel nécessaire (dans le cas de la SCO il faut recruter 32 personnes additionnelles) pour le bon fonctionnement du système à mettre en place. Il faut que la direction supporte pleinement le service de maintenance en investissant dans l'achat des matériels indispensables pour la réussite d'un tel programme et l'encourage moralement dans l'accomplissement des tâches pour l'évolution rapide de l'implantation du nouveau système.
2. *Assignment d'un personnel* : un groupe de personnes doit être affecté à cette tâche. Ce groupe recevra une formation appropriée dans l'analyse des causes des arrêts, de la prévention et de l'organisation du travail. Ce personnel doit être dévoué et engagé

pour la cause. L'esprit de responsabilité de groupe doit être prôné en son sein. Il faut mettre en place des systèmes de mesure de la performance et de l'état d'avancement du programme implanté telles que la durée des temps d'attente, les MTTR, les MTBF, la fréquence des défaillances, etc.

3. *Création d'une base de données* : regrouper les données en utilisant les techniques et procédures d'analyse appropriées pour chacune des machines de l'entreprise. À partir des objectifs clairement définis, les données seront recueillies et classées pour chaque équipement de la chaîne de production. Les équipements seront classés dans différentes catégories selon leur degré de criticité, ce qui permettra de déterminer l'attention à accorder à chacun d'eux.

La volonté de réussir, l'assiduité au travail, la persévérance et la croyance en la politique de maintenance mise en place constituent les facteurs moraux de réussite. Il est important que les intervenants croient en ce qu'ils font et qu'ils retirent une satisfaction à le faire. Cette attitude doit être cultivée par les responsables de maintenance qui, en toute circonstance, doivent encourager le personnel dans l'exécution de leurs tâches.

6.2.2 Mise en place de la politique de maintenance prédictive à la SCO

La maintenance prédictive à la SCO doit tenir compte de la spécificité et de la criticité actuelle du four, du broyeur à cru et du broyeur à ciment. Les opérations à effectuer

tiendront aussi compte du personnel disponible et des réalités socioculturelles du milieu. L'entreprise est actuellement en crise, et c'est le moment plus que jamais de mettre en pratique de nouvelles idées. L'utilisation des techniques éprouvées de Kaizen devrait aider les différents intervenants à se sentir concernés par les décisions prises en groupe. Il faut évidemment un leader qui puisse amener le groupe vers ce qui doit être fait pour améliorer les interventions en maintenance. Il est d'une importance capitale que les intervenants réalisent que les actions à mener ont été déterminées par eux-mêmes. Au quel cas, ils se sentent concerner par les tâches à accomplir et devraient s'engager dans leur exécution même si le parcours est difficile et semé d'embûches.

L'implantation de la maintenance prédictive à la SCO est une combinaison de plusieurs opérations qui ne font pas nécessairement partie de ses attributs. Cette nouvelle forme de maintenance n'annihile pas les anciennes méthodes, mais les enrichit pour plus d'efficacité dans les interventions en maintenance. La procédure d'implantation que nous proposons pour la nouvelle forme de maintenance à la SCO est la suivante :

1. *Mise en place de la maintenance de niveau 1* : Il est important de commencer par faire un bon nettoyage des machines. Bien nettoyer, c'est permettre une bonne inspection visuelle et une détection précoce des causes latentes des dysfonctionnements. Les opérations de nettoyage et lubrification, d'inspections visuelles, d'échanges de consommables, de petits réglages et vissages des écrous et vis desserrés doivent être accomplies avec le plus grand soin. A ce niveau, toutes les parties de la machine qui

doivent subir ces opérations et la périodicité des interventions doivent être clairement définies, de même que les qualifications requises par les opérateurs pour la faire de façon adéquate.

2. *Remise en bon état de fonctionnement des équipements* : Pour un meilleur suivi des équipements et une réussite de l'action engagée, il faut remédier aux dégradations constatées sur les équipements. Nous suggérons un pilotage de cette opération en la débutant par le four pour deux raisons : le four est la machine qui possède le plus grand nombre de temps de panne (36% des arrêts), et c'est aussi l'équipement qui a la plus faible capacité de production dans la chaîne. Les retombées positives des actions se feront donc vite sentir et motiveront ainsi le personnel à continuer la lutte car, cette lutte est de longue haleine. Les premiers résultats palpables surviennent généralement après trois années d'application assidue de la politique de maintenance prédictive. [33]
3. *Suivi des paramètres de fonctionnement* : plusieurs techniques nous permettront de suivre les paramètres de fonctionnement des équipements de production. Parmi elles, pour le début des opérations de la mise en place de la nouvelle politique de maintenance, nous utiliserons l'analyse de vibration, la thermographie et la tribologie. Le contrôle des paramètres de processus nous permettra de nous rendre compte de l'efficacité des actions de maintenance.

Comment passer de l'ancienne politique de maintenance, à la SCO, à la politique de maintenance prédictive ?

6.2.3 De la politique de maintenance actuelle à la maintenance prédictive

Dans le cadre de l'implantation de la politique de maintenance prédictive à la SCO, des ponts doivent être établis pour faciliter ce passage. Il y va du bon fonctionnement, de la réussite de la maintenance prédictive et de la survie de l'usine. Le passage d'une politique de maintenance à l'autre est souvent facilité par un événement choc, généralement hors du contrôle de l'entreprise. Dans le cas de la SCO, le changement de statut qui se procède actuellement dans l'usine, soit d'une entreprise d'état à une location gérance aux particuliers, constitue une opportunité pour provoquer le changement. En effet, il s'agit de transférer les tâches de maintenance de niveau 1 aux opérateurs. Pour la réussite de l'opération, le transfert ne se fera qu'avec l'accord et l'engagement de ces derniers. Reconnaissons que c'est une opération délicate, car les opérations de nettoyage sont considérées, dans la culture de la société, comme de sales tâches de punition. Mais la situation actuelle est une occasion pour leur faire prendre conscience que la maintenance est l'affaire de tous et non d'un groupe restreint d'individus. Il ne faut pas perdre de vue la formation du personnel de production au fur et à mesure que le transfert s'effectue. Cette formation aura pour but principal de supprimer la vision ésotérique ou superstitieuse qu'a l'opérateur sur les installations et

de la remplacer par une vision claire de compréhension des mouvements élémentaires mécaniques et des indices de mauvais fonctionnement des machines par l'entremise des compétences techniques adéquates acquises. La périodicité de la maintenance des opérateurs est déterminée par l'équipe de maintenance. Cette périodicité doit tenir compte de la spécificité de chacune des machines. Les définitions des tâches, tout en étant claires et compréhensibles de tout le personnel, doivent laisser place à l'initiative personnelle.

A la SCO, nous proposons que les opérateurs s'occupent des tâches quotidiennes sur leurs équipements. Les tâches suivantes seront donc effectuées.

1. *Nettoyage des équipements* : il consiste en un examen périodique et permet de découvrir les signes précurseurs des dysfonctionnements. Il ne s'agit pas de nettoyer seulement les parties visibles, mais aussi et surtout les parties non visibles c'est à dire les coins et recoins de la machine.
2. *Inspection* : le nettoyage ayant préparé le terrain, cette inspection diffère d'un équipement à l'autre. Mais en général, elle consiste à découvrir les conditions favorisant l'apparition d'un arrêt de travail. À titre d'exemple, voici quelques inspections qui peuvent être faites au four : inspection de la surface du four, vérification des conditions de décharge et de fermeture de la vanne, vérification des conditions d'apparition de bruits au niveau des roulements (manque de lubrification), vérification des faces de contact des

roulements avec le corps du four, vérification des conditions de fonctionnement du système de lubrification automatique des roulements et du système de pilotage des équipements, etc.

3. *Lubrification et serrage* : Les desserrements de pièces fixées par vis ou écrous, entraînent de faibles vibrations qui provoquent à leur tour d'autres vibrations plus importantes qui constituent des causes potentielles de pannes très graves. Lubrifier les parties des équipements où il y a un contact métal-métal, toutes parties indiquées par le constructeur et resserrer les écrous et vis desserrés sont et demeurent une nécessité pour le bon fonctionnement des machines.

Ce transfert de tâches permettra au personnel de maintenance de se concentrer sur les opérations plus ardues d'analyse des données, de prévention des arrêts, de soutien aux opérateurs et d'amélioration des installations.

1. *Analyse des données* : il s'agit de recueillir les informations sur le fonctionnement de chacun des équipements et de les comparer aux conditions normales de fonctionnement indiquées par le constructeur. Nous suggérons à la SCO d'utiliser l'analyse de vibration pour contrôler les paramètres de fonctionnement des pompes, des compresseurs, des souffleuses et des ventilateurs, des deux broyeurs, des transmissions et des moteurs électriques.

La thermographie sera utilisée pour mesurer la température de fonctionnement des machines. Elle permettra de vérifier les températures des paliers, des bobinages des moteurs, des commutateurs et disjoncteurs, des boîtes d'engrenages, des conduits de chaleur, etc. Son application au four et à ses organes annexes sera d'une grande utilité pour corriger les pertes de chaleur et par conséquent, de rendement. La tribologie complètera le lot des techniques spécifiques des analyses. En effet, elle permettra d'analyser les huiles afin de détecter les anomalies qu'elles présentent. La présence de particules et autres substances fournit des informations sur les conditions de fonctionnement et de détérioration des équipements. Les contrôles ultrasoniques permettront à la SCO, de vérifier l'état des soudures, des joints calorifugés, vérifier les fuites de gaz comprimés, la corrosion des tuyaux, la tension des boulons, etc. Le contrôle des paramètres de processus complètera le processus d'analyse. En effet, un tableau de bord sur lequel tous les indices et paramètres de maintenance et de production sont inscrits, nous permettra de nous rendre compte de l'efficacité de fonctionnement des équipements de production et de la politique de maintenance implantée.

2. *Prévention des arrêts* : la détection précoce des causes latentes des arrêts permet de corriger les conditions de fonctionnement avant l'apparition des pannes. Les interventions, programmées en conséquence, tiennent compte des objectifs de la production. Aussi, sont-elles effectuées efficacement et en un

temps relativement court puisque préparées à l'avance, contrairement à la maintenance corrective.

3. *Amélioration des installations* : l'un des objectifs de la maintenance est d'adapter les équipements de production aux conditions de fonctionnement de l'entreprise. Pour ce faire, le service est tenu, quelques fois, de corriger les points faibles de conception des machines. Aussi, une bonne politique de maintenance conduit-elle de manière ultime à l'amélioration de la capacité des installations. Dans le cas de la SCO, nous avons constaté que les capacités des équipements sont en diminution constante. Cette diminution est vertigineuse car la production actuelle des machines se situe entre 35 et 75% des capacités nominales installées. L'adoption de la politique de maintenance prédictive, dont le but final est la maintenance productive totale, permettra à l'entreprise de reconquérir progressivement les capacités perdues. A long terme, elle devrait lui permettre, par des améliorations continues, de dépasser la capacité nominale installée.

Il n'y a pas d'illusion à se faire en pensant que la maintenance corrective sera totalement éliminée. Elle existera toujours, mais la fréquence des ses interventions diminuera de manière drastique. Il faut toujours avoir le courage d'arrêter les équipements, en temps opportuns, pour faire des contrôles de routine et des remises en condition de bon fonctionnement. Les travaux de maintenance ne sont pas que l'affaire du personnel de

maintenance. L'implication de tout le personnel de l'entreprise et, principalement du personnel de production, est une condition essentielle pour la réussite d'un tel programme. La combinaison des efforts des uns et des autres est un gage pour la survie et l'avancement de l'entreprise. Le suivi de l'évolution de la politique de maintenance prédictive est une des étapes très importantes. Il paraît banal, mais constitue l'une des causes principales d'échec des entreprises dans l'implantation de la maintenance prédictive.[29]

6.2.4 Les indices d'évaluation du niveau d'avancement

Connaître, en tout temps, l'étape d'évolution de la politique de maintenance mise en place, est l'un des moyens utilisés pour corriger les imperfections dans les travaux déjà exécutés. L'évaluation de l'évolution de la maintenance se fera, à la SCO, par l'intermédiaire de trois types de temps et de trois ratios de maintenance : le temps de réponse, le MTTR, le MTBF, la fréquence des défaillances, l'indice d'état et le taux de rendement systémique.

