

وزارة الجامعات والبحث العلمي
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
École Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Genie Industriel*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Analyse des performances de l'atelier
tortillage droit et spiro-conique du
centre mécanique du C.V.I par simulation*

Proposé par :

C.V.I

Etudié par :

M^{re} AYADI Salah

M^{re} BAAZIZ Ali

Dirigé par :

M^{re} KERBOUA-ZIARI

PROMOTION

1992

REMERCIEMENTS

...

Il est difficile d'exprimer en quelques mots nos remerciements à Madame Y. KERBOUA-ZIARI, qui nous a suivi tout au long de ce mémoire, pour ces conseils très précieux et sa rigueur dans le travail.

Nous sommes très reconnaissant à Madame BENCHERIF Professeur au Département Genie industriel, d'avoir accepté de juger ce travail en tant que présidente du jury .

Nous tenons à remercier Monsieur HADDAD et Monsieur SARI Professeurs au Département Genie Industriel pour l'honneur qu'il font en prenant part à ce jury.

Nous nous pouvons exprimer en quelques mots tout nos remerciements à Monsieur K. AYADI du Département D.P.C.O. du C.V.I. pour nous avoir, aidé, orienté et encouragé le long de ce travail.

TABLE DES MATIERES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : PRESENTATION DU C.V.I ET POSITION DU PROBLEME

I-INTRODUCTION.....	1
II-PRESENTATION SUCCINTE DU C.V.I.....	4
II-1-Historique.....	4
II-2-Politique de gestion de production.....	5
II-3 Centres de production	6
III-DESCRIPTION DE L'ATELIER TAILLAGE DROIT ET SPIRO-CONIQUE..	8
IV-ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE DE L'ATELIER TAILLAGE.....	10
DROIT ET SPIRO-CONIQUE	
VI-1 L'Organisation de la production.....	10
VI-2 Politique de maintenance	10
VI-3 Le contrôle de la qualité	11
V- POSITION DU PROBLEME.....	12

CHAPITRE II : L'ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION MANUFACTURIERE

I-INTRODUCTION	13
II-CONCEPTUALISATION ET REPRESENTATION PAR DES MODELES.....	13
II-1 Concepts liés aux systèmes de production	13
II-2 Représentation par des modèles	14
II-3 Modèles à événements discrets et modèles continus..	16
III-METHODES ANALYTIQUES D'EVALUATION DES PERFORMANCES.....	16
III-1 Modèles stochastiques basés sur la théorie des files d'attente.....	16

III-1-1 Algorithmes de calcul.....	17
III-1-2 Limites et intérêts.....	18
III-2 Méthodes utilisant l'algèbre des chemins	19
III-3 Les limites des méthodes analytiques et le recours à la simulation.....	19
IV-LA SIMULATION	20
IV-1 La simulation dans son contexte générale	20
IV-2 La simulation discrète	20
IV-2-1 Approche par événement.....	20
IV-2-2 Approche par activité	24
IV-2-3 Approche par processus	26
IV-3 Application de la simulation dans le domaine de la production.....	28
IV-4 Historique des langages de simulation	29
IV-5 Les limites de la simulation et des langages actuels.....	31
V- L'APPROCHE RETENUE	31
V-1 La simulation discrète.....	31
V-2 Le langage SLAM.....	32
V-3 Le cadre méthodologique de la simulation.....	32

CHAPITRE III: MODELISATION DE L'ATELIER
--

I-INTRODUCTION	35
II-LE RESEAU DE FABRICATION DE L'ATELIER	37
II-1 La station	37
II-2 La gamme d'usinage.....	37
II-3 L'opération.....	38
II-4 La manutention.....	38
III-COMPOSANTES DU MODELE DU SYSTEME ATELIER.....	39
III-1 Les machines.....	39
III-2 Les pièces.....	39
III-2-1 Sélection des pièces.....	39
III-2-2 Caractéristiques des pièces.....	40

III-3 Les règles de conduites.....	40
IV-PRINCIPE DE MODELISATION.....	40
V-DESCRIPTION DU LANGAGE SLAM.....	43
V-1 Généralités.....	43
V-2 Caractéristiques.....	43
V-2-1 Propriétés générales.....	43
V-2-2 Primitives du langage.....	44
VI-DESCRIPTION ET LOGIQUE DE CHANGEMENT D' ETAT DU MODELE..	
.....	46
VI-1 Injection des lots de pièces dans le modèle.....	46
VI-2 Modélisation des activités des machines sur les lots de pièces.....	46
VII-RAFFINEMENT DU MODELE.....	46
VII-1 Prise en compte des pannes machines.....	47
VII-2 Equilibrage des files d'attente devant les machines identiques.....	48
VII-3 Etablissement des statistiques.....	48
VIII-TRANSCRIPTION INFORMATIQUE DU MODELE.....	49

CHAPITRE IV : COLLECTE ET AJUSTEMENT DES DONNEES

I-INTRODUCTION	50
II-COLLECTE DES DONNEES	51
II-1-Données sur les pièces à fabriquer.....	51
II-2-Données sur les moyen de production.....	52
II-3-Ajustement des données.....	54
II-4-Données sur les stocks.....	59
II-5-Données sur le personnel.....	60

CHAPITRE V: VALIDATION DU MODELE, PRESENTATION
ET ANALYSE DES RESULTATS

I- VERIFICATION ET VALIDATION DU MODELE.....61
I-1 La vérification du modèle..... 61
I-2 La validation du modèle..... 62
II- PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS.....66
III-SCENARIOS POUR L'AMELIORATION DES PERFORMANCES....
DE L'ATELIER.....72
III-1 Diminution des durées de pannes.....72
III-2 Changement de la politique de contrôle.....73

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....76
BIBLIOGRAPHIE
ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'introduction de la construction en série par HENRY FORD [7] au début du siècle, l'homme n'a pas cessé d'imaginer de nouvelles structures pour les systèmes de production.

Nous sommes passés du concept de ligne de transfert produisant un seul type de produit à cadence fixée aux ateliers de type "FLOW-SHOP" ou "JOB-SHOP" caractérisés par la production simultanée de plusieurs types de produits suivant des itinéraires plus ou moins rigides.

Ces recherches menées dans le domaine de la gestion de production sont motivées par des facteurs multiples et principalement:

- L'accroissement de la productivité afin de réduire les prix de revient.
- L'adaptation rapide à des variations de la demande.
- La minimisation des déchets face au coût élevé des matières premières.
- L'amélioration de la qualité des produits.
- L'amélioration des conditions de travail et de sécurité.
- La réduction des délais de fabrication et des en-cours.

La fabrication simultanée de produits divers et l'adaptation à des fluctuations rapides du carnet de commandes ont contribué à complexifier la conduite de l'atelier (parcours des produits dans l'atelier, gestion des stocks et du réseau de transport...) et nécessitent l'appréhension du système de production dans son ensemble tout au long de son cycle de vie.

Il est donc nécessaire de disposer d'outils d'aide à la décision qui permettent, d'une part, Une analyse quantitative et rationnelle du système de production, et d'autre part, faciliter la tâche de l'homme dans sa fonction de gestion et d'organisation.

Notre travail, effectué au sein du Complexe de Véhicules Industriels de Rouiba, consiste à une étude détaillée du fonctionnement d'un atelier du centre mécanique en l'occurrence l'atelier taillage droit et spiro-conique.

Notre objectif est de mettre à la disposition des responsables de l'atelier une représentation simplifiée de la réalité pour servir les objectifs suivants:

- .Aider à mieux percevoir la réalité.
- .Aider à mieux atteindre les objectifs fixés.

Ce memoire est structuré en cinq chapitres:

Le premier chapitre est consacré à la présentation du Complexe de Véhicules Industriels de Rouiba suivie de l'analyse de la situation actuelle de l'atelier ainsi que les objectifs qui ont sensibilisé cette étude.

Dans le second chapitre, nous présenterons d'une manière générale l'analyse des systèmes de production. Les étapes de conceptualisation et de modélisation sont détaillées. Nous faisons une revue critique de quelques outils d'évaluation de performances suivis de l'approche retenue pour notre étude.

Dans le troisième chapitre, nous construisons un modèle représentant le fonctionnement réel de l'atelier à l'aide du logiciel **SLAM**. Les étapes de raffinement du modèle et de sa transcription informatique sont précisées.

Le quatrième chapitre sera consacré uniquement à, l'identification, la collecte, et l'ajustement des données nécessaires à la construction du modèle de simulation.

La vérification, la validation du modèle, l'analyse des résultats ainsi que quelques propositions visant à améliorer les performances de l'atelier feront l'objet du cinquième chapitre.

Une synthèse de l'étude et des recommandations seront présentées dans la conclusion générale.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU C.V.I. ET POSITION DU PROBLEME

I-INTRODUCTION

Le Complexe Véhicules Industriels (C.V.I) de Rouiba a pour mission essentielle le développement et la production de véhicules industriels considérée comme étant son objectif économique. Pour cela, il s'appuie sur des fonctions de soutien (Méthodes, Ordonnancement, Maintenance, Achats et Approvisionnement, Personnel, Finance, etc...). Dans la pratique, cet objectif se traduit par un programme de production établi en fonction des moyens humains et matériels.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le C.V.I., et particulièrement, l'atelier taillage droit et spiro-conique objet de notre étude et formuler ensuite les objectifs qui ont motivé cette étude.

II- PRESENTATION SUCCINCTE DU C.V.I.

II-1 historique:

L'entreprise Nationale de Véhicules Industriels (S.N.V.I) est née suite au décret 81-342 du 12.12.81 promulguée suite à la restructuration de la Société Nationale de Construction Mécanique (SONACOME) créée, en 1967 dans le but de promouvoir et de développer les industries mécaniques.

La S.N.V.I. est chargée du développement, de la production, de l'importation, de l'exportation, la distribution des véhicules, de leurs composants et de leur maintenance.

Le C.V.I., dont les travaux ont démarré en janvier 1971, a été lancé au cours du premier plan quadriennal 1969-1973. Il est située sur la zone industrielle de Rouiba à une trentaine de kilomètre d'Alger. Sa superficie totale est de 260 hectares dont 300.000 m² couverts.

II-2 Politique de gestion de la production:

L'organisation de la production au sein du C.V.I. s'effectue par l'intermédiaire de plusieurs niveaux de décisions caractérisés par des fonctions et des échelles de temps différentes. On distingue trois niveaux:

a -La gestion à long terme: On y traite les problèmes de stratégie générale du complexe. En fonction de prévisions de marché et des objectifs du complexe, la direction établit un plan d'investissement et de financement qui détermine pour plusieurs années le volume global de la production possible. Le travail est comptabilisé sous forme de volume de production par type de véhicules; les moyens sont représentés par des capacités globales de production.

b -La gestion à moyen terme: Ce niveau a pour but de définir, sur la base des demandes des clients, un programme de production dont le fonctionnement repose sur l'approvisionnement par périodes fixes et quantités variables. A ce niveau l'objectif est d'assurer la cohérence des dates de mise en fabrication des véhicules avec les contraintes globales de délais de livraison, de charge des moyens de production et de disponibilité des approvisionnements. A partir de l'état réel des ateliers, du programme de production, le secteur LANCEMENT organise les principales étapes de la fabrication connaissant les quantités de produits à fabriquer et les dates de livraisons. Le travail correspond alors aux produits à réaliser. Les moyens sont les différents centres de productions.

c -La gestion à court terme: Ce niveau a pour objet d'organiser au mieux dans le temps l'utilisation des moyens disponibles en vue de satisfaire les objectifs de production définis par le niveau gestion à moyen terme (programme annuel), tout en tenant compte des contraintes liées aux processus de fabrication (gammes de fabrication) et de l'état instantané de la fabrication et des moyens.

Le programme arrêté pour l'année (moyen terme), est éclaté et détaillé par la section programmation en un programme à court terme. Ce programme à court terme spécifie pour chaque référence de véhicule tous les articles (fabriqués ou achetés) nécessaires à sa réalisation.

Le travail est alors décomposé en opérations nécessitant l'intervention de moyens tels que les machines, le personnel, les outils...

Ces trois niveaux sont schématisés dans la figure suivante:

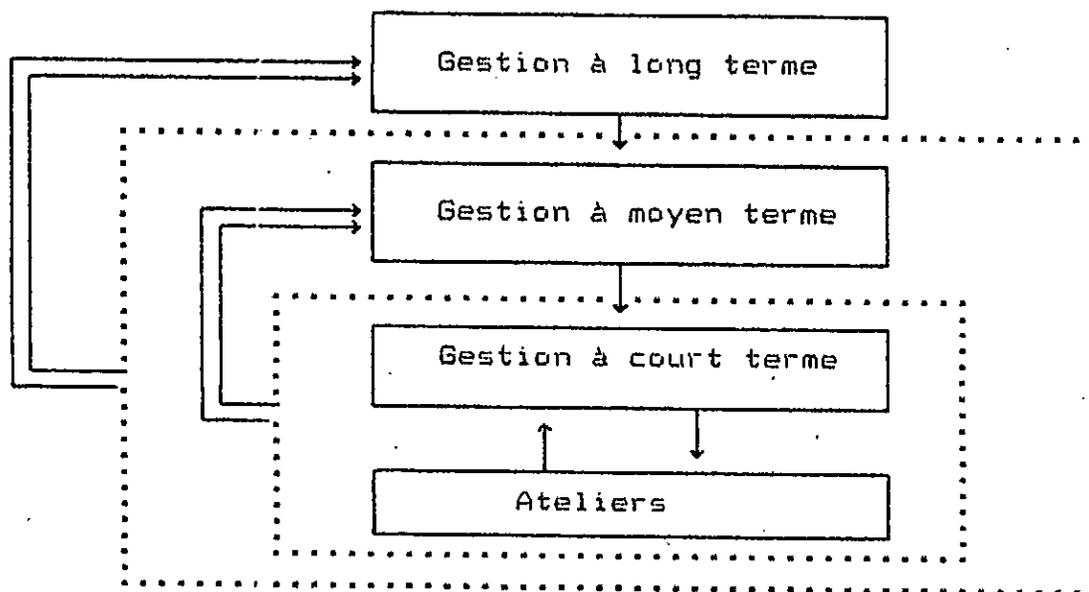


Fig.1 -Décomposition du système de gestion de la production du C.V.I.

II-3 Centres de production:

Le C.V.I. fabrique 4 gammes de véhicules dont les caractéristiques sont données en annexe1. La production est réalisée dans cinq(5) centres, doté chacun d'un service de gestion assurant le lancement, l'ordonnancement de la production et la gestion des stocks.

a- Centre Forge:

Ce centre assure la réalisation de pièces destinées:

- au centre mécanique où elles subissent des opérations d'usinage et de finition.
- au centres de montage où elles seront montées directement sur véhicules.

b- Centre Tolerie-Emboutissage:

Ce centre produit jusqu'à 10000 véhicules par an, il fabrique des tôles constituant la carcasse des véhicules ainsi que les cabines et le montage de tous les accessoires accompagnant ces dernières(cabines habillées).

c- Centre Montage Camions:

Ce centre a pour mission le montage sur camions de tous les organes et ensembles provenant des différents autres centres. Il est doté de deux chaînes de montage distinctes:

- une chaîne pour la gamme "petit tonnage"
- une chaîne pour la gamme "gros tonnage".

d- Centre Montage Cars et Bus:

Ce centre assure le montage des autobus(100V8), des cars(49V8), des mini-bus et de mini-cars.

e- Centre Mecanique:

Ce centre, structuré en 29 ateliers spécialisés, a une capacité de production de 4450 véhicules par an, assurée par un effectif de 562 ouvriers. Son parc machine atteint les 500 éléments. Il fabrique toutes les pièces mécaniques par les procédés d'usinage et assure leur montage en ensembles et organes (boîtes à vitesses, ponts, essieux, boîtes de direction ,...).