1. *Le temps de réponse* : les temps de réponse entraînent, à la SCO, d'énormes pertes de production. Ils doivent donc, pour chaque intervention, être relevés et analysés soigneusement. Les différents facteurs qui permettront de les réduire seront mis en œuvre : préparation et organisation du travail, méthodes de travail, formation du personnel, etc.

2. *Le MTTR* : c'est un facteur qui permet de mesurer le degré des pannes, l'efficacité du personnel de maintenance et du système de maintenance lui-même. En effet, une panne très importante demandera plus de temps de réparation ou d'heures en main-d'œuvre. Le niveau technique du personnel d'intervention influe évidemment sur la durée des interventions. La recherche des causes des pannes, les méthodes utilisées, l'organisation du travail, le niveau technique du personnel, les approvisionnements en pièces de rechange, etc. sont autant de facteurs qui affectent le système de maintenance.
3. *Le MTBF* : la fiabilité des installations dépend de ce temps. Le MTBF nous permettra de situer l'évolution de l'état de santé des machines par rapport au passé. En effet, un historique de données validées des équipements doit être bâti. Les différentes planifications de la production doivent tenir compte de la variation qui peut en résulter. C'est un des facteurs qui déterminent l'état de santé de chacun des équipements et du système de production tout entier.
4. *La fréquence des défaillances* : c'est un des facteurs déterminants de l'efficacité d'un système de maintenance. La mise en place d'une bonne politique de maintenance devrait diminuer la fréquence des défaillances. Il s'agit de comparer régulièrement la fréquence actuelle des défaillances aux fréquences enregistrées antérieurement dans le but de tirer les conclusions qui s'imposent et définir les actions à mener pour corriger la situation.

5. *L'indice d'état* : les équipements de production doivent être contrôlés régulièrement. En effet, il faut mesurer le niveau de conservation des moyens de production. Il s'agit de voir si des progrès ont été effectués depuis les dernières évaluations ou depuis la mise en application d'une nouvelle technique de maintenance des équipements de production.

6. *Le taux de rendement systémique* : ce taux permettra de connaître, à la fois, l'évolution du système de maintenance par rapport au passé et l'impact de la nouvelle politique de maintenance sur la production et le rendement de l'usine. Notons que le taux de rendement systémique comprend les ratios de disponibilité, de performance et de qualité tels que défini au paragraphe 3.1.4.

Tous ces indices permettront d'évaluer la situation actuelle par rapport à une situation précédente ou à la situation nominale indiquée par le constructeur. Les corrections et aménagements seront apportés, au besoin, pour l'amélioration continue du système mis en place.

6.2.5 Formation du personnel

En général, lorsqu'on réfléchit à l'amélioration des conditions de fonctionnement des équipements, les cibles sont constituées de machines et d'outils. On oublie souvent, à tort, d'évaluer les capacités du personnel. Nombreuses sont ces entreprises qui préfèrent investir dans l'achat d'équipements de production et d'outils de travail plutôt que dans la formation du personnel. Les pannes dans les entreprises sont, le plus souvent, dues à un manque de compétence du personnel : les erreurs d'utilisation, de diagnostic, de réparation, etc. « Plus de 40% des défailances d'un système sont dues à des erreurs humaines » [20]. Cet état de chose nous permet d'apprécier l'importance que revêt l'investissement dans la formation du personnel. LAVINA et al. résument bien cette idée. « En investissant dans l'homme, on obtient un bénéfice important en terme de rendement de l'installation. » [25]

La formation du personnel est capitale pour la mise en place de la nouvelle politique de maintenance à la SCO. La formation se fera de manière progressive en même temps que le transfert de certaines tâches au personnel de production. En effet, pour le personnel de production, la formation au nettoyage et à la lubrification, aux petits réglages et échanges de consommables se fera étape par étape et le transfert de tâches, dans le même ordre. Cette politique de formation donnera aux bénéficiaires le temps d'assimiler les notions apprises avant l'introduction d'une autre. Un suivi des opérations sera nécessaire, au début et tout au long du transfert, pour s'assurer que les opérations sont

bien effectuées. Les nouveaux outils à utiliser, les nouvelles méthodes d'analyses, les nouvelles méthodes de diagnostic des pannes à adopter, etc., seront au cœur des connaissances à transmettre. Notons qu'on peut faire appel à des intervenants externes (consultants) chaque fois que cela sera nécessaire. La formation des opérateurs sera entièrement faite par les techniciens internes de maintenance. Les cadres de maintenance et de production auront la lourde tâche d'organiser régulièrement des séances de formation et de recyclage de tous les intervenants dans le système de production. Le but principal de ces séminaires est de replonger continuellement le personnel dans la tâche qui est la sienne. Il sera aussi question des discussions concernant les difficultés rencontrées lors de l'accomplissement des tâches et de l'apprentissage des nouvelles méthodes à mettre en application pour plus d'efficacité.

6.3 Évaluation des coûts de la nouvelle politique de maintenance

Dans cette partie nous allons évaluer les coûts totaux d'implantation de la politique de maintenance prédictive à la SCO, la génération de profit qu'elle pourrait engendrer ainsi que la méthode de financement de son implantation.

L'estimation des coûts de l'implantation prendra en compte le coût des matériels et du nouveau personnel de maintenance. Les coûts de formation du personnel et de l'augmentation de tâches aux opérateurs ne seront pas pris en compte dans les calculs.

Remarquons que le coût du nouveau personnel ne doit pas être considéré comme un investissement, mais comme un coût de fonctionnement. En effet, le paragraphe 5.2 indique que le coût total pour une équipe pendant une année d'activité est de 3 840 000 FCFA. Or, il faut en permanence trois équipes de maintenance sur le plancher de l'usine. Ce qui entraîne le recrutement de personnel équivalent à la formation de huit équipes (32 employés) car, l'usine fonctionne 24 heures sur 24 et les employés ont droit à une semaine de repos après trois semaines de travail. Ceci équivaut à un coût de nouveau personnel de 30 720 000 FCFA, soit environ 76 000 \$ canadien.

Tableau 6.2 : Coûts de l'implantation des techniques de maintenance prédictive

Techniques à implanter	Coûts minima (FCFA)	Coûts maxima (FCFA)
Analyses des vibrations	4,8 millions	30 millions
Thermographie	4,8 millions	36 millions
Tribologie	12 millions	24 millions
Contrôles ultrasoniques	0,6 millions	4,8 millions
Total	22,2 millions	94,8 millions

Les coûts de l'implantation des différentes techniques de maintenance préventive ont été recueillis dans "La maintenance préventive" de MOBLEY Keith. Les coûts du nouveau personnel de maintenance est le résultat des mises en situation faites aux paragraphes 5.1 et 5.2 du chapitre 5.

Les coûts des matériels du tableau 6.2 et le coût du nouveau personnel indiquent que l'implantation des techniques de maintenance préventive à la SCO nécessite un minimum de 52,92 millions FCFA (environ 132 300 \$) et un maximum de 125, 52 millions FCFA (environ 313 800 \$). On constate que les coûts d'implantation de ce type de maintenance varient considérablement selon le manufacturier, la nature et la qualité du matériel choisi, etc.

Nous suggérons que la mise en place de la politique de maintenance préventive ne nécessite pas un investissement supplémentaire de la part des dirigeants de la société, ce qui devrait renforcer le soutien de ces derniers au programme. Le financement se fera par le service de maintenance lui-même à partir des différents gains obtenus lors de la réduction des temps de réponse et, des retombées des premières actions de maintenance préventive mises en place. En effet, le tableau 5.3 du chapitre 5 montre un gain par rapport à la situation actuelle de 42,37 millions FCFA. Ce gain est assorti des coûts du nouveau personnel (nombre d'équipes d'intervention égal à trois). Cette différence servira donc à alimenter directement l'implantation des premières étapes des différentes techniques de maintenance préventive.

Dans notre cas, l'implantation de bonnes techniques d'analyses des vibrations et de thermographie s'impose. En effet, les équipements de la SCO sont en majorité en mouvement les uns par rapport aux autres. Les mouvements de rotation sont les plus nombreux. Ces équipements sont en contacts permanent lors de leurs mouvements

relatifs. Les roulements, les rouleaux, les engrenages, etc. constituent les organes de liaison facilitant les mouvements de transmission. Les vibrations et les échauffements sont très fréquents. Il est alors nécessaire qu'une attention particulière soit accordée à ces deux phénomènes. Nous estimons, compte tenu des coûts du tableau 6.2, l'implantation de ces deux techniques à environ 30 millions FCFA (17 millions FCFA pour l'analyse des vibrations et 13 millions FCFA pour la thermographie).

La plupart des équipements de la SCO contiennent de l'huile servant au refroidissement et/ou à la lubrification selon le cas. La dégradation de ces huiles entraîne le dysfonctionnement de certains organes des équipements et par la suite une panne au niveau de ces mêmes équipements. Le contrôle préventif de la qualité des huiles dans les équipements par l'implantation de la tribologie serait un atout majeur pour le système de maintenance préventive. Nous suggérons que l'implantation de la tribologie soit faite progressivement. Soit un coût initial des opérations de 12 millions FCFA. Le reste sera financé par les retombées de la politique de maintenance préventive implantée. Il en est de même pour le contrôle ultrason.

Selon les résultats de l'étude faite par MOBLEY Keith, l'implantation d'un programme de maintenance préventive complet réduit les temps d'arrêt de 50 à 80%. Les pannes au four à la SCO constituent 4 660,5 heures d'arrêt de production en 1997. En supposant que nous atteindrons la limite minimale (50% de réduction des temps de panne), c'est un accroissement de disponibilité de 2330,25 heures. Il en résulte un accroissement de

bénéfice brut annuel d'environ 667,89 millions FCFA ($4\,777 * 2\,330,25 * 60$). C'est une politique de maintenance qui devrait s'autofinancer jusqu'à son implantation complète. Il devrait donc être possible, après une année d'application d'une telle politique, de pouvoir implanter toutes les structures de la maintenance prédictive.

Compte tenu du coût de l'implantation d'une telle politique une question se pose : ne serait-il pas plus bénéfique de faire appel à une sous-traitance dans ce domaine ? Nous avons exploré cette éventualité mais il s'est avéré qu'il n'existe pas des entreprises sur place offrant de tels services. Pour sous-traiter la maintenance des installations il faut donc faire nécessairement appel aux entreprises étrangères. Ce qui serait très coûteux pour la SCO. De plus, vu que l'entreprise qui sera retenue pour la sous-traitance devrait se déplacer pour atteindre les lieux des installations, les délais de réponse seraient considérables. Ces délais ne feraient qu'aggraver la situation médiocre dans laquelle se trouve actuellement l'entreprise.

CONCLUSION

Mise en service en 1982, la Société des Ciments d'Onigbolo n'a jamais pu atteindre une production annuelle de 40% de la capacité nominale installée. L'étude de la situation actuelle a révélé que la politique de gestion de l'entreprise et plus particulièrement la gestion des installations est mis en cause. En effet, la production est souvent interrompue pour des raisons de pannes. Une étude des causes des pannes nous a révélé que les arrêts sont en majorité constituées des arrêts mécaniques (23 à 70%). Les arrêts dues au mauvais nettoyage et à une insuffisance de lubrification occupent 60% du temps des arrêts mécaniques.

Les ratios de maintenance des principaux équipements illustrent l'urgence de la restructuration du système de maintenance des équipements et de la gestion des ressources humaines de la société. A cet effet, le modèle de simulation et les mises en situation ont apporté des solutions qui méritent qu'on s'y attarde. Le modèle de simulation a révélé que les temps de réponse occupent 12% des temps d'arrêts au niveau des installation. Beaucoup de temps sont perdus entre l'instant où la panne apparaît et le moment pendant lequel le personnel est disponible pour intervenir. C'est une énorme perte de production surtout lorsqu'il s'agit du four qui constitue le goulot de l'entreprise. Une augmentation des coûts de production en résulte.

Les mises en situation ont engendré des économies substantielles et une diminution des temps de réponse. L'ajout d'une équipe de maintenance sur le plancher de l'usine a permis de réduire les temps de réponse, qui étaient compris entre une heure et 59 heures, à un temps compris entre 15 minutes et deux heures. Ce qui constitue une augmentation de la production de 48% par rapport à la production actuelle et un bénéfice brut de 53 millions.

La deuxième mise en situation nous a permis de déterminer de façon optimale la composition des équipes d'intervention à l'aide de la simulation par ordinateur. La composition de l'équipe de maintenance joue un rôle fondamental dans la durée des temps de réponse et donc de la disponibilité des installations. Les temps de réponse varie en fonction de la composition des équipes et principalement en fonction du nombre de mécaniciens dans l'équipe.

L'analyse des résultats obtenus nous pousse à proposer à la SCO un système de maintenance prédictive avec pour but final l'implantation de la maintenance productive totale (TPM). La mise en place d'une telle politique nécessite une formation préalable du personnel. Les coûts de l'implantation, le niveau intellectuel du personnel et les considérations socioculturelles sont autant de facteurs qui nous ont amené à opter pour une implantation progressive. Cette implantation consiste à utiliser les gains des activités mises en place pour lancer d'autres activités jusqu'à l'implantation complète de toutes les structures de la maintenance prédictive. Ceci permet à l'employeur de ne pas avoir à

faire des investissements supplémentaires et renforcerait son soutien à la politique. Une priorité a été établie dans l'ordre d'exécution des activités.

Il nous paraît important de rappeler, une fois encore, que l'implantation de la maintenance prédictive n'est pas une fin en soit mais un chemin pour aboutir à la TPM. Cette dernière est, par définition, une amélioration continue du système de production avec la participation de tout le personnel. Le suivi rigoureux, les innovations dans les méthodes de travail et les efforts constants et permanents constituent le leitmotiv de cette politique de maintenance des installations.

Nous pensons avoir fait un pas vers la mise sur pied d'un système de maintenance qui tienne compte de tous les facteurs de l'entreprise. Néanmoins, nous sommes conscients que certaines considérations ont pu nous échapper. Nous espérons que nos successeurs s'inspireront de nos travaux pour évoluer dans le développement d'un tel système. Un des aspects les plus intéressants serait l'étude des méthodes de travail et d'organisation des équipes de maintenance. Cette étude permettra d'apporter des précisions sur la composition des équipes d'intervention, tant du point de vue de leur nombre que de leurs compétences respectives.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AFNOR, (1984). *Documents d'exploitation et de maintenance*, AFNOR, Paris.
2. Averill M. Law, Michael G. McComas and Stephen G. Vincent, (1994). The crucial role of input modelling in successful simulation studies, *Industrial Engineering*, p.55-59.
3. Averill M. Law and Stephen G. Vincent, (1995). *ExpertFit User's guide*, Averill M. Law & Associates.
4. BARBIER C., R. DAPERE, C. HUBER, (1993). *Le zéro-panne par la topomaintenance, la TPM à la française*, AFNOR, Paris.
5. BARRAL Caroline et GAREL Jean-Yves, (1989). *Les métiers de la production et la productique*, Les Editions d'Organisation, Paris.
6. BENNETT B.S., (1995). *Simulation fundamentals*, Prentice Hall International, London.
7. BOUCLY Francis, (1988). *Maintenance : les coûts de la non-efficacité des équipements*, AFNOR, Paris.
8. BOUCLY Francis, (1990). *Le management de la maintenance assistée par ordinateur (MMAO)*, AFNOR, Paris.
9. BOUCLY Francis et OGUS A., (1987). *Le management de la maintenance*, AFNOR, Paris.

10. BRAUER Jörg-Peter, KAMISKE Gerd F., (1994). *Management de la qualité de A à Z*, Masson, Paris-Milan-Barcelone.
11. Bureau de Transfert d'Expertise (BTE), (1992). *Maîtrise et gestion de la maintenance*, Tome1, Techniques et Documentation.
12. Bureau de Transfert d'Expertise (BTE), (1992). *Maîtrise et gestion de la maintenance*, Tome2, Techniques et Documentation.
13. COX J. et GOLDRATT E.M., (1993). *Le but : Un processus de progrès permanent*, 2^e édition, AFNOR, Paris.
14. CLÉRET DE LANGAVANT J., (1957). *Ciments et Bétons. Propriétés et Emplois*, Armand Colin, Paris.
15. DEBORDE R. et GEORJON A., (1994). *Maintenance des systèmes industriels*, HACHETTE Technique, Paris.
16. FERRER M., HATIER G., PERROT J.-C. et WILS A., (1995). *Maintenance préventive dans les ateliers d'usinage*, Centre Technique des Industries Mécaniques.
17. HERBATY Frank, (1993). *Handbook of maintenance management. Cost-Effective Practices*, Second Edition, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
18. GABRIEL Marc et PRIMOR Yves, (1985). *Maintenance assistée par ordinateur*, Masson, Paris-New york-Barcelone-Milan-Mexico-Sao Paulo.
19. GODDARD Walter, (1990). *Décuplez la productivité de votre entreprise par le Juste-à-Temps*, Editions du Moniteur, Paris.

20. GONDRAN Michel, PAGÈS Alain, (1980). *Fiabilité des systèmes*, Editions Eyrolles, Paris.
21. HALL Robert, (1989). *L'excellence industrielle*, InterEdition, Paris.
22. HIGGINS Lindley R., (1995). *Maintenance Engineering*, Handbook Fifth Edition, McGraw-Hill, Inc.
23. HODSON William K., (1992). *Maynard's Industrial Engineering Handbook*, Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc.
24. LAVINA Yves, (1992). *Audit de la maintenance*, Les Editions d'Organisation, Paris.
25. LAVINA Yves et Daniel CHAROUPIS, (1996). *Réussir l'automaintenance*, Les Editions d'Organisation, Paris.
26. Laurent VILLENEUVE et Le groupe CRÉATECH, (1998). *Formation sur le logiciel de simulation Taylor II*, Montréal.
27. LYONNET Patrick, (1988). *La maintenance : Mathématiques et méthodes*, Techniques & Documentations-Lavoisier, Paris.
28. LYONNET Patrick, (1993). *Optimisation d'une politique de maintenance*, Techniques & Documentations-Lavoisier, Paris.
29. MOBLEY R. Keith, (1992). *La maintenance prédictive*, Masson, Paris-Milan-Barcelone-Bonn.

30. MONCHI François, (1987). *La fonction maintenance. Formation à la gestion de la maintenance industrielle*, Masson, Paris.
31. NIJIMBERE Prime, (1996). *Analyse de la distribution de la bière à la brasserie du Burundi à l'aide de simulation par ordinateur*, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal.
32. PAPADAKIS M. et VENUAT M., (1966). *Fabrication et utilisation des liants hydrauliques*, 2^e Edition, Editions Eyrolles, Paris.
33. PATTON Joseph D., (1995). *Predictive maintenance*, Instrument Society of America.
34. PLOSSL W. George, (1993). *La nouvelle donne de la gestion de production*, AFNOR, Paris.
35. PRIEL Victor, (1976). *La maintenance : techniques modernes de gestion*, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.
36. ROY Guy, (1995). *Optimisation par simulation du rendement d'une ligne d'assemblage automatique de cartes de circuits imprimés*, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal.
37. SLATERUS W.H. et SMIT K., (1994). *Gestion de l'information pour le management de la maintenance*, AFNOR, Paris.
38. SPALANZANI Alain, (1993). *Précis de gestion industrielle et de production*, La Gestion en Plus, Presses Universitaires de Grenoble.

39. STONEHAM Derek, (1998). *The maintenance management and technology handbook*, First Edition, Elsevier Advanced Technology
40. Portland Cement Association, (1990 à 1998). *IEEE/PCA Cement Industry Technical Conference*.
41. TRAMBLEY Chantal, (1995). *Simulation de la ligne de production des arbres de train planétaire*, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal.

ANNEXE A

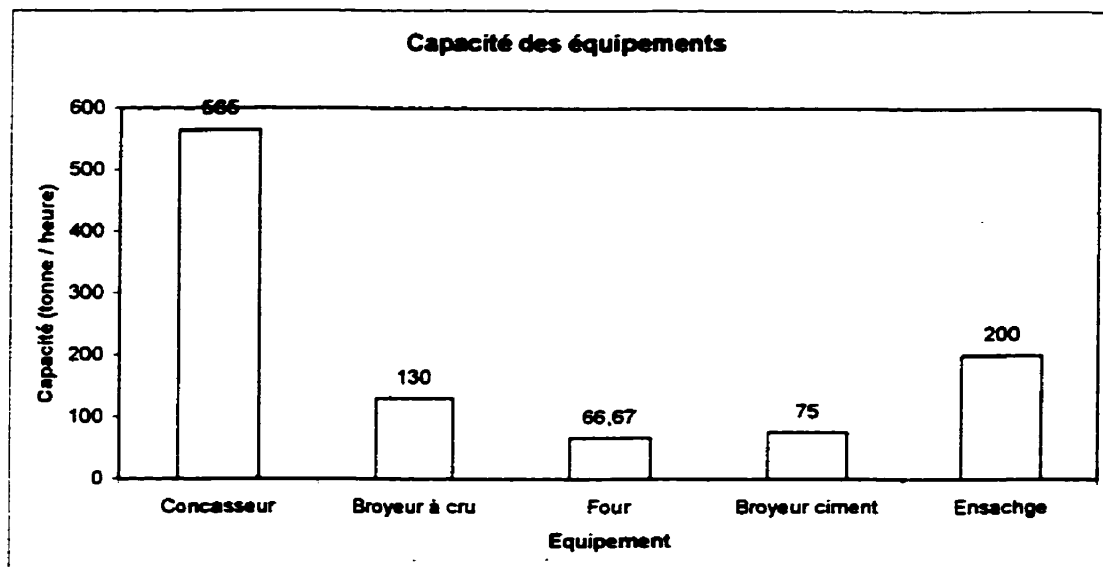


Figure A.1: Capacité des principaux équipements de production de la SCO.