Le centre mécanique constitue un goulot d'étranglement qui conditionne le flux de production dans le complexe. C'est pour cela que les investissements en matériels sont en grande partie orientés vers ce centre afin d'augmenter sa capacité et ainsi augmenter la production de tout le C.V.I.

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, nous avons choisi le centre mécanique et plus particulièrement un de ses plus importants ateliers, en l'occurrence, l'atelier " taillage droit et spiro-conique"

III- PRESENTATION DE L'ATELIER TAILLAGE DROIT ET SPIRO-CONIQUE

Cet atelier produit selon un programme communiqué par le service ordonnancement afin de satisfaire les besoins du secteur montage du centre. Il assure la production de 160 types de pièces cylindriques de révolution, appelées pièces d'engrenage (pignons d'attaque, arbres, coulisseaux, récepteurs...)

A partir d'un état semi-fini (pièces tournées) les pièces sont usinées puis destinées au montage sur des organes d'une très grande importance, à savoir les boîtes à vitesses et les ponts

L'atelier dispose de 27 machines (voir annexe 5) et deux postes manuelles (ébavurage, contrôle) assurant plusieurs types d'opérations nécessaires à la réalisation des pièces.

On citera entre autres:

-Le taillage des canellures:

Opération qui consiste à tailler les cavités rectilignes longues et droites des pièces.

-L'alésage:

C'est une opération de régulation très précise du diamètre intérieure des pièces.

-Le taraudage:

C'est l'exécution d'un filetage à l'aide d'un taraud sur les parois d'un tube cylindrique.

-Le shaving:

C'est la finition des pièces pour les quelles il faut une grande précision d'ajustage.

Le type des machines ainsi que la désignation des opérations réalisées sont donnés dans le tableau suivant:

Machines	Désignation des opérations
Perceuses	Alésage Peçage multiple Taraudage
Fraiseuses	Fraisage Fraisage entre dents
Machine à laver	Lavage
Tailleuses	Taillage crabot Taillage des dents Taillage canellures
Poste d'ébavurage (manuel)	Ebavurage
Poste de contrôle (manuel)	Contrôle
Shaver-Redring	Shaving

Fig 2- Principales opérations réalisées dans l'atelier

Nous donnons en annexe-3-quelques types de pièces fabriquées dans l'atelier, leur désignation, les organes et les véhicules sur lesquels se montent ainsi que leur coefficient de montage (le nombre de fois qu'une pièce se monte sur un véhicule).

IV-ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE DE L'ATELIER

IV-1-L'organisation de la production:

La fabrication dans le centre mécanique et particulièrement dans l'atelier taillage droit et spiro-conique est organisée de la manière suivante:

- un ouvrier est affecté à chaque opération
- les ouvriers spécialisés sont affectés à des postes stables
- le lancement en fabrication se fait par lot de pièces
- chaque lot de pièces est accompagné d'un dossier de fabrication complet.
- la manutention est effectuée par un ouvrier spécialisé
- longues séries de fabrication(lots économiques)pour éviter les changement d'outils fréquents.

IV- 2- Politique de maintenance:

La maintenance des équipements(machines, bancs de controle) est essentiellement curative, (à l'exception de quelques travaux de graissage et de nettoyage)c'est à dire qu'on attend l'occurrence de la panne pour agir.

A cela viennent s'ajouter les durées des pannes machines qui sont très longues et principalement expliquées par:

- *les temps d'intervention
- *les attentes intervention
- *les attentes pièces de rechange en réalisation
- *les attentes pièces de rechange en commande

Cette politique de maintenance mise en place a entrainer:

- *un nombre de pannes élevé
- *des immobilisations énormes des machines
- *la perturbation du processus de fabrication
- *le non respect des délais de livraison.

IV-3- Le contrôle de la qualité:

le contrôle de la qualité des pièces est assuré par des ouvriers spécialisés et caractérisé par:

- *un contrôle unitaire (à 100%).
- *un contrôle en fin de processus de fabrication (et non en cours de fabrication).

Ainsi nous pouvons résumer la situation de l'atelier dans la figure suivante:

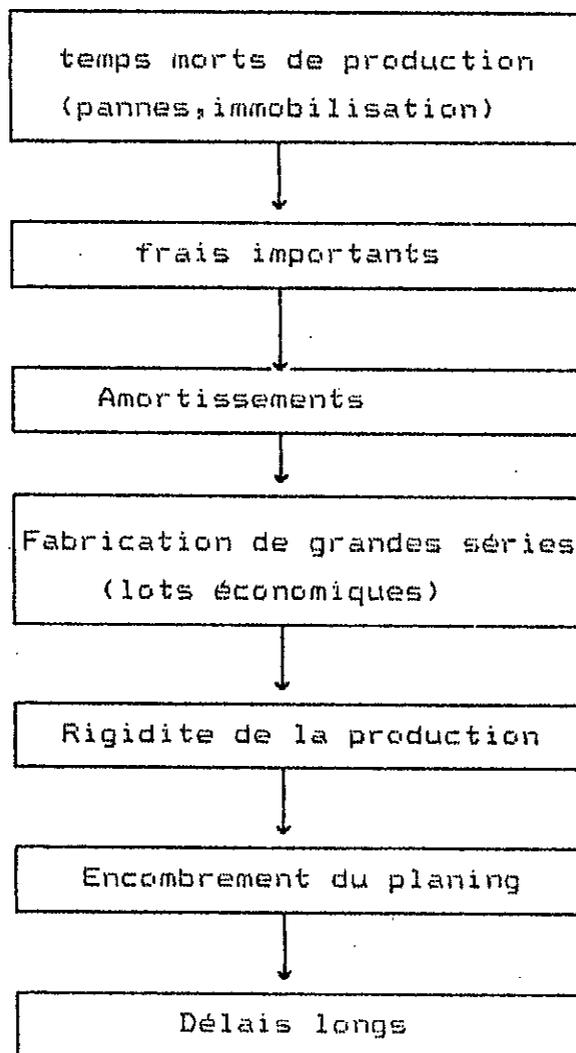


Fig 3- Situation actuelle de l'atelier

V-POSITION DU PROBLEME

Parmi les évolutions projetées par la direction du centre mécanique et des responsables de l'atelier taillage droit et spiro-conique et qui devront permettre l'augmentation de l'efficacité et de la productivité des moyens humains et matériels on citera :

- *la flexibilité de l'atelier afin de s'adapter aux variations de la demande

- *une main d'oeuvre polyvalente (affectation selon les problèmes et les charges)

- *une maintenance préventive afin de minimiser les pannes machines

- *organiser les contrôles en cours de la fabrication (auto-contrôle) puis faire un contrôle statistique (en fin du processus de fabrication) une fois la qualité est sous contrôle.

Pour aider les responsables de l'atelier à mieux percevoir la réalité et à mieux atteindre leurs objectifs, nous sommes intéressés à l'étude détaillée du fonctionnement de cet atelier.

Cette étude sera donc destinée à acquérir une méthodologie de conduite et une vision organisée de l'atelier. Ceci se traduira par la détermination des indicateurs qui caractérisent bien le fonctionnement de l'atelier. Citons entre autres :

- Le taux d'utilisation de chaque machine
- la longueur des files d'attente devant les machines, le temps moyen d'attente...
- le cycle opératoire moyen des lots de pièces
- l'influence des pannes machines
- L'identification des goulots d'étranglement

En évaluera les performances de l'atelier suite au changement des politiques de maintenance et de contrôle.

CHAPITRE II : L'ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION MANUFACTURIERE

I-INTRODUCTION

La production peut être définie comme un processus permettant la transformation de produits (matières premières, produits semi-finis) en d'autres produits (produits semi-finis, produits finis). Cette transformation est assurée par un ensemble d'éléments (machines, personnel, outils, système de transport...) composant le système de production. L'atelier est le lieu physique où sont regroupés tous ces éléments.

Dans ce chapitre, nous développerons les étapes liées à la conceptualisation et à la modélisation de tels systèmes. Quelques outils d'évaluation de performances sont présentés suivis de l'approche retenue pour notre étude.

II-CONCEPTUALISATION ET REPRESENTATION PAR DES MODELES

Un système de production peut être assimilé à un ensemble complexe d'éléments interagissant les uns sur les autres. Les lots de pièces, lorsqu'ils ne sont pas en attente dans un stock ou en cours de transport, se trouvent sur des machines pour y subir des opérations. Ces opérations nécessitent du personnel, de l'outillage...

Dans une première partie, nous énumérons des concepts qui nous permettront de construire un modèle.

II-1-Concepts liés aux systèmes de production [7]:

Nous donnons dans ce paragraphe une liste de concepts nécessaires pour la description d'un système de production.

- Une ressource est un élément nécessaire à la réalisation

d'une tâche. Une machine, des outils, du personnel... sont des ressources utilisées lors de la tâche de fabrication.

- Une activité peut être définie comme l'intervalle de temps pendant lequel un ensemble de ressources est engagé dans une tâche. Le repos peut être considéré comme une activité dont l'ensemble de ressources associé est vide.

La théorie des réseaux de files d'attente propose les concepts suivants:

L'élément mobile ou client représente toute entité matérielle dont le "déplacement" est pris en compte. Les lots de pièces sont des clients par exemple.

Une file d'attente regroupe des clients ayant quelque chose en commun

(utilisation de la même ressource...). A ces files d'attente, sont généralement associées des politiques de gestion.

Un serveur est une ressource particulière associée à une file d'attente. Les activités de cette ressource sont spécifiées (durée de service, création et destruction de client...)

II-2. Représentation par des modèles [2]:

La modélisation consiste à construire une représentation logico-mathématique du comportement d'un système réel.

Le modèle résultant peut servir de support pour l'expérimentation sur ordinateur ou d'aide au dialogue entre les différentes personnes concernées.

Selon la terminologie de la théorie des systèmes ,le modèle d'un système est composé "d'objets" ou "d'entités"(lots de pièces à fabriquer,machines...) et de "relations" entre ces objets (possibilité pour un lot de passer sur une machine...)

Un objet est caractérisé par un ou plusieurs "attributs" auxquels des valeurs peuvent être affectées.Ce sont ces attributs qui décriront les objets ils sont de deux types:

-attributs fixes qui définissent la nature de l'objet (objet de type machine,type de la machine...) et les caractéristiques de celui-ci(taux de panne...)

-attributs variables qui évoluent au cours du temps (état d'occupation d'une machine, état de marche de celle-ci, position d'une pièce dans l'atelier...)

Nous pouvons affiner cette classification en introduisant les notions d'attributs physiques et d'attributs de gestion suivant que ces attributs s'appliquent à une description physique ou à la conduite.

Ainsi pour une machine,nous pouvons utiliser les attributs suivants:

- 1.Attributs physiques fixes: -Type de la machine
 -Taux de panne
- 2.Attributs physiques variables: -Occupation de la machine
 -Etat de marche
- 3.Attributs de gestion fixes: -Politique de gestion de la
 file d'attente des lots devant les machines
- 4.Attributs de gestion variable: -Réservation de la machine
 par un lot

Nous pouvons regrouper en classes les objets de même nature et préciser le nombre d'éléments de cette classe.

De la même façon les relations sont décrites à l'aide d'attributs fixes (dits relationnels) qui précisent certaines caractéristiques de la relation (temps opératoire pour chaque lot de pièces sur chaque machine...). Les relations n'ont que des attributs fixes si le système modélisé est le même sur l'intervalle de temps considéré.

II-3. Modèles à événements discrets et modèles continus:

Les concepts introduits ci-dessus ne permettent de décrire que l'ensemble des états possibles du système. Le modèle complet contient de plus les règles opératoires qui permettront au système d'évoluer d'état en état.

Si ces changements d'états ont lieu de façon continue, on a un "modèle continu". Si ces changements ne peuvent avoir lieu qu'à certains instants et de façon discontinue, on a un "modèle à événements discrets". Par exemple, dans le cas de l'usinage d'une pièce sur une machine on peut s'intéresser de façon continue à l'évolution de la transformation de la pièce (usinage) ou ne s'occuper que des dates de début et fin de cette transformation. Dans les problèmes de production on emploie en général des modèles à événements discrets.

Dans la suite, nous utiliserons uniquement des modèles à événements discrets qui correspondent au niveau de description retenu pour notre étude.

III-METHODES ANALYTIQUES D'EVALUATION DES PERFORMANCES

Nous présentons dans ce paragraphe le cadre générale des méthodes analytiques, leurs avantages et leurs inconvénients.

III-1. Modèles stochastiques basés sur la théorie des files d'attente:

Les méthodes s'appliquant aux réseaux de files d'attente[5] fournissent des résultats sur le fonctionnement en régime permanent:

- Taux d'utilisation des serveurs.
- Temps moyen de présence d'un client dans la station que l'on peut décomposer en un temps moyen de présence dans la file d'attente et un temps moyen d'occupation du serveur.
- Nombre moyen de clients dans le système.

III-1-1. Algorithmes de calcul:

Divers algorithmes permettent de calculer de manière exacte ou approchée les performances d'un réseau de file d'attente[5].

Le cadre d'utilisation de ces algorithmes est résumé dans le tableau de la figure-6-.

Algorithme	Loi d'arrivée	Nombre de serveurs	Capacité de la file	Regle de service
Convolution	Exponentielle	Quelconque	Infinie	FIFO
Valeur moyenne	Exponentielle	Quelconque	Infinie	FIFO
Diffusion	Générale	1	Infinie	FIFO

figure-4- Cadre d'utilisation des trois algorithmes

III-1-2. Limites et intérêts:

La modélisation stochastique par réseaux de files d'attente se justifie pour les systèmes de production ayant un fonctionnement stable[7]. En effet ces modèles ne permettent de calculer que des probabilités asymptotiques des états à partir desquelles on déduit des indices de performances moyens valables sur une période de fonctionnement suffisamment longue.

Ces modèles sont en général très robustes à la violation de l'hypothèse de loi exponentielle. Par contre, la capacité des files d'attente étant infinie, le modèle n'est pas représentatif des phénomènes de blocage rencontrés dans un atelier. Les notions de regroupement dynamique (C.a.d pendant l'étude) des pièces en lots, de temps de préparation (temps de montage réglage) lorsqu'une machine change de type d'opération n'existent pas. La prise en compte des pannes est difficile et s'avère vite impossible en pratique sur des exemples de taille réaliste.

Néanmoins, le calcul direct des indices de performances permet d'obtenir très rapidement des résultats sur le fonctionnement moyen de l'atelier. Ces méthodes seront donc utilisées de préférence lors de la phase de préétude pendant laquelle il est nécessaire de pouvoir tester rapidement et de façon agrégée plusieurs configurations.

III-2-Méthodes utilisant l'algèbre des chemins:

Cette méthode permet une description précise de l'ordonnement [7] des tâches dans l'atelier, obtenue par un graphe potentiels-tâches.

Un graphe potentiels-tâches est constitué d'un nombre fini de noeuds représentant toutes les activités du système et un nombre fini d'arcs modélisant les contraintes de précédence.

Bien que la modélisation des pannes soit impossible, l'algèbre des chemins constitue une approche intéressante pour l'étude de certains problèmes d'ordonnement. Elle est bien adaptée en particulier à l'étude des problèmes dans lesquels les contraintes sont modélisables par un ensemble d'inégalités de potentiels devant être satisfaites conjointement.

III-3. Les limites des méthodes analytique et le recours à la simulation:

Les méthodes analytiques, de par leurs hypothèses, ne sont applicables que pour des configurations d'installation et des conditions d'exploitation particulières. Elles ont l'avantage de fournir très rapidement des résultats car elles ne nécessitent pas le déroulement de l'historique du système. Elles sont donc utilisées pendant la phase de préétude pour laquelle il est souvent nécessaire d'obtenir très rapidement les indicateurs moyens de performances de plusieurs configurations d'un atelier.

L'étude détaillée ainsi que la phase d'exploitation nécessitent l'utilisation d'outils pouvant prendre en compte les phénomènes de blocage, de panne et temps supplémentaire nécessaire lors de changements de types de production. Ces outils doivent aussi permettre la modélisation de règles de gestion plus puissantes et le regroupement par lot des pièces. La simulation que nous présentons dans la partie suivante est le seul outil qui permet actuellement de résoudre ces problèmes.

V-LA SIMULATION

V-1-La simulation dans son contexte générale [3]:

La simulation peut être considérée comme une méthode d'expérimentation appropriée à l'étude de systèmes de grande taille ou complexes, composés de nombreux éléments soumis à des interrelations et à des phénomènes aléatoires. Il faut souligner que toute expérimentation à l'aide de modèle peut évidemment être tenue pour une simulation. Elle peut être substituée à l'expérimentation réelle, notamment dans les cas suivants:

- Pour l'évaluation d'un projet.
- Si les coûts d'expérimentation réelle sont trop élevés.
- Dans des conditions opérationnelles irréalisables.
- En présence de danger lors d'essais sur site.
- A cause de la non-reproductibilité de l'expérimentation.
- Du fait d'un temps important d'expérimentation réelle.

V-2-La simulation discrète:

La simulation à événements discrets est un outil qui permet de reproduire événement par événement l'évolution de l'état du système dans le temps[6].

Il s'agit alors de faire correspondre à chaque sous ensemble de l'installation une entité dont l'évolution, en cours de simulation, aura le même comportement que celui du sous ensemble considéré. Une approche évolutive et structurée de la modélisation au cours des différentes phases d'étude est possible. On peut par exemple lors de la phase de préétude effectuer un dimensionnement grossier de l'installation puis lors de l'étude détaillée, étudier précisément les règles de gestion et prendre en compte les pannes des différents machines.

Le fonctionnement dynamique de l'atelier est précisé de façon différente suivant l'approche retenue.

V-2-1. Approche par événement [7]:

L'analyse du système puis de son fonctionnement permet de repertorier les différents événements modifiant l'état du système.

Ces événements sont dans une première étape regroupés par type. Ainsi nous pourrions obtenir trois types d'événements dans un atelier d'usinage:

- .Le lancement de lots de pièces.
- .Le début d'usinage.
- .La fin d'usinage.

Dans la seconde étape, seuls sont conservés les types d'événements représentant la fin d'une activité de durée connue. Pour un lancement périodique des lots, les types "lancement de lots" et "fin d'usinage" sont conservés car il terminent des activités de durées égales à la période de lancement ou le temps d'usinage. Notons que le type d'événement "début d'usinage" est confondu soit avec le lancement d'un lot sur une machine libre soit avec la fin d'usinage d'un lot qui provoque éventuellement le début d'usinage de ce lot sur la machine suivante (transport négligé) et le début d'usinage d'un autre lot en attente devant la machine venant de se libérer.

Ces deux étapes peuvent s'appuyer sur une représentation graphique appelée "diagramme des événements" dont les noeuds modélisent les événements. Des règles de réduction permettent d'obtenir un diagramme simplifié sur lequel n'apparaissent que des événements significatifs.

Après avoir trouvé tous les types d'événements significatifs du modèle, une procédure est associée à chaque type. Elle a pour rôle d'effectuer tous les traitements nécessaires lors de l'occurrence de l'événement et éventuellement de prévoir l'occurrence d'un ou plusieurs événements "fin d'activité de durée connue".

Le simulateur, après avoir rangé dans une table appelée échéancier les événements initiaux (lancement du premier lot de pièces par exemple), activé dans l'ordre d'apparition des événements de l'échéancier, les procédures liées à ces événements. Ces procédures peuvent remettre en cause la composition de l'échéancier en y introduisant par exemple un nouvel événement.

Enfin, notons que la progression du temps se fait par saut d'une date d'événement à la date de l'événement suivant.

Pour illustrer cette approche, nous allons prendre l'exemple d'un atelier destiné à l'usinage de deux types de pièces P1 et P2. Cet atelier est constitué de quatre machines M1, M2, M3, M4. Pour simplifier cette étude, nous négligerons les temps de transport et supposons les capacités des stocks devant les machines infinies.

Les pièces de type P1 passent sur les machines M1,M2 puis M4 tandis que les pièces de type P2 sont usinées sur M1,M3 puis M4. Notons T_{ij} le temps d'usinage du lot de pièce de type i sur la machine de type j . Supposons que le lancement des pièces dans l'atelier se fait par lots et périodiquement de période PER_i pour les pièces de type i .

Les type d'événements significatifs sont "le lancement des lots de pièces" et "la fin d'usinage des lots sur les machines".

Les procédures associées effectuent les actions suivantes:

1. PROCEDURE ASSOCIEE AU LANCEMENT DES LOTS DE PIECES:

-Ranger dans l'échéancier un événement "lancement d'un lot de pièce de type i " à la date : date actuelle + PER_i .

-Si la machine M1 est libre

alors

- M1 devient occupée.

- Ranger dans l'échéancier un événement "fin d'usinage" à la date: date actuelle + T_{i1} .

sinon

-Mettre le lot dans la file d'attente devant M1.

FIN SI.

2. PROCEDURE ASSOCIEE A LA FIN D'USINAGE D'UN LOT.

Notons i le type de lot de pièces terminant son usinage et j la machine utilisée pour cet usinage.

-SI il y a au moins un lot en attente devant Mj.

Alors

-Sortir le premier lot de la file d'attente. Soit k son type.

-Ranger dans l'échéancier un événement "fin d'usinage" à la date: date actuelle + T_{kj} .

sinon

-Mj devient libre.

FIN SI.

-SI le lot de pièces de type i n'a pas fini sa gamme.

Alors

-Chercher le numéro note "k" de la machine suivante.

-Si la machine MK est libre.

alors

-MK devient occupée.

-Ranger dans l'échéancier un événement "fin d'usinage" à
la date: date actuelle + Tik

SINON

-Mettre le lot dans la file d'attente devant Mk

FINSI

SINON

-Détruire le lot de la simulation.

FINSI

Le programme principal ne fait que lire dans l'ordre chronologique l'échéancier, actualiser la date actuelle et activer la procédure associée à l'événement courant.

Cette approche par événements est la plus connue et la plus utilisée.

VI-2-2. Approche par activité [10]:

Dans cette approche, l'analyse du système et de son fonctionnement permet de répertorier les différents types d'activités dans lesquelles sont engagés les éléments du système. Toutes les conditions nécessaires au début et à la fin des activités sont spécifiées. Le changement d'état s'effectue lorsque les conditions de début ou de fin d'une activité sont remplies.

En général, l'avance du temps consiste à utiliser une horloge et un pas fixe qui fait progresser celle-ci. A chaque avance du temps, on scrute pour chaque activité les conditions de début et on effectue les changements d'état possibles.

Reprenons l'exemple développé dans le paragraphe précédent. Les machines et lots peuvent être engagés dans deux activités: l'attente ou l'usinage. Un élément fictif appelé "lanceur" permet d'effectuer le lancement periodique. Ses activités sont en attente et en cours de lancement.

Nous ne retenons que les activités significatives afin d'éviter les redondances: usinage pour les lots et les machines et en attente de lancement pour le lanceur. La figure-5-donne les conditions de début et de fin de ces activités.

Activité	Conditions de début	Conditions de fin
usinage lot pi sur machine Mj	-lot pi affecté à la machine Mj -lot pi en attente -machine Mj libre et choix du lot pi	-date actuelle \geq date début usinage du lot pi + Tij
attente lancement lot pi	dès la fin de l'attente (le lancement est inst- antané)	-date actuelle \geq date de début attente des lots de type i + PER

Fig-5- Conditions de début et de fin d'activités

Cette approche nécessitant de tester à chaque pas d'horloge toutes les conditions s'avère gourmande en temps calcul et est donc généralement réservée aux simulations faisant intervenir des activités de durées non connues à priori.

V-2-3.Approche par processus [11]:

Un processus peut être défini comme une succession d'événement ou, par dualité, une succession d'activités caractéristiques du type de système étudié. On peut par exemple remarquer que chaque usinage de lots nécessite une phase de réglage puis une phase de traitement. Le processus associé est alors constitué des deux activités réglage et traitement ou des quatre événements début et fin de réglage, début et fin de traitement.

La description des processus est effectuée selon les méthodes liées à l'approche retenue (approche par événement ou par activités voir précédant).

Puis il ne reste plus qu'à préciser les interactions entre les différents processus en spécifiant par exemple la succession des processus pour les éléments mobiles de l'atelier.

L'exemple développé dans les paragraphes précédents peut être traité en créant les processus suivants:

- Création de lots. Ce processus est chargé de lancer périodiquement les lots.
- Recherche de la machine suivante.
- Attente et usinage.
- Relevé de statistiques lors de la sortie des lots.

La succession des processus apparaît sur la figure-6-.

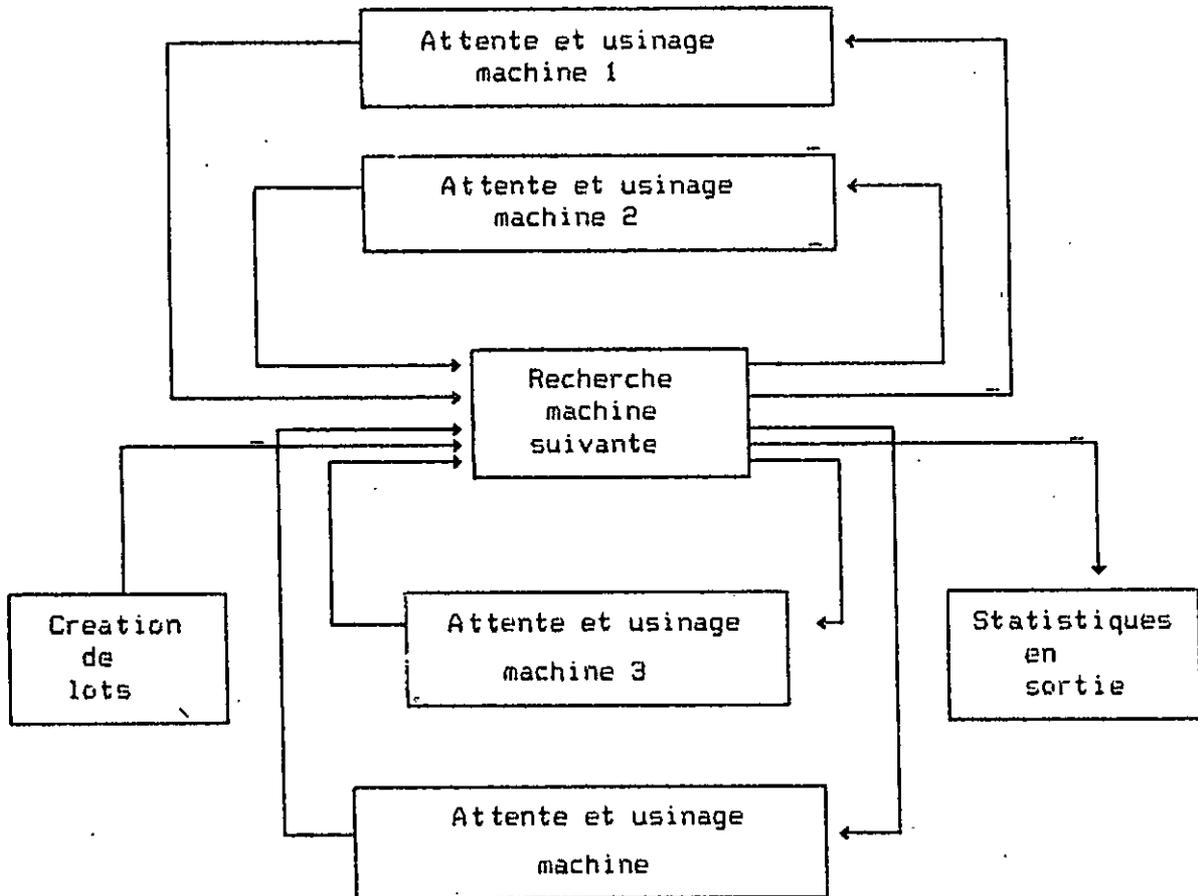


Fig-6-Approche par processus-exemple.

Cette approche a d'une part l'avantage de structurer l'analyse du système en ramenant l'étude à la spécification d'un ensemble de processus et à leurs interactions. Et d'autre part, permet de réutiliser des phases de travail effectuées lors d'études antérieures en ramenant l'étude en cours à un assemblage de processus .

L'approche par processus est très largement utilisée pour l'étude des systèmes de production.

VI-3-APPLICATIONS DE LA SIMULATION DANS LE DOMAINE DE LA PRODUCTION

Dans la pratique courante du génie industriel, le cycle conception-réalisation d'un projet ou d'une installation d'un système de production est en général intégré dans une démarche plus globale qui part de l'analyse des besoins et s'étend jusqu'à l'exploitation du système, ainsi que le montre la figure -7-[3]

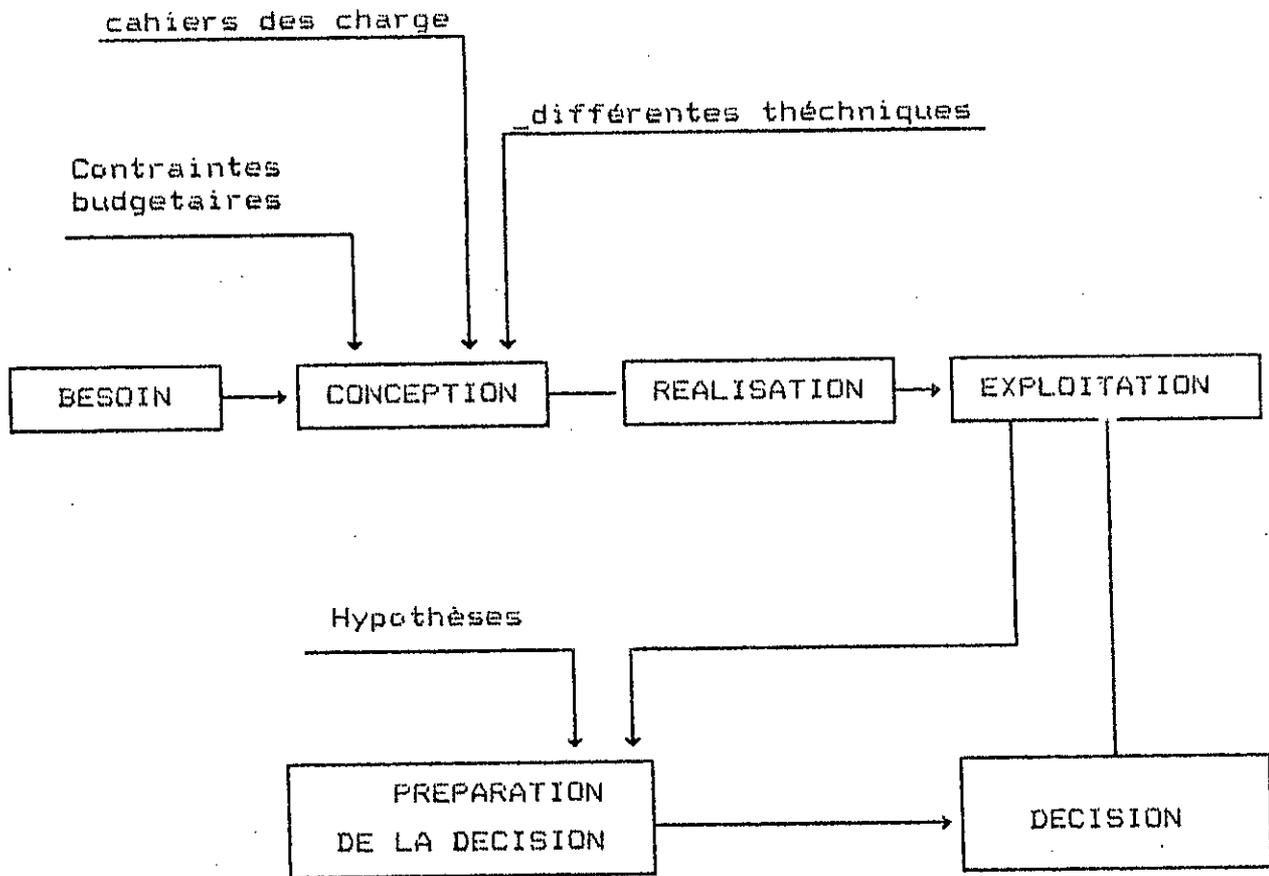


Figure-7- Cycle conception - réalisation d'un projet

Au cours de cette démarche, la simulation est susceptible d'apporter une aide considérable dans les phases de conception et de préparation de la décision. C'est ainsi que nous retenons deux types d'applications possibles qui sont:

- La simulation pour l'aide a la conception.
- La simulation pour la préparation de la décision.