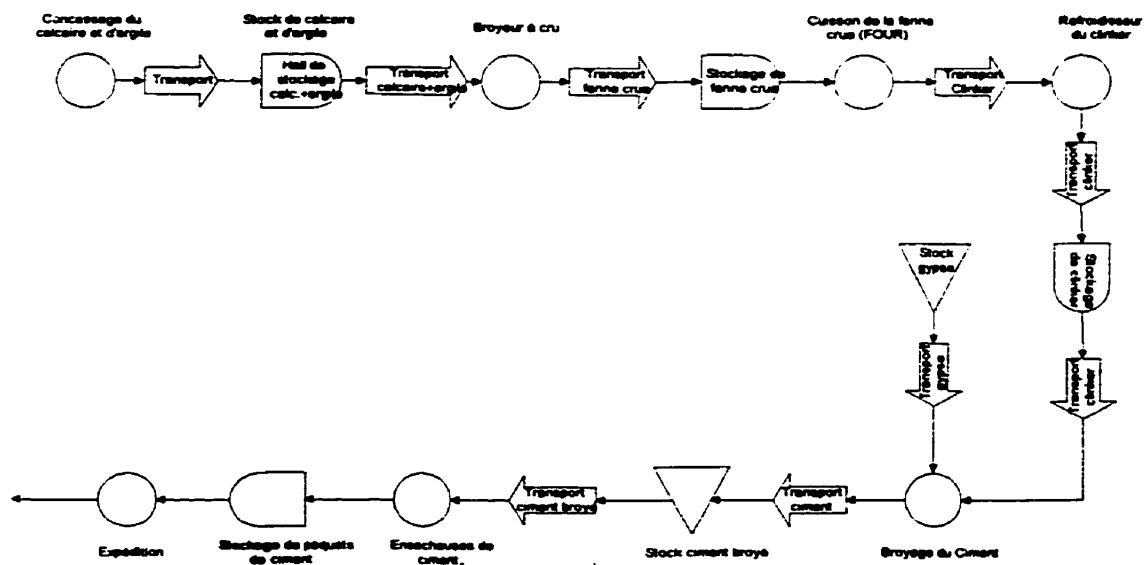


Figure A.2 : Diagramme de déroulement matières de la SCO.

Tableau B.2 : Les différents arrêts au Broyeur à Cru en 1996 et en 1997

Année	Mois	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Ruptures de stocks		Autres arrêts		Total des arrêts	
		Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
1996	Janv.	6	1176							6	1176
	Févr.	10	4048	1	8718					11	12766
	Mar.	8	5287	1	5760	1	486	2	176	12	11709
	Avr.	5	2076							5	2076
	Mai	16	4242					3	229	19	4471
	Juin										
	Juill.	4	1617	3	407	1	790	3	1185	11	3999
	Août										
	Sept.	2	364							2	364
	Oct.	12	18160	5	13635			2	2992	29	34787
	Nov.	13	7828	1	172					14	8000
	Dec.	40	5442	2	310			2	2782	44	8534
	Total 1	116	50240	13	29002	2	1276	12	7364	153	87882
	Pourcent.	76%	57%	8%	33%	1%	2%	8%	8%	100%	100%
1997	Janv.	14	15213	6	353	1	563	1	314	22	16443
	Fév.	16	5079			2	27896			18	32975
	Mar.	34	11261	11	301			1	309	46	11871
	Avr.	23	21560	3	201			3	239	29	22000
	Mai	15	11457	3	412			4	16134	22	28003
	Juin	12	29641	4	861			1	70	17	30572
	Juill.	26	5283	2	295	1	614	1	1697	30	7889
	Août	8	2041	7	7407					15	9448
	Sept.	20	5826	8	768	1	764			29	7358
	Oct.	21	27096	5	595			2	5528	28	33219
	Nov.	1	42190							1	42190
	Dec.	9	12370	6	425					15	12795
	Total 2	199	189017	55	11618	5	29837	13	24291	272	254763
	Pourcent.	73%	74%	20%	5%	2%	12%	5%	9%	100%	100%
1996	Total	325	239257	68	40620	7	31113	25	31655	425	342645
1997	Pourcent.	76	70	16	12	2	9	6	9	100	100

Tableau B.3 : Les différents arrêts au Four en 1996 et 1997

Année	Mois	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Ruptures de stocks		Autres arrêts		Total des arrêts	
		Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
1996	Janv.	3	165							3	165
	Fev.	6	11852					1	2225	7	14077
	Mar.	8	12462	1	70			3	1835	12	14367
	Avr.	5	28760	1	13					6	28773
	Mai	3	10750	3	44	1	25290	1	765	8	36804
	Juin					1	42870			1	42870
	Juill.	14	4837	2	805	2	11865	2	802	20	18329
	Août										
	Sept.										
	Oct.	7	764	5	90	1	5470	4	26822	17	33146
	Nov.	13	8561	1	17			3	18037	17	26615
	Dec.	19	7352	2	30	1	5395	4	1017	26	13794
	Total 1	78	85503	15	1069	6	90890	18	51503	117	228940
	Pourcent.	67%	37%	13%	1%	5%	40%	15%	22%	100%	100%
1997	Janv.	5	6455			1		1	930	7	40205
	Fev.	4	28448	3	127					7	28575
	Mar.	15	6949	7	233			3	1825	25	9007
	Avr.	6	23095	3	90			4	1030	13	24215
	Mai	6	7900	3	222			1	136	10	8258
	Juin	7	5152	2	32808			1	5	10	37965
	Juill.	12	2618	1	10					13	2628
	Août										
	Sept.	11	6885	3	112			2	19930	16	26927
	Oct.	2	14607	1	25			2	19930	5	34562
	Nov.	1	43200							1	43200
	Dec.	6	24089							6	24089
	Total 2	75	169398	23	33627	1	32820	14	43786	113	279631
	Pourcent.	66%	61%	21%	12%	1%	12%	12%	15%	100%	100%
1996	Total	153	254901	38	34696	7	123710	32	95289	230	508571
1997	Pourcent.	67%	50%	16%	7%	3%	24%	14%	19%	100%	100%

Tableau B.4 : Les différents arrêts au Broyeur à Ciment en 1996 et 1997

Année	Mois	Arrêts mécaniques		Arrêts électriques		Ruptures de stocks		Autres arrêts		Total des arrêts	
		Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps	Nombre	Temps
1996	Janv.	3	1080	5	560	6	15584			14	17228
	Fev.	1	114	5	227	2	24352	1	96	7	24789
	Mar.	6	509			6	28610	1	770	13	29889
	Avr.	7	4491	10	554	7	17860	1	28	25	22923
	Mai	9	8294	12	475	12	15110	2	102	35	23981
	Juin					2	41326			2	41326
	Juill.	12	6551	20	2992	9	8302	5	2622	46	20467
	Août	1	60	1	1320	6	31603			8	32983
	Sept.										
	Oct.	12	4096	17	10177	1	9582	4	3602	34	27457
	Nov.	3	287	5	103	7	23351	3	1564	18	25305
	Dec.	6	2276	15	919	6	14477	5	880	32	18552
	Total 1	60	27758	90	17327	64	230157	22	9664	234	284900
	Pourcent.	26%	10%	39%	6%	27%	81%	9%	3%	100%	100%
1997	Janv.	2	20549	18	2022	3	8912	7	399	30	31882
	Fev.	8	4343	10	308	7	11925	2	101	27	16677
	Mar.	10	4759	15	1040	6	18915	4	2332	35	27046
	Avr.	13	7677	37	2615	5	10275	2	1758	57	22325
	Mai	17	11566	22	399	9	5637	5	617	53	18219
	Juin	11	10728	39	3477	6	3645	3	110	59	17960
	Juill.	15	6207	13	12146	6	7198	1	40	35	25551
	Août	9	13644	6	388	3	13547	2	644	20	28223
	Sept.	8	4530	12	968	3	24565	2	332	25	30395
	Oct.	10	7601	17	3017	8	9616	3	197	38	20434
	Nov.										
	Dec.	11	4225	13	1100	3	13053			27	18378
	Total 2	114	95829	202	27480	59	127288	31	6530	406	257090
	Pourcent.	28%	37%	50%	10%	15%	50%	8%	3%	100%	100%
1996	Total	174	123587	292	44807	123	357448	53	16194	640	541990
1997	Pourcent.	28	27	46	8	19	66	8	3	100	100

Tableau B.5 : Causes, nombre et temps des arrêts mécaniques au Broyeur à Cru

	Causes des arrêts mécaniques					
	Poussières (crasses) et insuffisance de graissage		Autres causes		Total	
Mois	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Janvier	4	924	2	252	6	1176
Février	8	3815	2	233	10	4048
Mars	2	3001	6	2286	8	5287
Avril	3	1032	2	1044	5	2076
Mai	10	1530	6	2712	16	4242
Juin						
Juillet	1	30	3	1587	4	1617
Août						
Septembre	0	0	2	364	2	364
Octobre	13	11672	9	6488	22	18160
Novembre	7	3247	6	4581	13	7828
Décembre	3	2571	37	2871	40	5442
Janvier	12	12523	2	2690	14	15213
Février	14	4525	2	554	16	5079
Mars	25	8987	9	2274	34	11261
Avril	8	5980	15	15580	23	21560
Mai	12	9786	3	1671	15	11457
Juin	8	21833	4	7808	12	29641
Juillet	17	3512	9	1771	26	5283
Août	3	635	5	1406	8	2041
Septembre	16	4932	4	894	20	5826
Octobre	7	7598	14	19498	21	27096
Novembre	1	42190	0	0	1	42190
Décembre	3	3595	6	8775	9	12370
Total	177	146320	148	92937	325	239257
Pourcentage	55%	61%	45%	39%	100%	100%

Tableau B.6 : Causes, nombre et temps des arrêts mécaniques au Four

	Causes des arrêts mécaniques au Four					
	Poussières (crasses) et insuffisance de graissage		Autres causes		Total	
Mois	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Janvier	2	98	1	67	3	165
Février	3	8997	3	2855	6	11852
Mars	6	10592	2	1870	8	12462
Avril	3	20590	2	8175	5	28760
Mai	3	10750	0	0	3	10750
Juin						
Juillet	10	4010	4	827	14	4837
Août						
Septembre						
Octobre	3	362	4	402	7	764
Novembre	11	5582	2	2979	13	8561
Décembre	18	7081	1	271	19	7352
Janvier	1	1053	4	5402	5	6455
Février	4	28448	0	0	4	28448
Mars	14	5853	1	1096	15	6949
Avril	1	8535	5	14560	6	23095
Mai	3	1900	3	6000	6	7900
Juin	2	2564	5	2588	7	5152
Juillet	4	386	8	2232	12	2618
Août						
Septembre	8	7376	3	491	11	6885
Octobre	0	0	2	14607	2	14607
Novembre	0	0	1	43200	1	43200
Décembre	3	15101	3	8988	6	24089
Total	99	139278	54	115623	153	254901
Pourcentage	65%	55%	35%	45%	100%	100%

Tableau B.7 : Causes, nombre et temps des arrêts mécaniques au Broyeur à ciment

	Causes des arrêts mécaniques					
	Poussières (crasses) et insuffisance de graissage		Autres causes		Total	
Mois	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps	Nbre arrêts	Temps
Janvier	1	653	2	427	3	1080
Février	0	0	1	114	1	114
Mars	4	420	2	89	6	509
Avril	4	3562	3	929	7	4491
Mai	6	4666	3	3628	9	8294
Juin						
Juillet	9	4835	3	1716	12	6551
Août	1	60	0	0	1	60
Septembre						
Octobre	5	1650	7	2446	12	4096
Novembre	2	203	1	84	3	287
Décembre	1	1032	5	1244	6	2276
Janvier	2	20549	0	0	2	20549
Février	5	2948	3	1395	8	4343
Mars	3	3032	7	1727	10	4759
Avril	5	5391	8	2286	13	7677
Mai	13	8855	4	2711	17	11566
Juin	8	7792	3	2936	11	10428
Juillet	10	4995	5	1212	15	6207
Août	6	7648	3	5996	9	13644
Septembre	2	3507	6	1023	8	4530
Octobre	8	6612	2	989	10	7601
Novembre						
Décembre	6	3223	5	1002	11	4225
Total	101	90633	73	32954	174	123587
Pourcentage	58%	73%	42%	27%	100%	100%

ANNEXE C

Tableau C.1 : Temps de bon fonctionnement (TBF) broyeur à cru

Année	Mois	Nombre d'arrêts	TA	TBF
1	Janv.	6	19,6	116,73
	Févr.	11	212,77	46,11
	Mar.	12	195,15	43,74
	Avr.	5	34,6	137,08
9	Mai	19	74,52	33,97
	Juin			
	Juill.	11	66,65	59,4
9	Août			
	Sept.	2	6,07	356,97
	Oct.	29	579,78	4,84
6	Nov.	14	133,33	41,9
	Déc.	44	142,23	13,13
1996	Total1	153	1464,7	47
1	Janv.	22	274,05	20,27
	Févr.	18	549,58	9,47
	Mar.	46	197,85	11,35
	Avr.	29	366,67	12,18
9	Mai	22	466,72	11,51
	Juin	17	509,53	12,38
	Juill.	30	131,48	19,62
9	Août	15	157,47	37,5
	Sept.	29	122,63	20,6
	Oct.	28	553,65	5,94
7	Nov.	1	703,17	16,83
	Déc.	15	213,25	33,78
1997	Total2	272	4246,05	16,15
96-97	Total	425	5710,75	27,22

Tableau C.2: Les temps de bon fonctionnement (TBF) au Four

Année	Mois	Nombre d'arrêts	TA	TBF
1	Janv.	3	2,75	239,08
	Févr.	7	234,62	69,34
	Mar.	12	239,45	40,05
9	Avr.	6	479,55	40,08
	Mai	8	613,4	13,33
	Juin	1	714,5	5,5
9	Juill.	20	305,48	20,73
	Août		0	
	Sept.		0	
6	Oct.	17	552,43	9,86
	Nov.	17	443,58	16,26
	Déc.	26	229,9	18,85
1996	Total1	117	3815,67	41,23
1	Janv.	7	670,08	7,13
	Févr.	7	476,25	34,82
	Mar.	25	150,12	22,8
9	Avr.	13	403,58	24,34
	Mai	10	137,63	58,24
	Juin	10	632,75	8,73
9	Juill.	13	43,8	52,02
	Août			
	Sept.	16	448,78	16,95
7	Oct.	5	576,03	28,79
	Nov.	1	720	0
	Déc.	6	401,48	53,09
1997	Total2	113	4660,52	35,21
96-97	Total	230	8476,18	38,27

Tableau C.3 : Temps de bon fonctionnement (TBF) au Broyeur à Ciment

Année	Mois	Nombre d'arrêts	TA	TBF
1	Janv.	14	287,13	30,92
	Févr.	7	413,15	43,84
	Mar.	13	498,15	17,07
	Avr.	25	382,05	13,52
9	Mai	35	399,68	9,15
	Juin	2	688,77	15,62
	Juill.	46	341,12	8,24
9	Août	8	549,72	21,29
	Sept.			
	Oct.	34	457,62	7,72
6	Nov.	18	421,75	16,57
	Déc.	32	309,2	12,84
1996	Total1	234	4748,33	16,63
1	Janv.	30	531,37	6,29
	Févr.	27	277,95	16,37
	Mar.	35	450,77	7,69
	Avr.	57	372,08	6,1
9	Mai	53	303,65	7,86
	Juin	59	299,33	7,13
	Juill.	35	425,85	8,4
9	Août	20	470,38	12,48
	Sept.	25	506,58	8,54
	Oct.	38	340,57	9,99
7	Nov.			
	Déc.	27	306,3	15,32
1997	Total2	406	4284,83	10,72
96-97	Total	640	9033,17	12,88

Tableau C.4 : Production horaire moyenne par mois des équipements de la SCO de 1996 à 1997

Section	Année	Janv.	Févr.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Concas- seur	1993		252,79	239,29			232,38	246,48	263,17	251,18	248,68	231,79	311,01	252,97
	1994	249,96	216,9		237,07	271,75	223,35	78,86						212,98
	1995		281,73	297,32							225,78			268,28
Broyeur à Cru	1996	229,38			169,78	222,88	198,97	200,52	193,14	193,69	166,4	187,47	228,59	200,19
	1997	216,31	238,42	276,78	221,27	215	167,44	255,64	201,47	240,2	178,06	131,96	235,51	214,84
	1993		69,3	65,84			66,99	67,77	64,22	63,09	67,69	88,54	66,94	68,93
Four	1994	65,91	69,06		75,79	77,58	82,17	78,86		108,12	74,44	81,96	85,13	79,9
	1995	79,4	86,04	100,74	90,7	124,53	96,29	8,91	87,09		66,76			82,27
	1996	101,87	108,01	71,73	10,87	76,58		87,93		79,15	85,15	84,79	82,92	78,9
	1997	86,62	86,23	88,51	88,82	82,73	87,69	92,17	89,05	101,79	95,11	83,96	84,16	88,9
	1993		57,02	55,1				54,71	79,53	58,07	57,55	264,65	57,84	85,56
	1994	55,98	57,97		57,64	58,86	52,8	54,96	47,24		56,11	54,6	56,18	55,23
	1995	51,65	49,8	46,36	48,24	41,45		51,42	47,35		87,57			52,98
	1996	48,57		50,24	50,42	109,87	20	53,35			51,51	44,91	51,3	53,35
	1997	50,35	50,07	49,88	47,14	47,17	47,72	48,73		44,97	59,36		64,04	50,94
Broyeur à Ciment	1993		45,56	41,33			30,78	39,04	45,15	36,77	34,35	29,92	30,28	37,02
	1994	22,69	23,55	31,5	32,08	34,38	34,87	32,28	58,71	49,29	37,01	38,14	41,69	36,35
	1995	60,81	54,21	52,13		47,94			49,22		63,69			54,67
	1996	50,23		46,5	54,49	114,01	41,92	58,04	41,35		54,32	43,21	47,44	55,15
	1997	72,25	45,91	30,51	42,02	43,57	61,1	59,11	51,86	56,65	67,09		75,27	55,03
Enssa- cheuses	1993		57,1	49,74			55,71	53,5	56,15	52,68	49,37	48,62	42,76	51,74
	1994	56,74	54,64		49,33	52,38	56,19	54,18		50,88		62,99	61,16	55,39
	1995		73,56	55,61				56,66			56,06			60,47
	1996	45,96		55,57	54,22	50,77	50,09	68,79	49,15	53,68	62,38	57,13	55,35	54,83
	1997	57,6	48,69	49,31		55,69	57,29	49,65	46,33	45,39	48,38	38,26	41,59	48,93

ANNEXE D

Tableau D.1 : Moyenne des temps de processus des principaux équipements de la SCO

Concassage	Broyeur à Cru	Four	Broyeur à ciment	Ensachage
0,00436	0,00982	0,02059	0,01991	0,02176
0,00462	0,01154	0,01986	0,01384	0,01736
0,00419	0,00926	0,01997	0,02178	0,02054
0,00473	0,0116	0,0199	0,02151	0,018
0,00361	0,01394	0,02005	0,03278	0,02028
0,00589	0,0113	0,01983	0,01835	0,01844
0,00452	0,092	0,02121	0,0238	0,0197
0,00449	0,01126	0,0091	0,00877	0,01796
0,00465	0,01306	0,0212	0,02295	0,01996
0,00503	0,01209	0,05	0,02385	0,01746
0,00597	0,0114	0,02096	0,01637	0,01454
0,00499	0,01137	0,01874	0,01723	0,02014
0,00391	0,01085	0,02052	0,01692	0,02035
0,00518	0,01123	0,02224	0,02418	0,02158
0,00496	0,01263	0,01941	0,01928	0,01863
0,00516	0,00982	0,01685	0,01765	0,02203
0,00416	0,01174	0,02227	0,01841	0,01603
0,00601	0,01051	0,01949	0,01491	0,02067
0,00562	0,01179	0,01562	0,02314	0,0175
0,00533	0,01191		0,02108	0,02614
0,00758	0,01206		0,01329	0,01807
0,00437	0,01188			0,02404
0,00425				

ANNEXE E

Détermination du nombre d'équipes d'intervention en maintenance.

SCO BENIN : Résultats de la simulation pour deux équipes de maintenance.

00:00:00:09:17.76 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:13:53.43 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:01:07:29.90 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:01:13:15.98 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:01:14:34.86 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:01:16:59.01 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:02:03:33.31 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:02:10:08.56 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:02:19:39.16 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:02:21:34.13 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:03:13:32.41 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:04:15:01.09 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:04:18:45.41 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:05:12:04.77 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:05:15:32.65 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:05:23:51.71 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:06:03:35.89 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:07:07:47.38 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:07:07:51.29 Status of element 16 changes from busy to down
 00:00:00:07:13:02.01 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:07:18:03.76 Status of element 16 changes from down to busy
 00:00:00:07:19:51.49 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:07:23:32.51 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:08:03:04.31 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:08:06:41.65 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:08:13:30.10 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:08:17:53.62 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:10:21:59.15 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:11:01:40.21 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:11:18:20.44 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:13:06:46.28 Status of element 10 changes from busy to down
 00:00:00:13:19:37.15 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:13:23:42.38 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:16:18:01.43 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:16:21:40.35 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:17:05:33.04 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:17:09:55.25 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:19:02:51.81 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:19:07:39.34 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:21:05:10.63 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:21:08:21.43 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:22:03:35.35 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:22:07:11.71 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:25:00:34.25 Status of element 10 changes from down to busy
 00:00:00:25:06:45.61 Status of element 6 changes from busy to down

00:00:00:25:10:26.52 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:26:03:45.91 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:00:29:13:06.01 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:00:29:14:49.65 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:00:29:20:14.23 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:00:12:52.05 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:01:19:20.70 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:01:02:00:39.98 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:02:05:54.38 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:01:03:14:43.32 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:01:03:18:07.11 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:04:01:12.08 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:05:09:53.93 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:05:14:51.91 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:01:05:18:10.65 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:08:06:57.36 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:08:13:41.64 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:09:12:10.74 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:09:20:06.67 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:12:17:10.09 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:13:01:04.68 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:15:22:08.10 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:16:06:00.26 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:01:16:09:56.14 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:16:19:34.93 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:01:17:00:19.46 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:17:05:52.49 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:17:13:35.33 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:18:06:17.13 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:01:18:10:15.15 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:18:13:36.08 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:18:14:53.18 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:19:04:41.00 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:01:19:12:34.78 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:19:13:14.39 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:01:20:13:46.55 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:21:11:56.60 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:21:20:03.19 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:01:23:11:08.82 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:23:22:42.28 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:24:13:19.77 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:24:16:44.72 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:01:27:10:23.19 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:01:28:02:35.42 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:01:29:14:45.57 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:00:02:08.86 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:02:00:02:52.32 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:02:00:21:04.16 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:02:03:02:27.47 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:02:03:11:01.97 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:02:05:17:12.16 Status of element 10 changes from down to busy

00:00:02:06:02:24.10 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:02:06:06:19.18 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:02:06:20:20.58 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:06:23:57.63 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:02:07:06:41.31 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:08:05:36.02 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:02:08:10:35.34 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:02:08:14:25.86 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:02:10:22:12.92 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:02:11:01:08.72 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:02:11:02:39.44 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:11:03:17.90 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:02:11:19:03.97 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:02:12:09:57.53 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:02:12:14:46.79 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:02:12:17:23.83 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:12:17:49.06 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:02:13:02:03.44 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:02:13:10:17.44 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:02:13:19:21.11 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:02:13:22:01.36 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:06:00:10:27.92 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:00:22:08.89 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:04:22:54.46 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:05:11:21.44 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:05:16:06.40 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:05:16:32.13 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:06:05:20:57.50 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:06:06:14:34.41 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:06:06:19:32.20 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:06:06:23:37.13 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:06:08:08:55.44 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:06:10:17:30.47 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:11:05:58.86 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:06:13:01:10.81 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:06:13:23:50.32 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:14:11:56.51 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:06:14:21:02.74 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:06:16:13:19.59 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:18:00:05.44 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:18:17:48.04 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:06:18:20:06.98 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:06:18:21:01.14 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:23:12:50.11 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:23:23:10.54 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:27:16:50.24 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:06:28:09:26.43 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:06:29:05:24.64 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:00:21:57.92 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:07:01:06:00.08 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:01:18:02.60 Status of element 16 changes from down to busy