Dans le premier cas, une fois les hypothèses posées et les parametre choisis, la simulation permet comme toute expérimentation sur le modèle, la représentation de l'état futur d'un système (situation globale ou détaillée). Les essais peuvent être entrepris pour connaître chaque configuration du système en fonction des paramètres choisis. L'ensemble des essais fournit ainsi des résultats comparatifs et aide l'utilisateur à comprendre la réponse du système.

Voici quelques exemples de paramètres qu'il est possible de prendre en compte lors de la conception d'un système de production:

- Nombre de poste de travail.
- Cadence de travail.
- Circuit des pièces.
- Limitation des zones de stockage.
- Règles de priorité
- etc...

Dans un second cas, la simulation permet principalement l'aide à la planification et à l'ordonnancement des fabrications. Elle est utilisée notamment pour:

- L'évaluation des charges de travail probables liées a un carnet de commandes prévisionnel.
- L'estimation des délais clients susceptibles d'être respectés.

-La planification des achats de composants et de la sous-traitance.

-La recherche des décisions à prendre en cas de perturbation.

V-4-Historique des langages de simulation [3]:

Un projet de simulation s'effectue en général:

-en analysant le système physique que l'on cherche à étudier.

-en construisant un modèle représentatif de celui-ci.

-en programmant puis en exploitant ce modèle.

Le développement de l'informatique a donné naissance à un certain nombre de langages de programmation spécialisés. Ainsi, depuis l'apparition en 1952 du langage DYNAMO, une vingtaine de langages ont été conçus et diffusés dans le monde. Les plus connus sont:

Simulateur	Auteur(s)	Date d'apparition	Pays d'origine
SIMSCRIPT (A simulation Programing Language)	KIVATE H.MAROVITZ B.HAUSNER	1963	USA
SIMULA (Simulation Language)	NYGARD et DAHL	1968	Norvège
GPSS Générale Purpose Systems Simulation	GORDON et EFRON	1968	USA
GASP	P.KIVAT	1974	USA
GASP/ECSL	Uni Birmingham	1980	GB
Q-GERT (Queuing-Graphical Evaluation and Review Technique).	A.PRISTER	1977	USA
SLAM (Simulation Alternative Modeling)	A.PRISTER	1979-1983	USA
Q-NAP	POTIER	1980-1983	FRANCE INRIA/CII
SIMAN	CD PEDGEN	1982	USA
MAP/1 (Manufacturing Problems)	A.PRISTKER	1983	USA

Figure- 8- Langages de simulation

V-5- Les limites de la simulation et des langages actuels:

Bien que les outils de simulation apportent des aides considérables, leur champ d'application est toujours limité du fait que leur maîtrise nécessite un investissement important en vue de leur utilisation. Ce problème a été fortement ressenti durant la dernière décennie (temps important pour leur maîtrise, connaissance profonde en matière d'informatique), même si les problèmes à résoudre étaient relativement simples. A partir des années 80, de nouveaux outils sont apparus avec des concepts de modélisation et de formulation plus simple capables de résoudre des problèmes avec des degrés de complexité plus important.

Malgré ces nouveaux apports, le problème "temps de maîtrise" reste toujours élevé. En outre, un nouveau problème apparaît, la nécessité d'obtention de résultats au moyen de la simulation en un délais très court (quelques semaines). Or la maîtrise d'un de ces outils, la formulation du problème et la modélisation du système exigent quelques mois.

VI-L'APPROCHE RETENUE

Le but de notre étude est de construire une image pour une part statique (éléments matériels de l'atelier) et d'autre part dynamique (lancement, ordonnancement) en vue d'évaluer les performances de l'atelier (étude de sensibilité au panne, charges machines...).

Pour cela nous avons opté pour:

VI-1-La simulation discrete:

les théories analytiques d'évaluation des systèmes production, bien qu'étant en progrès constant, ne permette pas une étude détaillée du fonctionnement de l'atelier. La simulation, approche empirique, prend alors toute son importance.

VI-Le langage SLAM:

- pour les possibilités qu'il offre de représenter et d'évaluer les systèmes de production.
- pour sa disponibilité.
- pour la disponibilité de la documentation.

Une description succincte du SLAM II sera donnée dans le chapitre suivant.

VI-3-Le cadre méthodologique de la simulation [1]:

L'outil simulation ayant été retenu , l'étude peut être décomposée en trois grandes étapes qui, elles-mêmes, peuvent se décomposer en un certain nombre de phases:

Etape 1:Analyse du problème

Cette étape, qui est parfois négligée et qui est pourtant sans doute la plus importante, permet de préciser le contexte dans lequel vont être effectuées les étapes suivantes:réalisée avec sérieux, elle évitera de se lancer inconsidérément dans n'importe quelle simulation.

Dans cette étape, il faut:

- Bien identifier le problème qu'on veut résoudre en spécifiant les objectifs qu'on se fixe et le contexte dans lequel on veut opérer.
- Effectuer une première modélisation de ce système qui permettra en particulier d'en préciser les frontières et spécifier les données dont on aura besoin.
- Valider cette étape auprès des responsables de l'atelier.

Etape 2: Construction de la simulation.

Cette étape technique est de plus en plus facilitée par le développement des outils informatiques. Elle comprend la modélisation logico-mathématique puis peut être aidée par un support graphique et la programmation proprement dite. A ce stade-là, les valeurs numériques de la plupart des paramètres sont précisées.

Cette étape, comme les autres, doit terminer par une validation qui consistera en des tests comparatifs dans le cas où le système étudié existe (notre cas) par contre, si ce dernier n'existe pas encore, il faudra faire porter un jugement par des experts. Des techniques de "TRACE" informatique (suivi de tous les événements) pourront également apporter une aide précieuse pour la validation du modèle, de même que la visualisation dynamique graphique (animation) d'un synoptique correspondant au modèle.

Etape 3: Exploitation de la simulation

Quand la simulation est validée, elle peut servir de banc d'essais et permettre l'évaluation du comportement dynamique. Son utilisation demande, bien sûr, la définition des entrées et sorties.

Pour minimiser ou tout au moins économiser le temps machine et pour faciliter l'exploitation des résultats, il est important de bien définir la campagne d'exploitation c'est à dire de bien sélectionner les essais à effectuer et d'utiliser une mise en forme adéquate des résultats en fonction des objectifs fixés dans l'analyse du problème.

Toutes ces étapes et phases sont résumées sur la figure.9.

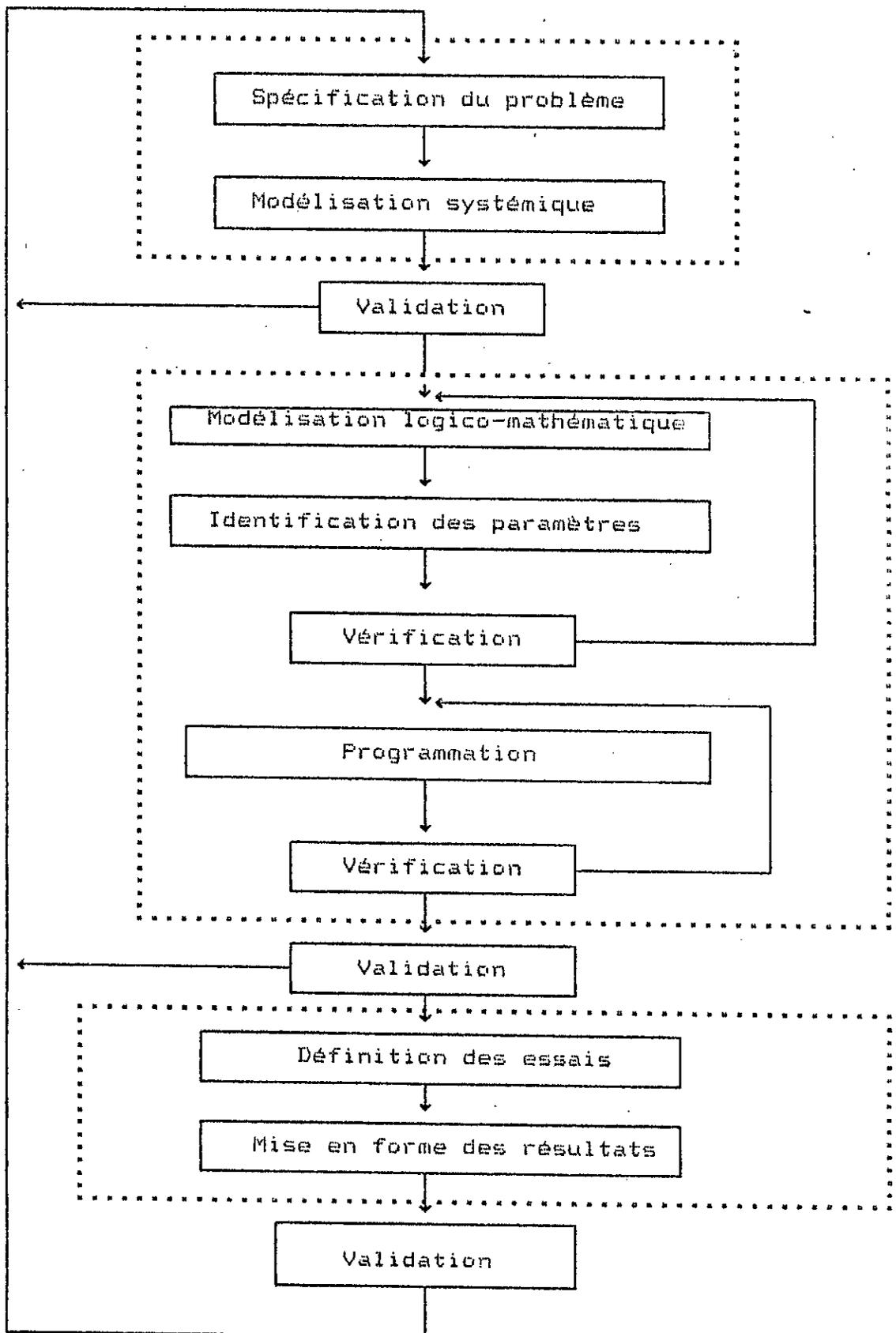


Figure-9- Etapes d'une simulation

CHAPITRE III : MODELISATION DE L'ATELIER

I-INTRODUCTION

Un système de production comporte un grand nombre d'étapes qui, individuellement ou collectivement, affectent la productivité de tout système. Il doit débiter avec la définition du cahier de charges, les spécifications de la pièce et conduire jusqu'à l'expédition du produit fini, en passant par le dessin des plans, l'élaboration de la gamme d'usinage, la fabrication, le contrôle et l'organisation de vente.

Le schéma simplifié de la figure 10 situe ces différentes étapes dans le système de production.

Dans ce schéma, l'étape de fabrication a une importance particulière. Elle possède un grand nombre d'interactions avec les autres éléments du système.

Cette étape est celle sur laquelle nous allons nous pencher, car c'est celle qui se prête le plus à une amélioration des performances en matière de productivité.

L'objectif de ce chapitre est de partir d'un modèle grossier de l'atelier ensuite l'améliorer et le perfectionner après. Pour cela nous allons considérer l'atelier comme un système intégrant plusieurs éléments physiques (pièces, machines, stocks,...). Les interactions entre ces éléments peuvent être modélisés à l'aide de relations (chapitre II)

Nous allons d'une part dresser une liste d'éléments et de relations jugés nécessaires pour la modélisation du système atelier et d'autre part préciser les attributs les caractérisant

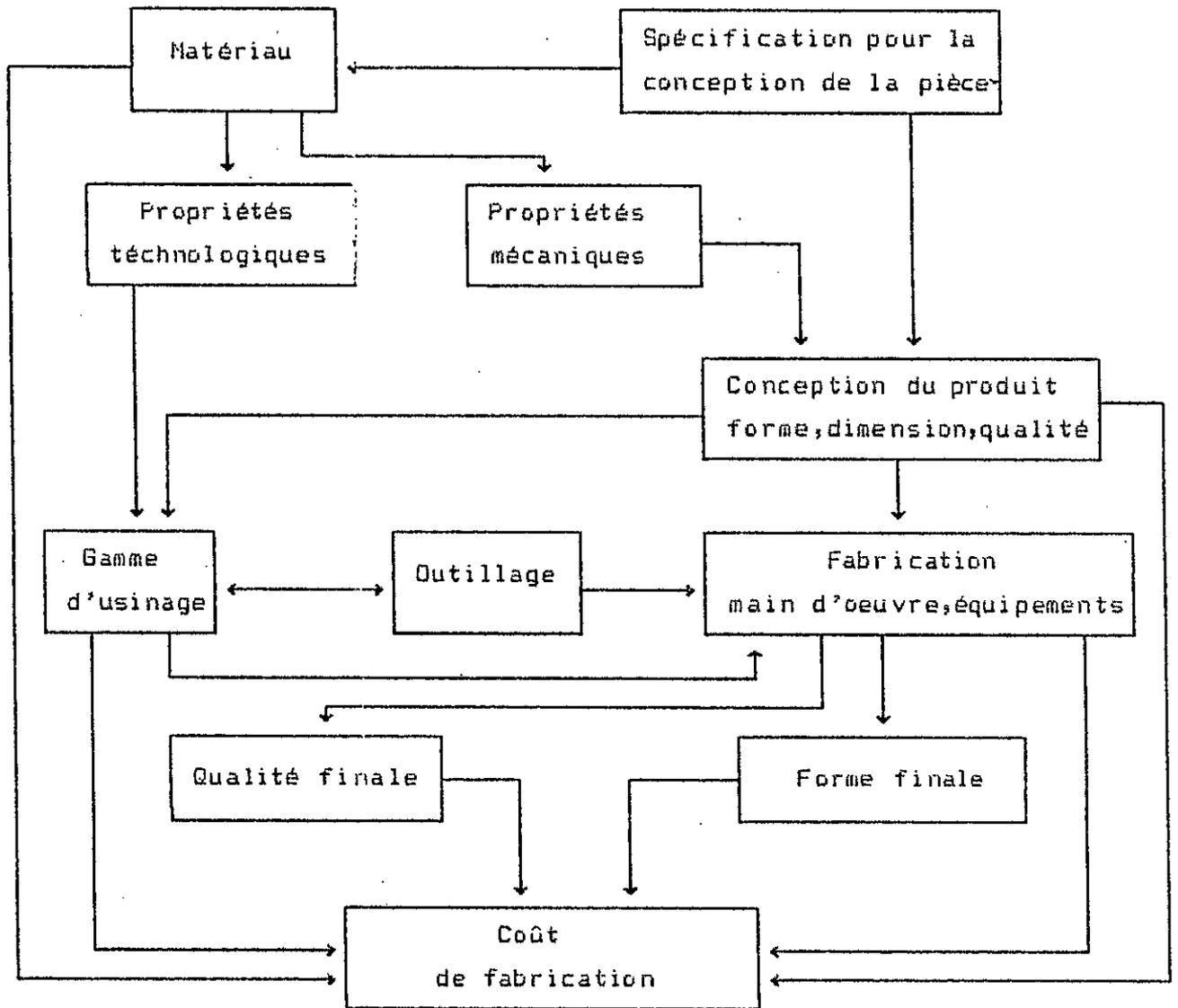


FIG-10-Système de production

II- LE RESEAU DE FABRICATION DE L'ATELIER⁰

Le réseau de fabrication de l'atelier peut être défini comme la combinaison d'éléments nécessaires à la description de l'usinage des lots de pièces. Ces éléments spécifient les ressources nécessaires à l'usinage et les relations liant ces ressources aux différents types de pièces.

NB-Le terme usinage doit être pris au sens large(lavage, contrôle, traitement par lot...).

II-1 La station:

Une station est un regroupement dans l'espace d'un ou de plusieurs serveurs(machines ou poste manuel de travail). Chaque serveur(machine) possède un stock amont qui est une file d'attente dans laquelle attendent les lots de pièces avant d'être usinés. Les lots de pièces après usinage sont placés dans un stock aval.

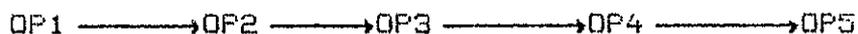
II-2 La gamme d'usinage:

Pour chaque type de pièces, il existe un document(établi par le service méthodes) qui définit l'ensemble des suites d'opérations nécessaires à leur réalisation appelé GAMME D'USINAGE. Ce document comporte les informations suivantes:

-le nom de la gamme(c'est en fait le nom du type de pièces)

-la liste de noms d'opérations

Exemple : soit pour un type de pièces donné le graphe des opérations suivant:



les noeuds représentent les opérations, les arcs reliant les noeuds sont des contraintes de précédence. La gamme s'écrit :

OP1,OP2,OP3,OP4,OP5.

II-3 L'opération:

A chaque fois qu'un lot de pièces arrive dans une station, il est mis en attente en vue de subir une opération sur une machine. Toutes les opérations que peut subir un lot de pièces ainsi que les ressources nécessaires sont spécifiés par la gamme d'usinage.

Chaque opération est caractérisée par:

- un nom(désignation de l'opération) et un numéro
- le nom de la machine sur laquelle s'effectue l'opération

Nous avons distingué un seul type d'opérations dans l'atelier:

-La fabrication(l'usinage): c'est une transformation n'entraînant pas un changement de nom de la pièce. La pièce sort simplement de la machine dans un état de finition supérieur.

PIECE A \longrightarrow PIECE A

Nous avons introduit la notion de types d'opération pour distinguer la fabrication de l'assemblage(permet d'obtenir une pièce à partir de plusieurs pièces) et de la production(génère plusieurs types de pièces différents à partir d'une pièce).

Nous avons considéré qu'une opération pouvait être décomposée en une phase de réglage nécessaire lorsqu'il y a changement d'opération sur la machine utilisée et une phase d'usinage.

L'opération est une relation très importante car elle spécifie l'interaction entre les pièces et les machines.

II-4 La manutention:

L'implantation des machines dans l'atelier est telle que les durées de transport(quelques minutes) des lots de pièces entre les différents postes de travail sont négligeables devant les durées opératoires(des jours).

Ainsi, le transport peut être modélisé par une simple consommation de temps

III- COMPOSANTES DU MODELE DU SYSTEME ATELIER

L'atelier taillage droit et spiro-conique est un système du type "JOB-SHOP", c'est à dire un système dans lequel l'ordre de passage des pièces sur les machines est imposé par les gammes mais peut différer selon les pièces. Composé de 27 machines et de deux postes manuels (contrôle, ébavurage), il doit assurer la fabrication de 160 types de pièces.

Nous donnons dans ce paragraphe Les différentes objets "entités" intervenant dans le modèle du système atelier.

III-1-les machines:

les 27 machines présentes dans l'atelier sont regroupées en 16 types différents les caractéristiques sont les suivantes:

- un nom (étiquette alphanumérique)
- un stock amont (infini)
- un stock aval (infini)
- une loi des temps de bon fonctionnement (loi aléatoire)
- une loi des durée de la panne (loi aléatoire)
- un temps de réglage

III-2 les pièces :

Pour la construction de notre modèle, nous avons considéré 16 type de pièces parmi les 160 types fabriquées par l'atelier

III-2-1 Sélection des pièces:

pour sélectionner ces 16 pièces nous sommes passés par deux étapes:

a-Etape 1:

Dans cette étape, nous avons procédé par une analyse ABC afin de déterminer les pièces qui occupent le plus l'atelier (à gros volume de production). Cette analyse a montré que 40 pièces occupent plus de 80% du temps totale de l'atelier (les 40 sont données en Annexe 2).

b-Etape 2:

Nous avons lancé une étude détaillée des gammes de l'ensemble des 40 pièces. Cette étude a montré que des regroupements de pièces sont possibles selon les critères suivants:

- les pièces passent par les mêmes machines
- l'ordre de passage sur les machines est le même
- les temps opératoires sont proches

Le regroupement étant fait , nous aboutissons à un échantillon formé de 16 pièces.

III-2-2- Caractéristiques des pièces:

Le lancement en fabrication dans l'atelier se fait par lot. Chaque lot est caractérisé par:

- la taille(nombre de pièce dans le lot)
- le type
- la classe(nombre de fois qu'il est lancé dans l'année)
- la gamme d'usinage
- une quantité annuelle à fabriquer

III-3 Les règles de conduite :

a-le lancement :

le lancement de la production est planifié, il se fait périodiquement selon un programme communiqué par la direction.

b-l'ordonnement:

Une fois le programme de production établi c'est à dire que les tâches sont réparties dans le temps par les secteurs lancement et ordonnancement règle de gestion des files d'attente devant les machines est FIFO

IV-PRINCIPE DE MODELISATION

La production de chaque type de pièces nécessite une phase de réglage des machines puis une phase d'usinage. le processus associé est alors:

- Création(lancement) des pièces
- Recherche de la machine suivante (specifié par la gamme)
- Attente et usinage
- Relevé des statistiques lors de la sortie des pièces

Nous pouvons schématiser ce processus dans la figure suivante[2]

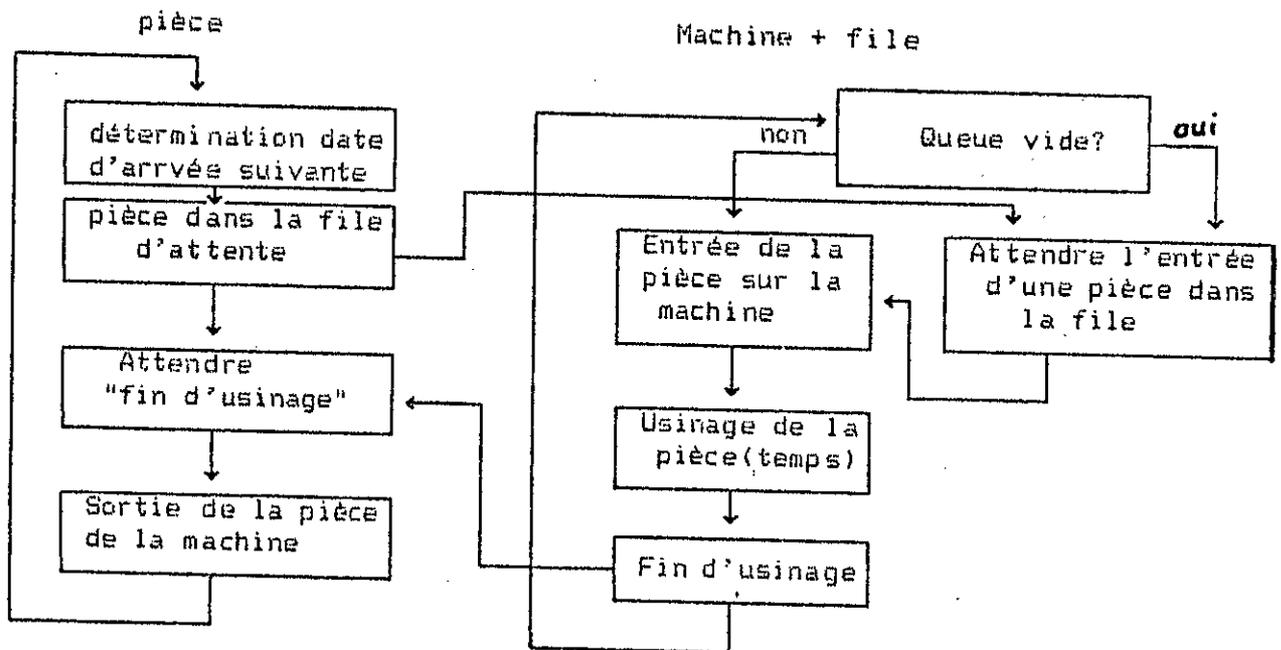


fig-11-processus machine + file d'attente
-pièce

La description du fonctionnement complet de l'atelier se fait en spécifiant les interactions entre les processus. La modélisation se fera donc en décrivant le déplacement des pièces à travers les différents processus correspondants aux machines.

SLAM est parmi les langages qui font appel à ce type de modélisation. Les processus et leurs logique de changement d'état sont prédéfinis et déjà programmés ce qui décharge l'utilisateur de cette tâche. On a ainsi des processus "station de service + file d'attente", des processus "demande" et "attente de ressource" des processus "d'arrivée de pièce".

La description du fonctionnement de l'atelier se fera donc en connectant les primitives standards de SLAM.

V- DESCRIPTION DE SLAM II

V-1 Généralités [4]:

SLAM (Simulation Language for Alternate Modeling) est un logiciel de simulation à événements discrets, qui a été développé initialement à l'université de PURDUE (USA). SLAM a été conçu à partir des concepts de GASP IV et a bénéficié de l'expérience de Q-GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), qui fut le premier logiciel de simulation diffusé par la société PRISTKER and associates, créée pour poursuivre les travaux initialisés à PURDUE, diffuser et maintenir les logiciels.

V-2 Caractéristiques

V-2-1 Propriétés générales:

Le SLAM est un langage de simulation orienté PROCESSUS, c'est à dire que les primitives de modélisation permettent de s'affranchir de la programmation d'événements non significatifs du point de vue du processus représenté. Par exemple quand on introduit une FILE D'ATTENTE dans un modèle, il suffit de la déclarer et de préciser ses propriétés (règle de gestion, capacité...); par contre, il n'est pas nécessaire de se préoccuper des événements élémentaires du PROCESSUS DE FILE D'ATTENTE (entrées et sorties d'entités).

Le simulateur SLAM offre à l'utilisateur un LANGAGE GRAPHIQUE pour la représentation des processus dont on cherche à simuler le fonctionnement. Le modèle complet d'une application peut donc être représenté par un réseau SLAM, dont les noeuds ou les arcs sont des primitives du langage.

L'intérêt évident de la représentation graphique est le support visuel qu'elle offre pour l'analyse et la validation des modèles.

Les primitives graphiques de SLAM sont suffisamment nombreuses et riches pour modéliser la majorité des systèmes industriels rencontrés. Cependant, dans certains cas, l'explication graphique de certains processus (gestion en particulier) conduit à une complication extrême du réseau qui perd beaucoup en lisibilité. Dans ce cas, la possibilité est laissée à l'utilisateur de créer des fonctions spécifiques, qu'il programme lui-même en FORTRAN et qu'il peut intégrer dans le réseau sans avoir à se préoccuper de leurs interactions avec le modèle SLAM.

V-2-2 Les primitives du langage SLAM [4]:

Un modèle SLAM est un réseau dans lequel circulent des entités.

-LES ENTITES: sont des objets qui vont être transformés au cours du fonctionnement (pièces, informations...)

-LES NOEUDS: sont des points de décisions où est défini le routage des entités (accumulation, aiguillage, allocation de ressources...)

-LES ARCS: définissent sur le réseau les chemins possibles pour les entités et permettent de fixer des temps de transit.

Pour construire notre modèle, nous avons utilisé les primitives suivantes:

- L'ACTIVITE (ACTIVITY) : arc joignant 2 noeuds du réseau; la liaison peut être déterministe, probabiliste ou conditionnelle.

-LE NOEUD CREATE: permet l'affectation de valeurs aux attributs que peuvent porter les entités.

-LE NOEUD ASSIGN: permet l'affectation de valeurs aux attributs que peuvent porter les entités.

- LE NOEUD QUEUE: file d'attente permettant l'accumulation et la gestion d'entités immobilisées.

-LE NOEUD GOON: permet le routage des entités.

-LE NOEUD AWAIT: permet l'allocation de ressources aux entités qui le traversent et l'accumulation des entités attendant la ressource.

-LE NOEUD FREE : qui permet la libération d'une ressource qui vient d'être utilisée.

-LE NOEUD COLLECT : définit les statistiques à établir, autre que celles prévues dans l'édition standard.

VI- DESCRIPTION ET LOGIQUE DE CHANGEMENT D'ETAT DU MODELE

VI-1 Injection des lots de pièces dans le modèle

L'injection dans le modèle des entités correspondant aux lots de pièces, se fait par l'intermédiaire du noeud CREATE. L'intervalle T de temps séparant deux entités consécutives est donné par la formule suivante [8]

$$T = N * Top + Tr$$

où :

N : taille du lot de pièces

Top : le temps d'usinage d'une seule pièce

Tr : temps de réglage de la machine associée à l'usinage

L'identité du lot est précisée dans le noeud d'affectation (ASSIGN). Le type du lot représenté par l'entité est enregistré dans l'attribut numéro 1 de l'entité. Cet attribut sera accessible partout, dans le modèle.