00:00:07:02:00:12.63 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:02:14:34.62 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:04:17:00.77 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:05:15:45.14 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:10:01:45.88 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:11:03:29.70 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:07:11:12:03.89 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:07:11:12:43.48 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:21:12:19.48 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:21:22:20.38 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:07:22:10:35.48 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:07:22:13:25.54 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:22:22:47.09 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:23:09:56.03 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:07:23:14:57.97 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:23:15:32.67 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:24:18:48.74 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:25:05:26.22 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:25:07:39.85 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:07:25:11:36.81 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:07:26:01:26.61 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:07:26:11:04.64 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:07:29:03:23.53 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:07:29:09:41.24 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:07:29:16:53.52 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:08:00:14:05.12 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:08:01:00:46.11 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:08:02:20:37.37 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:09:17:18:34.75 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:09:18:07:37.98 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:09:26:01:02.99 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:09:26:07:23.06 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:09:26:09:27.31 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:09:28:09:49.79 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:10:00:14:33.71 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:10:03:09:59.27 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:10:21:05:29.22 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:10:21:07:19.87 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:10:21:18:05.22 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:10:21:22:38.93 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:10:23:02:17.14 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:10:25:08:46.20 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:10:27:17:39.73 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:10:27:18:19.91 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:10:28:14:40.58 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:10:28:21:24.46 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:11:17:21:40.09 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:11:18:02:22.05 Status of element 10 changes from busy to down
00:00:11:22:03:04.50 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:11:22:06:08.73 Status of element 16 changes from busy to down
00:00:11:22:14:15.92 Status of element 10 changes from busy to down

00:00:11:23:16:48.09 Status of element 16 changes from down to busy
00:00:11:24:13:45.40 Status of element 10 changes from down to busy
00:00:11:24:20:24.77 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:11:25:00:11.43 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:11:25:20:54.96 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:11:26:00:19.93 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:11:26:06:25.30 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:05:01:47.89 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:05:23:38.93 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:00:06:01:05.28 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:06:03:59.01 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:00:06:05:35.53 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:06:07:56.18 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:06:22:40.38 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:07:11:48.96 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:07:15:44.42 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:08:02:57.74 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:00:08:07:52.49 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:08:16:22.73 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:00:09:00:23.88 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:09:03:04.16 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:09:06:55.25 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:09:16:18.37 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:09:20:29.92 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:09:20:46.57 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:13:22:32.67 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:14:10:54.63 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:18:02:25.87 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:19:11:56.69 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:00:19:22:55.94 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:00:20:09:00.46 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:20:12:35.66 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:21:10:26.37 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:23:19:10.94 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:24:06:05.29 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:24:09:39.23 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:24:18:41.74 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:00:25:10:04.17 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:00:25:10:57.61 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:00:25:14:39.90 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:00:25:15:15.41 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:00:25:19:43.21 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:00:27:21:11.78 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:04:18:45.35 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:05:06:56.26 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:06:04:31.04 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:01:06:21:07.27 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:01:07:01:25.33 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:01:07:01:34.01 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:08:12:04.97 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:09:10:24.58 Status of element 10 changes from busy to down

00:01:01:13:11:33.00 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:13:17:39.31 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:14:02:44.66 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:01:14:08:03.42 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:14:19:50.66 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:15:07:30.88 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:15:22:32.68 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:01:16:07:35.71 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:16:15:39.21 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:16:17:30.28 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:17:00:03.71 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:01:17:19:45.07 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:17:20:02.00 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:18:23:15.13 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:01:19:03:19.46 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:01:20:11:10.65 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:01:20:15:05.86 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:01:22:00:22.88 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:01:24:12:53.92 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:01:24:15:37.29 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:01:24:17:02.58 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:01:27:04:10.34 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:02:00:01:13.76 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:02:01:04:38.85 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:02:01:06:40.14 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:01:20:39.18 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:02:02:01:15.27 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:02:02:13:46.13 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:02:03:23:27.24 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:04:15:32.72 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:02:04:18:38.34 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:02:04:22:55.27 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:02:05:07:26.26 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:02:05:22:55.09 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:02:06:02:59.54 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:02:06:11:10.91 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:02:13:13:57.57 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:13:17:33.88 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:02:14:03:57.87 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:14:19:44.30 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:02:17:06:22.23 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:17:13:50.34 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:02:18:04:48.19 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:02:18:13:48.23 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:02:18:17:41.15 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:02:20:06:55.33 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:02:28:23:33.80 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:02:29:05:16.80 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:02:29:09:49.55 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:02:29:18:54.18 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:02:29:21:51.20 Status of element 6 changes from down to busy

00:01:03:00:08:01.09 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:03:07:07:38.50 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:03:07:16:49.88 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:03:07:19:49.53 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:03:08:13:37.34 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:03:19:23:37.54 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:03:20:07:03.04 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:03:20:11:22.43 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:03:20:13:15.70 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:03:20:20:20.65 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:03:20:21:58.25 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:03:21:06:24.59 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:03:22:07:46.29 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:03:23:07:10.31 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:03:24:12:44.59 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:03:24:19:11.59 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:03:25:02:44.30 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:03:26:08:56.51 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:03:29:01:16.13 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:03:29:21:05.95 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:04:01:09:13.97 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:04:02:02:52.68 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:04:02:06:45.99 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:04:02:11:51.30 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:04:03:11:54.20 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:04:03:13:36.52 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:04:04:02:46.10 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:04:04:07:58.95 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:04:04:12:50.23 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:04:04:21:30.00 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:04:05:19:26.21 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:06:06:22:42.81 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:06:07:03:50.24 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:06:07:08:17.97 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:06:08:05:47.28 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:06:08:17:04.11 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:06:09:03:46.55 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:06:10:04:50.54 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:06:12:12:35.67 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:06:12:17:36.82 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:06:13:02:02.92 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:06:13:20:21.83 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:06:16:17:25.25 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:06:18:03:52.20 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:06:18:07:37.28 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:06:24:07:36.68 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:06:24:21:34.14 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:06:25:02:43.25 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:06:25:04:23.55 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:06:27:04:43.03 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:06:28:23:07.86 Status of element 10 changes from busy to down

00:01:06:29:06:23.98 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:00:05:32.25 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:01:01:57.11 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:07:01:05:48.87 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:05:05:13.59 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:05:12:35.33 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:05:15:50.88 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:07:05:20:12.52 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:07:06:13:55.39 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:07:06:16:01.08 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:07:06:17:31.96 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:07:06:23:37.73 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:09:20:18.43 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:11:00:59.28 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:12:14:36.22 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:12:20:50.56 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:07:12:22:11.66 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:13:01:08.23 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:07:13:14:15.29 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:07:13:18:17.98 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:07:14:08:07.53 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:14:16:52.19 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:07:15:08:27.82 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:15:13:05.65 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:07:16:09:04.72 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:18:14:02.78 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:18:22:08.82 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:19:01:49.49 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:07:24:08:10.22 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:24:23:59.76 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:25:06:34.86 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:07:25:10:48.27 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:07:25:15:50.45 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:07:26:10:00.46 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:00:06:57.56 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:08:03:00:39.79 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:08:03:11:00.00 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:06:08:03.42 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:08:06:18:34.92 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:08:10:21.99 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:08:15:07:53.12 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:08:15:19:39.31 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:08:17:13:28.17 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:20:05:55.48 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:08:20:09:02.42 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:08:20:10:31.59 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:08:20:20:15.35 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:08:22:15:39.87 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:22:17:38.94 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:08:23:15:43.14 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:08:24:01:09.93 Status of element 16 changes from busy to down

00:01:08:24:02:31.59 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:08:25:04:04.24 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:08:25:06:10.23 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:08:25:11:16.58 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:08:26:15:35.25 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:10:21:17:29.25 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:10:22:01:09.48 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:10:24:10:13.51 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:10:24:19:24.42 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:10:25:10:25.33 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:10:26:04:25.75 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:10:26:18:47.30 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:10:27:01:09.11 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:10:27:23:11.41 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:10:29:05:44.75 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:00:09:08.94 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:05:17:42.56 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:11:06:14:45.40 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:06:18:32.71 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:08:14:45.98 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:11:08:23:55.25 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:11:17:17:09.61 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:18:04:11.43 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:19:01:57.43 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:19:09:32.84 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:19:17:20.30 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:19:22:12.93 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:11:20:08:34.52 Status of element 16 changes from down to busy
00:01:11:20:12:53.26 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:20:19:35.66 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:21:16:28.00 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:22:14:07.88 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:24:00:22.52 Status of element 10 changes from busy to down
00:01:11:28:13:33.09 Status of element 10 changes from down to busy
00:01:11:28:14:56.67 Status of element 16 changes from busy to down
00:01:11:28:16:40.28 Status of element 6 changes from busy to down
00:01:11:28:20:30.35 Status of element 6 changes from down to busy
00:01:11:29:13:20.92 Status of element 10 changes from busy to down
01:00:00:00:00:00.00 Status of element 10 changes from down to down
01:00:00:00:00:00.00 Status of element 16 changes from down to down

ANNEXE F

Détermination de la constitution du groupe de maintenance.

SCO BENIN : Résultat de la simulation du nombre de mécaniciens.

00:00:00:00:02:23.01 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:03:00.89 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:03:22.14 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:04:02.35 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:04:13.47 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:05:20.16 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:06:00.58 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:06:02.55 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:07:13.65 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:08:12.09 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:08:16.42 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:08:23.14 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:09:09.76 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:09:13.21 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:09:16.14 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:09:21.13 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:10:19.33 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:10:20.92 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:11:06.61 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:11:18.74 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:11:20.62 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:13:05.06 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:13:11.88 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:13:12.40 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:14:09.82 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:14:19.54 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:14:20.65 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:14:22.20 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:16:16.09 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:16:18.12 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:18:21.36 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:21:20.15 Status of element 6 changes from down to down
 00:00:00:00:21:20.15 Status of element 6 changes from none to down
 00:00:00:00:24:13.55 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:24:19.09 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:25:04.05 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:27:12.87 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:27:13.96 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:01:00:03.54 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:01:00:06.47 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:01:01:01.56 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:01:01:22.76 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:01:03:13.28 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:01:07:07.67 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:01:07:14.02 Status of element 4 changes from down to busy

00:00:00:01:08:11.42 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:01:08:15.92 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:01:09:05.47 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:01:09:14.62 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:01:10:01.99 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:01:11:13.94 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:01:17:06.13 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:01:19:00.06 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:01:19:09.35 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:01:19:23.95 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:01:20:18.97 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:01:20:20.31 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:01:20:20.91 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:01:21:23.45 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:01:22:09.16 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:01:22:12.11 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:01:24:17.57 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:01:26:15.12 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:01:26:18.62 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:01:27:03.30 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:01:29:08.17 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:01:29:10.53 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:01:29:14.58 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:02:00:14.12 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:01:11.81 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:01:13.14 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:02:01:22.54 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:02:02:16.56 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:02:19.42 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:04:18.70 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:04:21.81 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:05:23.23 Status of element 4 changes from blk to down
00:00:00:02:06:17.37 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:02:07:00.67 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:02:07:04.10 Status of element 4 changes from down to blk
00:00:00:02:08:16.96 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:02:08:20.54 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:02:08:22.04 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:09:08.04 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:10:00.44 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:10:03.32 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:02:10:08.98 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:15:19.51 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:02:16:13.83 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:17:02.85 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:17:23.94 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:02:18:10.92 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:02:19:04.29 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:19:07.82 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:02:19:10.57 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:19:17.22 Status of element 6 changes from down to busy