VI-2 Modélisation des activités des machines sur les lots de pièces

Suivant le type de lots considéré, toutes les entités injectées sont dirigées vers le noeud AWAIT, spécifique à chaque machine, dans le rôle est d'affecter (suivant la règle de gestion retenue) à l'entité qui se présente une ressource (machine) disponible. Dans le cas où la machine est déjà mobilisée, les autres entités qui se présentent s'accumulent dans la file d'attente (illimitée) associée implicitement à chaque noeud AWAIT

La formulation en langage SLAM se fait comme suit:

AWAIT(numéro file),MACHINE/NOMBRE;

ACT, Temps d'usinage du lot, type du lot, prochaine opération;

La fin de l'activité sera modélisée par une libération de la ressource terminant son usinage:

FREE,MACHINE/NOMBRE;

VII RAFFINEMENT DU MODELE

Dans cette phase, nous allons procéder à un enrichissement du modèle par l'introduction, des phénomènes de panne et l'équilibrage des files d'attente devant les machines identiques

VII-1 Prise en compte des pannes machines

Chaque machine a été modélisée par une ressource dans le modèle SLAM, chaque ressource fait l'objet d'une déclaration RES où est précisé le nombre de ressources de ce type disponible dans le modèle.

Le noeud ALTER permet, en cours de simulation de modifier la déclaration initiale du nombre de ressources.

Chaque machine est une ressource qui disparaît quand une panne intervient.

La boucle ci-dessus, associée à chaque machine du modèle, permet une représentation du cycle de fonctionnement perturbé des machines.

-Une entité est injectée dans la boucle en début de simulation par le biais du noeud CREATE.

-La traversée du noeud ALTER, qui interviendra au bout d'un temps égale à la durée de bon fonctionnement (loi aléatoire), provoque la "disparition" (panne) de la machine.

-La ressource sera restituée (mise en marche) au bout d'un temps égale à la durée de la panne (loi aléatoire)

-etc

VII-2 Equilibrage des files d'attente devant les machines identiques

Les lots de pièces arrivant devant des machines identiques ont le choix d'être usinés sur l'une des machines. Une première modélisation consistait à déclarer dans le modèle une seule fois les machines identiques en précisant le nombre.

Mais après exécution du programme, nous avons constaté que cette formulation ne pouvait pas nous renseigner sur le taux d'occupation de chaque machine. Outre les files d'attente devant ces machines qui ne sont pas équilibrées.

La nouvelle modélisation consiste alors à déclarer chaque machine comme ressource unique. Le routage des lots de pièces, se fera alors de telle façon que, les files d'attente devant les machines identiques soient équilibrées.

A titre d'illustration on prendra l'exemple de deux machines M1 et M2 identiques:

Le lot de pièces passera par le noeud GOON qui permet le routage des entités, ainsi il sera usiné sur M1 si la file de M1 est inférieure à celle de M2, sinon il sera usiné sur M2. Cela se traduit en langage SLAM par:

Soient $NNQ(1)$, $NNQ(2)$ respectivement les files des machines M1 et M2:

```
GOON,1;  
ACT,, $NNQ(1)$ .LE. $NNQ(2)$ ,M1;  
ACT,, $NNQ(2)$ .LE. $NNQ(1)$ ,M2;
```

VII-3 Etablissement des statistiques

En plus des statistiques fournies par l'édition standard de SLAM II (charge machines, caractéristiques des files...) des statistiques concernant les temps moyens de séjours dans l'atelier des différents lots de pièces, les cadences de production de chaque lot ainsi que les temps et nombre de panne de chaque machine sont collectées par le biais du noeud COLECT

VIII- TRANSCRIPTION INFORMATIQUE DU MODELE

Cette phase de la modélisation consiste à représenter le comportement dynamique du système physique de l'atelier en le formalisant dans le cadre de l'outil informatique SLAM II. Il s'agit d'écrire la suite d'instructions informatiques traduisant le modèle du système atelier

Une modélisation graphique des primitives de SLAM II permet de construire une sorte d'organigramme qui servirait de base pour l'écriture du programme informatique. La durée que peut exiger cette étape est intimement liée au temps d'apprentissage du langage qui est de l'ordre de deux mois/homme. Dans notre cas nous étions quatre à travailler avec le même outil de simulation, chose qui nous a facilité la tâche.

CHAPITRE IV : COLLECTE ET AJUSTEMENT DES DONNEES

I-INTRODUCTION:

Les données constituent une description et une spécification de la dynamique de l'atelier et sont utilisées pour créer le modèle de simulation. La simulation elle-même a pour objet d'animer le modèle, d'observer le comportement des variables d'état de l'animation du modèle ainsi créé et de calculer, en fin d'animation, les caractéristiques dynamiques résultant des données.

Il faut noter que, pour des études [1] de cas industriels courants, il n'est pas rare que l'étape de collecte et de traitement de données représente 30% à 50%, voir même 80% du temps total de l'étude de modélisation de l'atelier. La phase de collecte de données mérite, ainsi, qu'on y consacre le temps nécessaire, car de sa bonne réalisation va dépendre en très grande partie la représentativité des résultats obtenus.

Dans ce chapitre, nous allons donner la liste des données collectées et nous développerons la procédure d'ajustement pour les données de fiabilité des machines.

II- COLLECTE DES DONNEES

II-1 Données sur les pièces à fabriquer:

Les données concernant les 16 pièces retenues pour la construction de notre modèle, ont été collecté auprès du service "METHODES" du centre mécanique en collaboration avec le chef de l'atelier. Pour chaque type de pièces nous avons collecté, la taille du lot à fabriquer, la classe qui est le nombre de fois qu'un lot de pièce est lancé en fabrication dans l'année et la gamme d'usinage qui spécifie la succession des opérations.

Toutes les données sont résumés dans le tableau suivant:

Type	Classe	Taille du lot	Gamme d'usinage
P1	5	350	M9 M6 M12 M21 M20 M22
P2	5	350	M2 M10 M3 M4 M11 M12 M21 M20 M22
P3	5	300	M2 M7 M9 M21 M20 M22
P4	5	270	M2 M9 M10 M11 M3 M1 M12 M21 M20 M22
P5	12	150	M6 M4 M12 M21 M20 M22
P6	12	260	M6 M12 M21 M20 M22
P7	12	160	M9 M6 M12 M21 M20 M22
P8	15	300	M8 M11 M21 M20 M22
P9	15	300	M10 M11 M21 M20 M22
P10	15	350	M8 M6 M11 M4 M12 M21 M20 M22
P11	15	350	M8 M6 M11 M5 M3 M12 M21 M20 M22
P12	20	2500	M14 M13 M21 M20 M22
P13	37	600	M4 M14 M13 M21 M20 M22
P14	26	220	M15 M17 M19 M23 M21 M20 M22
P15	26	250	M2 M16 M17 M23 M21 M20 M22
P16	5	300	M2 M7 M1 M21 M20 M22

Tableau -1-: caractéristiques des lots de pièces

II- 2 Données sur les moyens de production:

les 27 machines existantes dans l'atelier constituent 16 types .Chaque type est destiné à réaliser un ensemble d'opérations bien déterminé.

En ce qui concerne les machines nous avons collecté outre le nombre de chaque type, les temps de réglage nécessaire pour le changement d'une opération, les temps de bon fonctionnement et les durées de pannes (temps de réparation).

Toutes ces données sont résumées dans le tableau suivant:

Machines	nombres	Tr (h)	TBF (h)	Durée de la panne (h)
M1	1	2	expon(991.42)	10 + expon(5.78)
M2	1	1.5	expon(212.19)	12 + expon(9.37)
M3	1	2	expon(991.42)	10 + expon(5.78)
M4	1	1	expon(991.42)	10 + expon(5.78)
M5	1	1	expon(991.42)	10 + expon(5.78)
M6	3	2	expon(279.92)	8 + expon(10.32)
M7	1	2	expon(178.7)	8 + expon(9.97)
M8	3	2	expon(518.86)	5 + expon(9.6)
M9	1	2.5	expon(498.09)	8 + expon(5.32)
M10	1	2.5	expon(680.62)	8 + expon(5.71)
M11	1	1.5	expon(504)	10 + expon(8.44)
M12	2	1.5	expon(206.3)	6 + expon(10.3)
M13	2	5	expon(831.86)	6 + expon(9.19)
M14	2	3	expon(177.22)	6 + expon(8.98)
M15	1	1	expon(1039.65)	20 + expon(6.29)
M16	1	2	expon(1968.91)	10 + expon(8.49)
M19	1	2.5	expon(492.44)	10 + expon(4.72)
M20	1	-	expon(816.8)	24 + expon(7.7)

Tableau -2 Caractéristiques des machines

Remarque:

Pour les machines M6 M8 M12 M14 M13 on trouvera plus tard des notations telles que M6A M6B M6C M12A M14A ...

Par exemple pour la machine M6 on trouvera M6A M6B M6C cela signifie qu'il existe 3 machines du type M6 identiques et de même pour les autres machines.

La collecte des données de fiabilité et de disponibilité des moyens de production a été effectuée auprès du service **MAINTENANCE CENTRALE**. Les données recueillies concernent les temps de bon fonctionnement et les durées de pannes et cela pour une période qui s'étale sur quatre années (1987-1991).

Dans le modèle, l'occurrence des pannes machines sera représentée par un processus aléatoire. Ainsi, chaque machine sera caractérisée par deux distributions de probabilité:

- .la répartition en fréquence des durées de fonctionnement consécutifs sans panne.

- .la répartition en fréquence des durées de panne

En ce qui concerne les durées de pannes nous les avons expliqués par :

- une partie constante (déterministe) qui représente les attentes diverses causées par la mauvaise organisation des interventions et des longues procédures administratives en cas de commande des pièces de rechange. Nous avons considéré une moyenne calculée à partir des données collectées.

- une partie aléatoire qui représente le temps effectif nécessaire pour la réparation de la machine.

II-3- AJUSTEMENT DES DONNEES:

L'ajustement des séries de valeurs des durées d'intervention et de bon fonctionnement par des lois types ayant des propriétés analytiques spécifiques est une modélisation qui permet ainsi de condenser l'information en remplaçant ces séries de valeurs par une formule facile à utiliser et à comprendre.

Les distributions théoriques servent en quelques sorte d'étalon [11] pour les distributions expérimentales. Et le problème délicat qui se pose est celui de la qualité de cet "étalonnage":

il faut tester la validité de l'ajustement de la distribution observée à la distribution théorique.

Ce test consiste essentiellement, d'abord, à définir une mesure de la distance entre distribution observée et distribution théorique et ensuite à apprécier si la distance calculée est seulement le fait du hasard ou si elle provient au contraire d'une adéquation de la distribution théorique retenue.

la distance utilisée est celle du chi-carré et par conséquent le test d'ajustement celui du chi-carré.

Nous avons fait recours à un logiciel UNIFIT:

UNIFIT est un logiciel qui permet d'adapter un échantillon de données qu'on a collecté, à une distribution de probabilité théorique. Son avantage est qu'il permet de trouver la meilleure représentation qui s'adapte à un cas et ceci en peu de temps.

On se contente souvent de prendre une distribution bien connue sans être certain qu'elle s'adapte réellement au cas, ou on ne prend aucune distribution.

Nous vous présenterons dans ce qui suit un exemple d'ajustement d'un échantillon. La méthode restera valable pour tout les autres échantillons.

Exemple d'application:

Soit une distribution observée des durée de d'intervention la machine M7

caractéristiques de l'échantillon observée:

nombre d'observations: 70

nombre de classes: 8

amplitude des classes: 9

moyenne: 10.9571

variance: 183.085

NB-Le nombre de classes est calculé par la formule de STURGE:

$$K=1 + 10/3 \times \log_{10} n$$

n:taille de l'échantillon.

Pour ce cas,comme d'ailleurs pour tout les autres échantillons à considérer,la loi théorique qui semble pouvoir approchée cet échantillons est la loi exponentielle. Les lois théoriques autre que la loi exponentielle ne concordaient pas avec l'allure de notre échantillon et les tests effectués étaient négatifs.

Par le biais d'UNIFIT,on obtient la loi exponentielle de moyenne 9.97207.qui approche bien la distribution observée.

On formule l'hypothèse suivante:

H_0 :l'échantillon considère suit une loi exponentielle de moyenne 9.97207

Il s'agit de déterminer si cette hypothèse peut être considérée comme acceptable ou non.

Pour ce faire,on mesure la distance entre la distribution observée et la distribution théorique que l'on obtient par ajustement à la distribution observée de la loi exponentielle à tester.

La mesure de la distance d entre les effectifs observés et les effectifs théoriques est celle du chi-deux :

$$d = \sum_i^r \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i}$$

n : effectifs observés

N_i : effectifs de la classe i

np_i : effectifs théoriques

d est la valeur observée sur l'échantillon de la variable aléatoire D (autant de classes, autant de valeurs d possibles). L'indicateur d'écart étant défini, la distance D

suit alors, du seul fait des fluctuations aléatoires, la loi du chi-carré à $\nu = k - r - 1 = 8 - 1 - 1 = 6$

k = nombre de classes de modalités de la variable durée d'intervention : il convient, le cas échéant, de faire des regroupements de classe pour que les effectifs théoriques de chaque classe soient au moins égaux à 5, de façon à remplir les conditions de convergence.

r = nombre de paramètres à estimer à partir des observations, dans le cas d'une loi exponentielle, il y a un seul paramètre à estimer qui est la moyenne.

Ainsi, on a les mesures de la distance d pour les différentes classes :

Intervalle	Fréquence Calculé	Fréquence Théorique	
[1 , 10[	6.57143E-1	5.95060E-1	
[10 , 19[	1.57143E-1	2.40718E-1	
[19 , 28[	1.00000E-1	9.76222E-2	
[28 , 37[	1.42857E-2	3.95904E-2	X
[37 , 46[	1.42857E-2	1.60556E-2	X
[46 , 55[	2.85714E-2	6.51133E-3	X
[55 , 64[	1.42857E-2	2.64066E-3	X
[64 , ∞ [	1.42857E-2	1.80149E-3	X

la croix signifie que le nombre d'effectifs théoriques de la classe correspondante est inférieur à 5. Un regroupement de classes donne les résultats suivants:

Intervalle	Fréquence calculé	Fréquence théorique
[0 , 10[	6.57143E-1	5.95060E-1
[10 , 19[	1.57143E-1	2.40718E-1
[19 , 28[	1.00000E-1	9.76222E-2
[28 , ∞ [	8.57143E-2	6.65995E-2

Les résultats du test sont:

pour $d = 2.87$

pour $\nu = 4 - 1 - 1 = 2$

Il ya deux façons de raisonner pour éclairer la decision à prendre:

1-Dans la table du χ^2 , pour $\nu=2$, la probabilité d'avoir $\chi^2=2.87$ est comprise entre 40% et 50% La distance d a donc plus de 40% de chances d'être dépassée du seul fait des fluctuations aleatoires. l'hypothèse formulée est acceptée .

2- En prenant un seuil de signification $\alpha=5\%$ on lit sur la table : $\chi^2_{\text{CRITIQUE}, \alpha=0.05} = 5.99$
comme $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{critique}}$, l'hypothèse formulée est acceptée.

Ceci s'explique par le fait que le chi-deux critique subdivise les valeurs possibles de d en deux catégorie:

-celles inferieures au chi-deux critique ,qui ont 95 pour cent de chances de se realiser si H_0 est exacte. Et c'est le cas dans notre exemple.

-celles superieures au chi-deux critique qui n'ont que 5 pour cent de se realiser lorsque H_0 est exacte.

Les résultats des ajustements sont représentés en annexe 8 par des courbes cumulatives de comparaison entre théoriques et observées.

II-4-DONNEES SUR LES STOCKS:

L'atelier ne connait pas de problèmes de stockage. Les pièces de volumes réduits ne demandent pas une surface importante pour le stockage. Elle sont transportées dans des cuves qui, empilées les une sur les autres, permettent un gain important en surface de stockage que se soit a l'entrée de l'atelier, lors de l'attente devant les machines ou lorsqu'elles sont en attente d'une livraison.

Ainsi, dans le modèle, les capacités des surfaces de stockage seront infini.

II-5-DONNEES SUR LE PERSONNEL:

Chaque machine nécessite un seul opérateur qui travail huit heure par jour.L'atelier fonctionne 16 heures par jours soit en deux équipes.

le nombre de jours ouvrables pour l'année 1991 est de 232 jours ce qui donne un potentiel horaire de 3712.

CHAPITRE V : VALIDATION DU MODELE .PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

I- VALIDATION ET VERIFICATION DU MODELE

I-1 La Vérification du modèle:

Il s'agit de l'exécution du programme pour vérifier son fonctionnement, c'est à dire qu'il fonctionne bien tel que l'on pense.

Pour notre cas nous sommes passés par deux étapes:

Etape1: Le modèle syntaxique au point, la première chose à faire est alors de simuler le système en ne faisant circuler que quelques entités, en suivant leur cheminement par l'option TRACE offerte par le simulateur SLAM II de façon à vérifier que les séquences de processus sont bien conformes à celles prévues. On augmente petit à petit le débit d'entité jusqu'à arriver au fonctionnement nominale de l'atelier. Cette technique a été très efficace et nous a permis de détecter toutes les erreurs que comportait notre modèle et les rectifier.

Etape2: Le modèle est validé auprès des responsables de l'atelier, après divers entretiens qui nous ont permis d'apporter des corrections. Il faut signaler que le stage passé au CVI et les déplacements effectués le long de l'année sur le site, nous ont permis d'acquérir un certain langage technique et de constituer notre propre base de connaissance de l'atelier, ce qui nous a été d'un grand apport par la suite.

Les taux d'immobilisation des machines représentent un indice de performance très significatif dans l'évaluation des performances de l'atelier. Une fois que nous disposons d'assez de données réelles sur les immobilisations, cela va nous permettre de tester la validité de notre modèle en comparant les résultats simulés à ceux de la réalité.

b-Validation par les taux d'immobilisation:

Ainsi, on simule une année soit 372 heures et on commencera à collecter les statistiques après une période de temps égale à 700 heures et qui correspondra au régime transitoire.

Dans le cas de la mécanique générale, il faut simuler une période relativement longue - au moins un an - mais il est nécessaire de laisser tourner le programme au préalable pendant un certain temps de façon à corriger les erreurs éventuelles d'une part, de façon à partir d'une situation stabilisée, d'autre part. Si la simulation est faite sur un an, une période simulée de quarante jours environ permettra en général d'arriver à une stabilisation. Ensuite on arrêtera le programme tout en conservant les pièces dans leur position, puis on le redémarrera pour la simulation sur l'année sur la base des conditions initiales ainsi créées.

a-Régime transitoire [10]:

La validation du modèle est une étape très importante dans le processus de simulation. Elle consiste à déterminer si ce dernier est une représentation fidèle du système réel.

I-2 La validation du modèle:

Pour cela, nous avons effectué 10 simulations avec les 10 générateurs indépendants de nombres aléatoires offerts par SLAM. Les résultats obtenus pour les variables taux d'immobilisation de chaque ressource sont représentés par des intervalles de confiance qui permettront de juger leur qualité.

1-Intervalles de confiance:

L'intervalle tel que la probabilité, pour que la limite de l'estimateur convergent se trouve à l'intérieur de cet intervalle, soit supérieur à une quantité donnée qui caractérise le degré de confiance qu'on se fixe est appelé intervalle de confiance.

Ainsi, déterminer un intervalle de confiance de 95% pour la variable taux moyen d'immobilisation relative à chaque ressource signifie trouver X_1 et X_2 tels que:

$$P(X_1 \leq \text{Taux moyen d'immobilisation} \leq X_2) \leq 0.95$$

Les variables taux moyen d'immobilisation sont indépendantes du fait que les générateurs de nombres aléatoires utilisées sont indépendants. L'estimation de la moyenne suit, alors, une loi normale (théorème central limit).

Soit:

\bar{X} : moyenne des 10 simulations pour un type de machine.

S: Variance échantillonnée.

n: Taille de l'échantillon (10).

La quantité $T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{10}}$ suit une loi de student de degré $n-1$.

L'intervalle de confiance est de la forme suivante:

$$[\bar{X} - t_{\alpha/2} \times S/\sqrt{10} \quad ; \quad \bar{X} + t_{\alpha/2} \times S/\sqrt{10}]$$

avec $t_{\alpha/2} = 2.262$

Exemple : Calcul de l'intervalle de confiance pour la ressource
M1

$$\bar{X} = 4.3$$

$$S = 1.4$$

$$X1 = \bar{X} - 2.262 \times 1.4 / \sqrt{10} = 3.3$$

$$X2 = \bar{X} + 2.262 \times 1.4 / \sqrt{10} = 5.3$$

L'intervalle de confiance est: [3.3 ; 5.3]

Le tableau-3- résume les résultats obtenus.

2- Interpretation des résultats obtenus:

Il ressort du tableau- 3- que l'ensemble des valeurs réelles sont contenues dans les intervalles de confiance correspondant aux valeurs simulées. La largeur maximale des intervalles de confiance est de 2.25: la qualité des résultats obtenus est acceptable.

Ce même tableau permet aussi de localiser les machines possédant un temps d'immobilisation élevé et qui sont sujet à des pannes fréquentes telle que les machines M2, M14 et M12.

tableau-3-taux moyens d'immobilisation

Machines	Taux moyen d'immobilisation simulé(%)	Intervalle de confiance	taux moyen d'immobilisation réel(%)
M1	4.3	[3.3 , 5.3]	5.1
M2	13.2	[12.7 , 13.7]	13.5
M3	0.5	[0 , 1]	0.1
M4	0.2	[0 , 0.95]	0.15
M5	0.9	[0 , 1.8]	1.4
M6A	3.6	[2.6 , 4.6]	4.6
M6B	3.7	[3.05 , 4.35]	3
M6C	3.6	[2.8 , 4.4]	2.9
M7	7.5	[6.45 , 8.55]	8.5
M8A	3.5	[2.7 , 4.3]	3.6
M8B	3.2	[2.1 , 4.3]	4.7
M8C	2.8	[1.7 , 3.9]	3.2
M9	4.5	[3.7 , 5.3]	4.8
M10	2.5	[1.9 , 3.1]	1.8
M11	6.4	[5.8 , 7]	6.2
M12A	7.8	[6.6 , 9]	8.5
M12B	8.3	[7.35 , 9.25]	7.9
M13A	1.9	[0.9 , 2.9]	1.2
M13B	2.2	[1.6 , 2.9]	2.3
M14A	10.5	[9.85 , 11.15]	9.2
M14B	10.2	[9.6 , 10.8]	8.9
M15	0.1	[0 , 1.2]	1.4
M16	0.5	[0.3 , 0.7]	0.4
M19	3.2	[2.75, 3.65]	2.9
M20	2.6	[2.05 , 3.15]	3.5

65

II- PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS:

Pour analyser le fonctionnement réel de l'atelier taillage droit et spiriro-conique et quantifier les performances actuelles du système et conformément aux objectifs assignés à l'étude, nous allons examiner les critères d'évaluation suivants:

-Pour chaque machine, le taux d'occupation, la longueur de la file d'attente et le temps moyen d'attente.

-Pour chaque lot de pièce, le temps moyen de séjour dans l'atelier (cycle opératoire moyen), la cadence journalière moyenne de production.

-les goulots d'étranglement.

II-1 Les machines:

Le tableau-4- présente les charges des différentes machines et postes manuels présents dans l'atelier ainsi que les caractéristiques de leurs files(longueur, temps moyen d'attente). Au vue de ces résultats, on remarque que les machines de l'atelier ne sont pas utilisées de la même façon,qu'on peut expliquer par:

-Dans le processus de fabrication de l'atelier, il existe des machines spécialisées dans un type d'opération ce qui entraîne soit leur forte utilisation soit leur faibles utilisation suivant le nombre de types de pièces usinées sur ces machines.

-Les durées opératoires des lots de pièces différent énormément d'une machine à une autre.

Pour faciliter l'analyse nous avons procédé à un classement des machines suivant leurs taux d'occupation. Nous avons dégagé trois classes:

1-Taux d'occupation inférieur à 60%:

Les machines de cette classe sont sous utilisées:

.pour les machines M2 et M14, cette sous utilisation est due aux immobilisations fréquentes.

.pour les autres machines , cette sous utilisation est normale vue le nombre, réduit, de lots qui sont usinés sur elle

2-Taux d'occupation compris entre 60 et 80%:

Cette classe regroupe les machines qui sont bien utilisées, elles sont caractérisées par des files d'attente moyennes.

3-Taux d'occupation supérieur à 80%:

Cette classe est constituée par les principaux postes qui freinent le flux de production. Les ressources sont caractérisées par des temps d'attente très longs et conditionnent la production de tout l'atelier. Dans cette même classe , nous constatant l'existence de deux goulots d'étranglement à savoir la machine M15 et poste de contrôle M22. Tout les investissements possibles dans l'atelier doivent être orientés vers cette classe.

II-2 Analyse des goulots d'étranglement:

1- La machine M15:

C'est une perceuse caractérisée par un temps opératoire et un temps de réglage qui sont très élevés. Sa charge est de 99%, la longueur de sa file d'attente est de 6.24 lots et le temps moyen d'attente des lots devant cette machine est de 854.2 heures soit 2mois.

Cette machine, travaillant à un rythme bas, engendre une sous utilisation de la ressource M19(36%) se trouvant en aval.

Face à ce problème , les responsables se sont procurés une nouvelle machine possédant de meilleures performances (machine à commande numérique) et qui se trouve actuellement en période d'installation.

2- Le poste M22:

C'est un poste de contrôle se trouvant à la fin de la chaîne de production. Les lots de produits finis, avant d'être livrés, devront passés par ce poste qui par un contrôle unitaire dégage les pièces rebutées qui seront retouchée si le défaut constaté n'est pas majeur.

Ce poste manuel très chargé provoque un allongement des temps de cycles des différentes produits.

tableau-4-caractéristiques des machines

Machines	Taux moyen d'occupation (%)	Longueur moyenne des files (Lots)	Temps moyen d'attente (heures)
M1	31	0.2	38.02
M2	34	5.13	551.75
M3	71	2.3	238.473
M4	39	0.7	142.1
M5	21	0.1	9.95
M6A	40	2	166.32
M6B	59	7	432.338
M6C	78	9.7	496.838
M7	41	0.9	446.333
M8A	20	0.95	260.5
M8B	38	2.8	389.881
M8C	55	4	377.113
M9	30	2	277.9
M10	44	3	424.7
M11	20	0.04	2
M12A	66	3.1	95.716
M12B	82	1.9	84.488
M13A	91	5.86	841.285
M13B	76	4.9	636.899
M14A	23	1.4	208.648
M14B	36	3	279.045
M15	99	6.24	854.2
M16	75	3.52	482
M19	36	0	0
M20	6	0.02	0.317
M21A	96	3.1	95.716
M21B	85	2.7	86.248
M22	100	58.6	861.018
M23	73	0.1	8

II-3 les lots de pièces:

Le temps de cycle représente la durée passé par un lot de pièces dans l'atelier. La cadence, elle, représente la vitesse de production d'un type de pièces en lots par mois. Le tableau de la figure 13 fait liste des temps moyens de cycles et des cadences de production pour chaque produit.

tableau-5-caractéristiques des pièces

Pièces	temps de cycle moyen (heures)	Cadence de production (lots/mois)
P1	2480	0.40
P2	2850	0.38
P3	2650	0.98
P4	2670	0.33
P5	1850	1.19
P6	1740	1.41
P7	1900	0.78
P8	1830	1.09
P9	1320	1.89
P10	2510	0.56
P11	3590	--
P12	1910	1.07
P13	2050	2.59
P14	1500	0.95
P15	2090	1.45
P16	1760	0.78

l'allongement des temps de cycle et la faiblesse des cadences de production sont les résultats directs des causes suivantes:

- Les attentes devant certaines postes sont très longues.
- Lancement de séries économique(surdimensionnement des lots)
- Les immobilisations provoquent des blocage du flux de production.
- Les changements d'outils fréquents
- Engorgement, à la fin de fabrication, causé par le poste de contrôle

III- -SCENARIOS POUR L'AMELIORATION DES PERFORMANCES DE L'ATELIER

Avant d'aborder l'ensemble du travail d'exploitation du modèle, il conviendrait de souligner que toute référence concernant la performance actuelle de l'atelier doit se faire par rapport à l'année 1991. (année de base pour notre étude)

III-1 Diminution des durées de pannes:

La politique de maintenance dans l'atelier, étant essentiellement curative, cause d'énormes immobilisations des machines.

Les durées des pannes sont expliquées (paragraphe VI-3) par une partie constante (déterministe) et une partie variable (aléatoire).

Dans ce scénario nous allons tester l'impact d'une légère diminution de la durée des pannes par l'élimination de la partie explicative constante.

Cette diminution sera l'effet de:

- Une meilleure organisation de l'intervention des agents de la maintenance.
- La prévision d'un stock de pièces de rechange

a-Procédure:

Les paramètres de contrôle du déroulement de la simulation ont été fixés à :

- durée de simulation une année soit 3712h
- Un régime transitoire de 700h est éliminé
- Le générateur des nombres aléatoires utilisé est le premier.
- Les variables figurant dans la partie initialisation du modèle sont éliminées.

b-Le tableau des résultats:

Machines	Temps moyen d'attente actuelle (heures)	Temps moyen d'attente après diminution des durées de panne (heures)
M15	854.215	844.023
M2	551.750	503.283
M13A	841.285	647.462
M6C	496.838	449.290

tableau-6-résultats 1er scénario

c-Interprétation des résultats:

L'impact de cette diminution des durées de panne par l'élimination de la partie explicative constante a été notoire pour les machines figurantes dans le tableau-6-.

Ceci est dû au fait que les durées de panne pour ces machines sont essentiellement expliquées par cette partie en plus des pannes fréquentes.

Les temps moyens d'attente ont considérablement chuté permettant une circulation rapide du flux de production.

III-2 Changement de la politique de contrôle:

Le contrôle de qualité au niveau de l'atelier se fait en fin de processus et à 100%. En réalité on ne contrôle pas la qualité mais on l'a constaté c'est à dire qu'on trie la production en bonne et mauvaise et malgré toute cette procédure des pièces défectueuses arrivent au secteur montage.

Pour assurer une qualité meilleure des produits, le Département contrôle de la qualité du centre mécanique a eu l'idée de lancer "l'auto-contrôle" qui consiste à:

-Responsabiliser et sensibiliser l'opérateur sur machine sur les problèmes de la qualité.

-Organiser le contrôle en cours de fabrication par le biais des cartes de contrôle et les déplacement des contrôleurs.

-Passer à un contrôle statistique une fois la qualité est sous contrôle

Pour tester l'impact d'une telle décision, nous avons supposer que seul 10% de chaque lot sera contrôlé.

a-Procédure:

-durée de la simulation une année soit 3712h.