00:00:00:02:20:20.69 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:21:04.19 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:02:21:08.14 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:23:07.94 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:02:25:02.73 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:02:25:03.00 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:02:25:20.58 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:02:26:07.44 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:02:28:02.56 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:03:03:18.75 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:03:05:12.61 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:03:11:04.80 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:03:12:10.28 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:03:12:13.96 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:03:12:22.50 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:03:18:06.15 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:03:20:06.35 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:03:20:13.81 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:03:21:04.85 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:03:21:07.49 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:03:22:19.43 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:03:28:11.62 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:04:00:23.73 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:04:06:15.91 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:04:06:22.05 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:07:00.35 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:07:20.82 Status of element 4 changes from blck to down
00:00:00:04:08:00.62 Status of element 4 changes from down to blck
00:00:00:04:08:18.21 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:09:04.26 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:09:17.71 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:04:15:09.89 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:04:17:07.70 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:17:11.03 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:18:07.43 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:18:10.43 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:18:22.67 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:04:24:14.86 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:04:27:03.85 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:04:28:04.78 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:05:22.70 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:11:14.89 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:14:22.43 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:20:14.62 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:22:18.68 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:23:15.17 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:24:23.30 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:05:25:04.64 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:25:15.64 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:05:27:01.92 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:28:19.47 Status of element 6 changes from busy to down

00:00:00:06:04:11.66 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:06:06:15.67 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:06:07:05.09 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:06:10:10.76 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:06:16:02.95 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:06:18:15.60 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:06:19:08.37 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:06:20:11.70 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:06:20:14.21 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:06:22:16.73 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:06:22:19.76 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:06:23:05.73 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:06:28:11.95 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:00:20.65 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:07:01:00.32 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:01:03.50 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:01:21.07 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:03:15.88 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:04:10.52 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:07:05:23.71 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:06:17.51 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:08:22.21 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:07:14:14.40 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:16:08.56 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:07:16:09.98 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:16:13.77 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:07:16:17.40 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:07:18:02.37 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:18:22.02 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:07:24:14.21 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:26:21.31 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:07:27:01.72 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:07:27:14.39 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:03:06.58 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:04:13.77 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:06:21.53 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:10:02.08 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:08:10:10.55 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:08:11:13.23 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:08:12:01.74 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:12:21.83 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:08:17:17.93 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:18:06.21 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:08:18:22.77 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:08:19:17.49 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:20:08.87 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:23:07.98 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:24:17.00 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:01:00:00:00.00 Status of element 8 changes from down to down

Programme de la simulation des arrêts mécaniques pour deux mécaniciens.

GENERAL REMARKS

scomeca.SIM consists of 18 elements, 18 jobs and 18 stages.
 Time representation is as follows: 24 units make 1 day,
 30 days make 1 month, 12 months make 1 year.
 At request usertli will be executed.

LISTING OF ELEMENTS

- (1) Camions_carrier is an Inout with a capacity of 2
 job number = 1
 Used by Job 1 (Carriere) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 1 from which it is sent to stage 2
 Stage 1 has a stock of 1 product (1)
- (2) Concasseur is a Machine with a capacity of 1
 job number = 2
 Used by Job 2 (Concassage) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=3
 Done at stage 2 from which it is sent to stage 3
- (3) Hall_stockage is a Buffer with a capacity of 50000
 job number = 3
 Used by Job 3 (Stockage1) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 3 from which it is sent to stage 4
- (4) Broyeur_Cru is a Machine with a capacity of 1
 mtbf = weibull[53.409152, 0.703079]+12.756520
 mtbf based on time while producing
 mtr = gamma[8.939217, 0.769292]+2.251805
 Exit cond = elqueue[8]<=40000
 repair aid = select 1 from 15,16
 job number = 4
 Used by Job 4 (Broyage_cru) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=4
 Done at stage 4 from which it is sent to stage 5
- (5) Sillo_Farine_Cr is a Buffer with a capacity of 40000
 job number = 5
 Used by Job 5 (Stockage2) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 5 from which it is sent to stage 6
- (6) Four is a Machine with a capacity of 1
 mtbf = 1./weibull[0.015336, 2.250327]
 mtbf based on time while producing
 mtr = 135.440363/(1.+lognormal[71.497578, 1894.160859])+0.746571
 repair aid = select 1 from 15,16
 job number = 6

- Used by Job 6 (Clinkerisation) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=5
 Done at stage 6 from which it is sent to stage 7
- (7) Sillo_clinker is a Buffer with a capacity of 20000
 job number = 7
 Used by Job 7 (Stockage3) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 7 from which it is sent to stage 10
- (8) Broyeur_ciment is a Machine with a capacity of 1
 mtbf = weibull[115.666349, 0.700410]+30.861280
 mtbf based on time while producing
 mtrr = lognormal[14.183423, 21.950306]
 Exit cond = elqueue[18]<=20000
 repair aid = select 1 from 15,16
 job number = 8
 Used by Job 10 (Broyage_ciment) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=6
 Done at stage 10 from which it is sent to stage 11
 Receiv. from = 9
- (9) Inou_13 is an Inout with a capacity of 2
 job number = 9
 Used by Job 8 (Gypse) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 8 from which it is sent to stage 9
 Stage 8 has a stock of 1 product (2)
- (10) Stock_Gypse is a Buffer with a capacity of 40
 job number = 10
 Used by Job 9 (Stock_gypse) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 9 from which it is sent to stage 0
- (11) Sillo_ciment is a Buffer with a capacity of 200000
 job number = 11
 Used by Job 11 (Stock4) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 11 from which it is sent to stage 12
- (12) Ensacheuse is a Machine with a capacity of 1
 job number = 12
 Used by Job 12 (Ensachage) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=7
 Done at stage 12 from which it is sent to stage 13
- (13) Magasin_Ciment is a Warehouse with a capacity of 400
 dimensions = 10 columns, 40 rows, cellsize is 12
 255 extra cells will be scanned
 job number = 13
 Used by Job 13 (Charge_Camion) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 13 from which it is sent to stage 14
- (14) Inou_23 is an Inout with a capacity of 2

job number = 14
Used by Job 14 (Sortie_ciment) with a jobtime of 0.00
Done at stage 14 from which it is sent to stage 0

(15) Aid_15 is a Aid with a capacity of 1
job number = 15
Used by Job 15 (E15:J1) with a jobtime of 0.00
Done at stage 15 from which it is sent to stage 0

(16) Aid_16 is a Aid with a capacity of 1
job number = 16
Used by Job 16 (E16:J1) with a jobtime of 0.00
Done at stage 16 from which it is sent to stage 0

(17) Aid_17 is a Aid with a capacity of 1
job number = 17
Used by Job 17 (E17:J1) with a jobtime of 0.00
Done at stage 17 from which it is sent to stage 0

(18) Aid_18 is a Aid with a capacity of 1
job number = 18
Used by Job 18 (E18:J1) with a jobtime of 0.00
Done at stage 18 from which it is sent to stage 0

PRODUCT PARAMETERS

All Product parameters default (size=1 and weight=1).

STOCK LISTING

- (1) (R1:1) -> 1 product (code=1)
 (9) (R1:13) -> 1 product (code=2)

TLI SYNTAX LISTING

- (4) Exit condition = elqueue[8]<=40000
 (8) Exit condition = elqueue[18]<=20000
 (4) Repair aid = select 1 from 15,16
 (6) Repair aid = select 1 from 15,16
 (8) Repair aid = select 1 from 15,16
 (4) MTBF = weibull[53.409152, 0.703079]+12.756520
 (6) MTBF = 1./weibull[0.015336, 2.250327]
 (8) MTBF = weibull[115.666349, 0.700410]+30.861280
 (4) MTTR = gamma[8.939217, 0.769292]+2.251805
 (6) MTTR = 135.440363/(1.+lognormal[71.497578, 1894.160859])+0.746
 571
 (8) MTTR = lognormal[14.183423, 21.950306]
 (2) Trig. on Exit = product[C]:=3
 (2) Jobtime = begin p1:=ln[1./ran]; (if p1<1. then p1:=ln[1./p1] else
 p1:=0.-ln[p1]); 0.000645*p1+0.004562 end
 (4) Trig. on Exit = product[C]:=4
 (4) Jobtime = begin p1:=ran;exp[(ln[1./(1.-p1)]-ln[1./p1])/2.401464]
 *0.002460+0.009000 end
 (6) Trig. on Exit = product[C]:=5
 (6) Jobtime = begin p1:=ran;(if p1<0.5 then p1:=0.-ln[0.5/p1] else p
 1:=ln[0.5/(1.-p1)]); exp[p1/7.040871]*0.019970+0.000000
 end
 (8) Trig. on Exit = product[C]:=6
 (8) Jobtime = begin p1:=ran;exp[(ln[1./(1.-p1)]-ln[1./p1])/6.960375]
 *0.019209+0.000000 end
 (12) Trig. on Exit = product[C]:=7
 (12) Jobtime = begin p1:=ran; exp[(ln[1./(1.-p1)]-ln[1./p1])/13.867057
]*0.019416+0.000000 end

EXECUTE FUNCTION AT REQUEST: userli

End of document

ANNEXE G

Détermination de la constitution de l'équipe de maintenance.

SCO BENIN : Résultats de la simulation du nombre d'électricien et d'électronicien.

00:00:00:00:01:16.40 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:01:17.54 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:02:22.37 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:02:22.82 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:05:22.09 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:05:22.26 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:06:01.85 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:06:02.17 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:08:05.03 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:08:07.17 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:08:14.47 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:08:14.82 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:11:22.84 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:12:01.63 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:12:09.11 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:12:16.84 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:16:00.29 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:16:03.68 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:19:19.67 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:19:20.92 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:23:06.86 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:23:11.44 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:23:18.59 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:00:23:18.88 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:00:24:08.74 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:24:09.59 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:24:09.59 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:24:10.48 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:00:27:09.13 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:27:09.82 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:28:14.55 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:00:28:15.61 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:00:29:12.21 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:00:29:12.88 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:01:03:06.42 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:01:03:06.85 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:01:04:01.03 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:01:04:01.37 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:01:06:12.95 Status of element 4 changes from busy to down
 00:00:00:01:06:13.30 Status of element 4 changes from down to busy
 00:00:00:01:07:09.24 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:01:07:15.75 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:01:07:21.63 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:01:08:04.06 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:01:09:04.62 Status of element 8 changes from busy to down

00:00:00:01:09:13.39 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:01:14:11.78 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:01:14:16.57 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:01:15:14.20 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:01:15:17.45 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:01:15:18.89 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:12:23.99 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:03:16:08.49 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:16:13.40 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:18:16.92 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:19:13.90 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:22:13.20 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:22:23.47 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:26:08.77 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:26:13.24 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:26:17.42 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:03:26:22.07 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:03:27:14.98 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:27:15.47 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:03:28:02.84 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:03:28:09.32 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:00:06.12 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:00:07.22 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:01:23.31 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:02:01.55 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:04:09.17 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:04:09.65 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:08:05.80 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:08:06.97 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:09:07.63 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:09:10.64 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:14:16.18 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:04:14:16.35 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:04:18:06.56 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:18:06.88 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:18:10.46 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:18:12.46 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:18:23.45 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:19:03.49 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:23:01.08 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:23:03.39 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:24:06.78 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:24:10.21 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:04:27:03.09 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:04:27:04.69 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:04:29:06.77 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:04:29:07.08 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:02:08.28 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:02:11.34 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:03:06.33 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:03:17.73 Status of element 8 changes from down to busy

00:00:00:05:04:23.82 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:05:06.51 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:08:22.61 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:09:00.59 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:10:01.56 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:10:06.28 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:10:17.78 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:05:10:20.95 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:05:12:21.92 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:13:03.41 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:13:11.23 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:13:11.53 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:15:05.65 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:15:15.52 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:16:16.14 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:05:17:03.10 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:17:03.55 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:17:19.87 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:17:20.19 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:18:22.26 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:18:23.23 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:21:01.21 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:05:21:22.16 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:22:00.10 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:23:15.92 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:05:23:16.09 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:05:24:23.36 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:25:04.97 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:05:28:23.18 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:05:28:23.52 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:01:16.53 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:06:01:23.25 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:06:02:01.52 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:02:01.84 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:02:20.85 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:03:07.37 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:06:00.80 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:06:01.79 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:07:15.35 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:06:07:15.57 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:06:08:01.90 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:08:11.79 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:23:15.85 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:24:00.21 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:25:17.54 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:06:26:05.42 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:06:26:15.16 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:06:27:05.49 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:07:01:18.07 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:01:20.04 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:01:22.43 Status of element 6 changes from busy to down

00:00:00:07:02:19.46 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:02:19.95 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:05:03.79 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:05:05.26 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:09:17.60 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:07:09:21.03 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:07:10:00.36 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:07:13:06.65 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:13:06.99 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:13:17.61 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:13:18.57 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:15:18.36 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:15:20.64 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:16:11.61 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:16:12.06 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:22:04.20 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:22:18.89 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:22:22.74 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:07:24:18.37 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:24:18.67 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:25:07.23 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:07:26:16.51 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:26:17.89 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:27:23.73 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:07:28:02.14 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:07:29:20.25 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:00:13.15 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:05:01.14 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:05:01.47 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:06:07.21 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:06:08.36 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:06:14.80 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:06:15.28 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:06:15.73 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:06:15.91 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:11:00.67 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:08:11:02.65 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:08:11:08.62 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:11:21.14 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:21:14.59 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:21:16.23 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:24:07.17 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:24:07.47 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:28:12.62 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:28:13.80 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:08:29:05.72 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:08:29:05.89 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:08:29:22.76 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:08:29:23.25 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:01:13.27 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:09:01:22.17 Status of element 4 changes from down to busy

00:00:00:09:03:05.49 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:03:09.48 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:05:23.93 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:06:00.82 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:08:22.83 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:09:08:23.00 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:09:09:15.98 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:09:09:17.58 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:09:11:04.58 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:11:12.60 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:15:22.97 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:15:23.28 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:18:05.81 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:18:15.11 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:09:18:15.28 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:09:18:17.57 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:20:18.61 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:20:22.04 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:21:11.16 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:09:21:12.36 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:09:22:19.53 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:22:19.90 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:09:24:18.25 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:09:24:18.65 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:00:22.67 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:01:00.25 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:02:10.01 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:02:10.66 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:04:21.92 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:05:02.58 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:06:20.20 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:06:20.54 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:08:00.08 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:08:00.81 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:10:04.19 Status of element 6 changes from busy to down
00:00:00:10:10:04.36 Status of element 6 changes from down to busy
00:00:00:10:11:03.05 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:11:05.41 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:12:12.43 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:12:16.52 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:17:15.02 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:18:01.42 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:20:01.11 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:20:01.57 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:10:25:02.82 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:10:25:06.58 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:11:07:16.99 Status of element 4 changes from busy to down
00:00:00:11:07:19.83 Status of element 8 changes from busy to down
00:00:00:11:07:20.00 Status of element 4 changes from down to busy
00:00:00:11:07:22.20 Status of element 8 changes from down to busy
00:00:00:11:09:00.12 Status of element 8 changes from busy to down

00:00:00:11:09:01.19 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:11:00.01 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:11:01.36 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:12:13.24 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:13:01.66 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:14:19.41 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:14:19.85 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:17:15.29 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:17:19.81 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:18:01.73 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:11:18:01.97 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:11:18:13.64 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:18:21.92 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:22:09.35 Status of element 6 changes from busy to down
 00:00:00:11:22:09.51 Status of element 6 changes from down to busy
 00:00:00:11:24:20.30 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:24:23.63 Status of element 8 changes from down to busy
 00:00:00:11:26:14.12 Status of element 8 changes from busy to down
 00:00:00:11:26:18.65 Status of element 8 changes from down to busy

Programme de la simulation des arrêts électriques et électroniques

GENERAL REMARKS

scoelect.SIM consists of 18 elements, 18 jobs and 18 stages.
 Time representation is as follows: 24 units make 1 day.
 30 days make 1 month, 12 months make 1 year.
 At request usertli will be executed.

LISTING OF ELEMENTS

- (1) Camions_carrier is an Inout with a capacity of 2
 job number = 1
 Used by Job 1 (Carriere) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 1 from which it is sent to stage 2
 Stage 1 has a stock of 1 product (1)
- (2) Concasseur is a Machine with a capacity of 1
 job number = 2
 Used by Job 2 (Concassage) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=3
 Done at stage 2 from which it is sent to stage 3
- (3) Hall_stockage is a Buffer with a capacity of 50000

- job number = 3
Used by Job 3 (Stockage1) with a jobtime of 0.00
Done at stage 3 from which it is sent to stage 4
- (4) Broyeur_Cru is a Machine with a capacity of 1
mtbf = gamma[200.580290, 0.763288]+64.329893
mtbf based on time while producing
mttr = begin p1:=normal[0., 1.];p2:=20.484292;p1:=p2*p1*p1: p1:=(1.-
((8.311842/p1+1.)^
Exit cond = elqueue[8]<=40000
repair aid = select 1 from 15,16
job number = 4
Used by Job 4 (Broyage_cru) with a jobtime of TLI
exit trig. = product[C]:=4
Done at stage 4 from which it is sent to stage 5
- (5) Sillo_Farine_Cr is a Buffer with a capacity of 40000
job number = 5
Used by Job 5 (Stockage2) with a jobtime of 0.00
Done at stage 5 from which it is sent to stage 6
- (6) Four is a Machine with a capacity of 1
mtbf = gamma[303.148922, 1.000000]+86.190307
mtbf based on time while producing
mttr = weibull[8.539271, 0.317921]+0.166651
repair aid = select 1 from 15,16
job number = 6
Used by Job 6 (Clinkerisation) with a jobtime of TLI
exit trig. = product[C]:=5
Done at stage 6 from which it is sent to stage 7
- (7) Sillo_clinker is a Buffer with a capacity of 20000
job number = 7
Used by Job 7 (Stockage3) with a jobtime of 0.00
Done at stage 7 from which it is sent to stage 10
- (8) Broyeur_ciment is a Machine with a capacity of 1
mtbf = begin p1:=ran; exp[(ln[1./(1.-p1)]-ln[1./p1])/2.286392]*55.065564+0.000000 end
mtbf based on time while producing
mttr = weibull[3.099070, 0.584453]+0.302192
Exit cond = elqueue[18]<=20000
repair aid = select 1 from 15,16
job number = 8
Used by Job 10 (Broyage_ciment) with a jobtime of TLI
exit trig. = product[C]:=6
Done at stage 10 from which it is sent to stage 11
Receiv. from = 9
- (9) Inou_13 is an Inout with a capacity of 2
job number = 9
Used by Job 8 (Gypse) with a jobtime of 0.00

Done at stage 8 from which it is sent to stage 9
 Stage 8 has a stock of 1 product (2)

- (10) Stock_Gypse is a Buffer with a capacity of 40
 job number = 10
 Used by Job 9 (Stock_gypse) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 9 from which it is sent to stage 0
- (11) Sillo_ciment is a Buffer with a capacity of 200000
 job number = 11
 Used by Job 11 (Stock4) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 11 from which it is sent to stage 12
- (12) Ensacheuse is a Machine with a capacity of 1
 job number = 12
 Used by Job 12 (Ensachage) with a jobtime of TLI
 exit trig. = product[C]:=7
 Done at stage 12 from which it is sent to stage 13
- (13) Magasin_Ciment is a Warehouse with a capacity of 400
 dimensions = 10 columns, 40 rows, cellsize is 12
 255 extra cells will be scanned
 job number = 13
 Used by Job 13 (Charge_Camion) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 13 from which it is sent to stage 14
- (14) Inou_23 is an Inout with a capacity of 2
 job number = 14
 Used by Job 14 (Sortie_ciment) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 14 from which it is sent to stage 0
- (15) Aid_15 is a Aid with a capacity of 1
 job number = 15
 Used by Job 15 (E15:J1) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 15 from which it is sent to stage 0
- (16) Aid_16 is a Aid with a capacity of 1
 job number = 16
 Used by Job 16 (E16:J1) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 16 from which it is sent to stage 0
- (17) Aid_17 is a Aid with a capacity of 1
 job number = 17
 Used by Job 17 (E17:J1) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 17 from which it is sent to stage 0
- (18) Aid_18 is a Aid with a capacity of 1
 job number = 18
 Used by Job 18 (E18:J1) with a jobtime of 0.00
 Done at stage 18 from which it is sent to stage 0

PRODUCT PARAMETERS

All Product parameters default (size=1 and weight=1).

STOCK LISTING

- (1) (R1:1) → 1 product (code=1)
 (9) (R1:13) → 1 product (code=2)

TLI SYNTAX LISTING

```
(4) Exit condition = elqueue[8]<=40000
(8) Exit condition = elqueue[18]<=20000
(4) Repair aid    = select 1 from 15,16
(6) Repair aid    = select 1 from 15,16
(8) Repair aid    = select 1 from 15,16
(4) MTBF          = gamma[200.580290, 0.763288]+64.329893
(6) MTBF          = gamma[303.148922, 1.000000]+86.190307
(8) MTBF          = begin p1:=ran;      exp[(ln[1/(1.-p1)]-ln[1/p1])/2.286392]
                    *55.065564+0.000000 end
(4) MTTR          = begin p1:=normal[0., 1.];p2:=20.484292;p1:=p2*p1*p1; p1
                    :=(1.-((8.311842/p1+1.)^0.5))*p1*4.928942+p2;      (if ran<p
                    2/(p2+p1) then p2:=p1 else p2:=p2*p2/p1);      p2+0.000000 end
(6) MTTR          = weibull[8.539271, 0.317921]+0.166651
(8) MTTR          = weibull[3.099070, 0.584453]+0.302192
(2) Trig. on Exit = product[C]:=3
(2) Jobtime       = begin p1:=ln[1/ran]; (if p1<1. then p1:=ln[1/p1] else
                    p1:=0.-ln[p1]);      0.000645*p1+0.004562 end
(4) Trig. on Exit = product[C]:=4
(4) Jobtime       = begin p1:=ran; exp[(ln[1/(1.-p1)]-ln[1/p1])/2.401464]
                    *0.002460+0.009000 end
(6) Trig. on Exit = product[C]:=5
(6) Jobtime       = begin p1:=ran; (if p1<0.5 then p1:=0.-ln[0.5/p1] else p
                    1:=ln[0.5/(1.-p1)]); exp[p1/7.040871]*0.019970+0.000000
                    end
(8) Trig. on Exit = product[C]:=6
(8) Jobtime       = begin p1:=ran; exp[(ln[1/(1.-p1)]-ln[1/p1])/6.960375]
                    *0.019209+0.000000 end
(12) Trig. on Exit = product[C]:=7
(12) Jobtime      = begin p1:=ran;      exp[(ln[1/(1.-p1)]-ln[1/p1])/13.867057
                    ]*0.019416+0.000000 end
```

EXECUTE FUNCTION AT REQUEST: usertti

End of document