-un régime transitoire de 700h est éliminé

-le générateur des nombres aléatoires est le premier.

b-les résultats de la simulation:

Le tableau-7-représente les résultats obtenus après simulation. Nous nous sommes intéressés, spécialement, aux changements qui ont affecté les temps de cycle et les cadences de production.

Pièces	Temps moyen de séjour	Diminution (%)	Cadence de production (lots/mois)	Augmentation (%)
P1	1890	23.79	0.41	2.50
P2	2010	29.47	0.94	147.30
P3	1690	36.22	2.21	125.51
P4	2260	15.36	2.63	696.00
P5	1230	33.50	1.68	41.18
P6	1460	16.10	1.83	29.78
P7	1830	3.68	1.60	105.13
P8	1210	33.88	1.66	52.29
P9	793	39.92	2.57	35.97
P10	2370	5.57	1.88	235.71
P11	2440	37.60	1.40	-
P12	1800	5.76	2.11	49.28
P13	1510	26.34	5.16	99.27
P14	1140	24.00	1.66	74.74
P15	1520	27.27	2.86	97.24
P16	1010	42.60	1.32	69.23

tableau-7-résultats 2ème scénario

c-Interprétation des résultats:

Au vue de ces résultats l'impact d'un contrôle statistique de la fabrication se traduit par:

1-Une nette diminution des temps moyens de séjour des lots de pièces

2-Une augmentation des cadences moyennes de sorties des pièces dans le sens d'une diminution des en-cours, d'un meilleur respect des délais de livraison pour le secteur montage, ou du moins la minimisation des retards de livraison.

3-Le taux d'occupation du poste de contrôle est très faible ce qui va permettre à l'opérateur travaillant dans ce poste de se déplacer et de faire un contrôle en cours de fabrication.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La complexité des systèmes de production permet rarement une approche analytique . la simulation prend alors toute son importance .

La simulation implantée sur le site permet une aide à la conduite en évaluant les conséquences de certaines prises de décision .

Notre travail effectué au sein de l'atelier TAILLAGE DROIT ET SPIRO-CONIQUE du centre mécanique du Complexe Industriel de Rouiba s'insère dans le domaine de la simulation des systèmes de production.

Notre objectif a été l'étude détaillée du fonctionnement réel de l'atelier afin de mettre à la disposition de ses responsables un outil d'aide à la décision .

Nous avons commencé l'étude par la définition du problème et la spécification des objectifs. Après présentation des systèmes de production, leur conceptualisation et leur modélisation, nous avons fait une revue de quelques outils d'évaluation de performance pour finir par retenir la simulation comme outil approprié à notre étude.

Dans la phase suivante, nous avons construit un modèle de simulation décrivant le fonctionnement réel de l'atelier, en tenant compte de tous les éléments qui le constituent (machines, pièces,...).

SLAM, nous a permis grâce à ses nombreuses fonctionnalités une représentation assez souple du système atelier.

La collecte des données nécessaires à l'exécution du programme de simulation est une étape cruciale et très importante, car sans données fiables on ne peut pas prétendre construire un modèle qui reflètera la réalité et qui donnera de bons résultats. Pour notre étude, la disponibilité des données a contribué énormément à la construction du modèle et à son exploitation.

La validation du modèle qui elle aussi une étape très importante, consiste à tester le comportement du modèle vis à vis de la réalité. Au terme de cette étape nous nous sommes assuré de la validité du modèle, ce qui nous a permis d'appréhender la phase d'analyse des résultats. Cette phase nous a permis de localiser et d'identifier tout les paramètres qui caractérisent le fonctionnement de l'atelier et particulièrement Les goulots d'étranglement qui conditionnent le flux de la production dans l'atelier, leur élimination a fait l'objet des deux scénarios établis.

Il nous semble intéressant de donner ici la décomposition du temps pris par notre étude :

- Analyse du problème spécifications, collecte des données sur le terrain : 3 mois
- Modélisation, mise au point du programme: 1 mois
- Exploitation du modèle : 1 mois

En fin, ce travail nous a été très bénéfique dans la mesure où il nous a permis de se rapprocher du domaine de la gestion de la production et d'apprécier sa complexité d'une part, et de maîtriser deux logiciels très importants pour un ingénieur en GENIE INDUSTRIEL à savoir SLAM et UNIFIT d'autre part.

RECOMMANDATIONS

En ce qui concerne les perspectives, il semble intéressant pour les responsables du C.V.I d'exploiter ce travail dans les directions suivantes:

1°- Généraliser cette étude pour tous les ateliers du centre mécanique afin de trouver une solution globale pour tout le centre.

2°- Généraliser la procédure d'ajustement des données concernant la fiabilité des machines pour les mieux gérer et pour prévoir les pannes et ainsi mieux organiser les opérations de maintenance .

3°- Pour les responsables de l'atelier, utiliser le modèle élaboré comme banc d'essai pour tester la faisabilité des programmes de production (court terme) élaboré par le secteur lancement-ordonnancement et ainsi choisir le meilleur.

Enfin un renforcement de l'équipe de maintenance , la prévision d'un stock de rechange , une meilleure organisation des opérations de maintenance augmenteront considérablement la disponibilité des machines et par conséquent une meilleure circulation du flux de production.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.CERNAUT
simulation des systèmes de production
cepadues-editions,1988

- [2] G.BEL, D.DUBOIS
Modélisation et simulation de systèmes automatisés
de production
RAIRO APII,vol 19,N°1 1985

- [3] M.AMMAR, J.L.DAMRET, J.P.KIEFFER
Utilisation d'un MACRO LANGAGE dédié à la simulation
des systèmes de production
Actes congrés INRIA -systèmes de production-,Avril 1985.

- [4] ALAN B.PRISKER
Introduction to simulation and SLAMII
Edition Pritsker and associates,1984

- [5] E.GELENBE, J.LABETOULIE, R.MARIE, M.METIVIER,
G.PUJOLE, W.STEWART
Reseaux de files d'attente.Modélisation et traitement
numérique. Edition Hommes et Techniques,1980.
(Monographies d'informatique de l'AFCEt)

- [6] J.LEROUQUIER
Simulation à évènements discrets
Edition Homme et Techniques,1980
(Monogaphies d'informatique de l'AFCEt)

- [7] D.Monteil
SAGA:Simulation et aide à la gestion d'ateliers
Thèse d'état,Université de toulouse,1985

- [8] Y.KERBOUA
Optimisation du flux dans l'atelier "FERRURES"
du Complexe de Véhicule Industriels de Rouiba
par la simulation
Thèse d'état, E.N.P., 1991.
- [9] G.BEL
Modèle et langages de simulation
Bulletin de l'INRIA
N°95, 1984, p 3-9.
- [10] M.de Gromard, N.Dridi et J.M.Proth
La simulation dans l'étude des systèmes de production
Bulletin de l'INRIA
N°95, 1984, p 10-14.
- [11] C.BIALES
L'analyse statistique des données
Chotard et associés éditeurs, 1988
- [12] J.WOOLF
Améliorez votre productivité grâce à la simulation
L'usine nouvelle N° 51-52, p 40-41, 1977

ANNEXES

ANNEXE 1

- GAMME DE PRODUCTION DU C.V.I.-

Gamme	Denomination vehicule	Type	P.T.C (tonne)	P.T.R (tonne)
Basse	K 66	Porteur 4x2	6.6	7.85
	K 120	Porteur 4x2	12	13.25
Militaire	M 120	Porteur 4x4	10	14.2
	M 170	Porteur Tracteur 4x4	12	20
	M 230	Porteur Tracteur 6x6	19	27
Haute	B 260	Porteur 4x2	19	35
	TB 260	Tracteur 4x2	17	35
	TB 305	Tracteur 4x2	19	38
	C 260	Porteur Tracteur 4x2	19	35
	C 260	Porteur Tracteur 6x4	26	35
Autocar et Autocar	49 V8	Autocar	14	49 PLACES
	25 L4	Mini car	6.6	25 PLACES
	100 V8	Autobus	16	100 PLACES
	70 L6	Minibus	12	70 PLACE

PTC : Poids total chargement

PTR : poids total avec remorque

ANNEXE 2

MATRICE DES 40 PIECES OBTENUES APRES L'ANALYSE
ABC

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M19	M23
P1	2	.	.	1	.	.	3	.	.	.	.	.	.
P2	.	1	4	5	.	.	.	.	2	3	6	7	.	.	.	.	.	.
P3	.	1	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P4	6	1	5	.	.	.	.	.	2	3	4	7	.	.	.	.	.	.
P5	.	.	.	2	.	1	.	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.
P6	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.
P7	2	.	.	1	.	.	3	.	.	.	.	.	.
P8	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
P9	1	2	.	.	.	.	.	.	.
P10	.	.	.	4	.	2	.	1	.	.	3	5	.	.	.	.	.	.
P11	.	.	5	.	4	2	.	1	.	.	3	6	.	.	.	.	.	.
P12	2	1	.	.	.	.
P13	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P14	1	.	2	3
P15	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3	4
P16	3	1	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P17	3	1	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P18	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	4	.	.	.	.	.	.
P19	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.
P20	.	.	.	4	.	2	.	1	.	.	3	5	.	.	.	.	.	.
P21	1	2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.
P22	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
P23	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
P24	.	.	.	4	.	2	.	1	.	.	3	5	.	.	.	.	.	.
P25	1	.	.	.	.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M19	M23
P26	.	.	4	.	.	2	.	1	.	.	3	5	.	.	.	.	.	.
P27	.	.	.	5	1	3	.	2	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.
P28	.	.	.	5	4	2	.	1	.	.	3	2	.	.	.	.	.	.
P29	.	.	5	.	1	3	.	2	.	.	4	6	.	.	.	.	.	.
P30	.	.	.	4	.	2	.	1	.	.	3	5	.	.	.	.	.	.
P31	.	.	.	5	1	3	.	2	.	.	4	6	.	.	.	.	.	.
P32	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.
P33	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P34	2	1	.	.	.	.
P35	1	.	.	.	.
P36	1	.	.	.	.
P37	1	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	.	.
P38	2	1	.	.	.	.
P39	1	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	.	.
P40	1	.	.	.	.

TOUTE LES PIECES PASSENT SUCCESSIVEMENT DANS LES TROIS POSTES
SUIVANTS QUI NE SONT PAS REPRESENTE DANS LA MATRICE :

EBAVURAGE-LAVAGE-CONTROLE

ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES DES 16 PIECES SELECTIONNEES

Pièce	Nom de la pièce	Code CVI
P1	Arbre	164974
P2	Arbre	5000655022
P3	Arbre	165627
P4	Arbre	165526
P5	Pignon	190341
P6	Pignon	161613
P7	Pignon	193949
P8	Coulisseau	163442
P9	Coulisseau	161983
P10	Récepteur	134773
P11	Récepteur	134777
P12	Stellite	185568
P13	Planétaire	185863
P14	Couronne	189961
P15	Pignon d'attaque	189700
P16	Arbre	134782

ANNEXE 5 : CARACTERISTIQUES DES MACHINES EXISTANTES DANS
L'ATELIER TAILLAGE DROIT ET SPIRO-CONIQUE

Machine	Désignation	Code CVI	Nombre
M1	Fraiseuse à levier FH 40L	9029	1
M2	Fraiseuse horizontale FH 60	9031	1
M3	Perçuseuse multiple 3 B	9024	1
M4	Perçuseuse multiple ROCH 2B	9025	1
M5	Perçuseuse multiple ROCH 4B	9026	1
M6	Tailleuse F 400	9057/58/59	3
M7	Tailleuse RA 300 B	9060	1
M8	Tailleuse DEMM SRI 180	9053/54/55	3
M9	Tailleuse LORENZ LS 400	9056	1
M10	Tailleuse LORENZ LS 300	C 015B11	1
M11	Fraiseuse entre dents ZK10	9061	1
M12	Machine à shaver redring	9062/63	2
M13	Tailleuse GLEASON 114	9045/46	2
M14	Tailleuse REV 726	9047	2
M15	perçuseuse GSP 205 S	9023	1
M16	Tailleuse GLEASON 116	9048	1
M19	Tailleuse GLEASON 608	9044	1
M20	Machine à laver MABOR	9082	1

ANNEXE 6 :CODAGE DU MODELE

GEN,,,12/07/92,10;
LIMITS,30,30,130;

INITIALISATION DES VARIABLES UTILISEES DANS LE MODELE

INTLC,XX(3)=20,XX(6)=10,XX(9)=12,XX(12)=10,XX(15)=8;
INTLC,XX(18)=8,XX(21)=8,XX(24)=5,XX(27)=8,XX(75)=10;
INTLC,XX(32)=10,XX(35)=10,XX(38)=10,XX(41)=10,XX(44)=6;
INTLC,XX(47)=6,XX(50)=24,XX(53)=6;
NETWORK;

DECLARATION DES RESSOURCES (MACHINES),NOMBRE,
LABEL DE LA QUEUE

RES/M15A(1),1;
RES/M15B(1),30;
RES/M19(1),2;
RES/M2(1),3;
RES/M16(1),4;
RES/M23(1),5;
RES/M9(1),6;
RES/M10(1),7;
RES/M8A(1),8;
RES/M8B(1),24;
RES/M8C(1),25;
RES/M6A(1),9;
RES/M6B(1),26;
RES/M6C(1),27;
RES/M11(1),10;
RES/M4(1),11;
RES/M3(1),12;
RES/M1(1),13;
RES/M5(1),14;
RES/M14A(1),15;
RES/M14B(1),28;
RES/M13A(1),16;
RES/M13B(1),22;
RES/M20(1),17;
RES/M21A(1),18;
RES/M21B(1),23;
RES/M12A(1),19;
RES/M12B(1),29;
RES/M22(1),20;
RES/M7(1),21;

LANCEMENT DES LOTS , TEMPS INTER-ARRIVEES,
ATTRIBUT QUI EMMAGASINE L'INSTANT D'ENTREE
DU LOT,LE NOMBRE DE LOTS LANCES.

CREATE,126,,2,26;
ACT,,,AS0;
CREATE,34,,3,26;
ACT,,,AS1;
CREATE,26,,4,10,5;
ACT,,,AS2;
CREATE,33.5,,5,5;
ACT,,,AS3;
CREATE,46.25,,6,5;
ACT,,,AS40;
CREATE,78.75,,7,5;
ACT,,,AS45;
CREATE,15,,8,5;
ACT,,,AS42

```

CREATE,32,,9,12;
ACT,,,AS31;
CREATE,37.5,,10,15;
ACT,,,AS4;
CREATE,65.5,,11,15;
ACT,,,AS5;
CREATE,30,,12,15;
ACT,,,AS6;
CREATE,44,,13,15;
ACT,,,AS7;
CREATE,51.75,,14,12;
ACT,,,AS14;
CREATE,36,,15,15;
ACT,,,AS15;
CREATE,6,,16,37;
ACT,,,AS17;
CREATE,57,,17,20;
ACT,,,AS18;
AS0  ASSIGN,ATRIB(1)=14;
      ACT,1,ATRIB(1).EQ.14,BT;
3T   GOON,1;
      ACT,,NNQ(1).LE.NNQ(30),W1;
      ACT,,NNQ(30).LE.NNQ(1),W2;
J1   AWAIT(1),M15A/1;
      ACT,200.3;
      FREE,M15A/1;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.14,M19;
W2   AWAIT(1),M15B/1;
      ACT,200.3;
      FREE,M15B/1;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.14,M19;
M19  AWAIT(2),M19/1;
      ACT,72.24;
      FREE,M19/1;
      ACT,,ATRIB(1).EQ.14,M23;
AS1  ASSIGN,ATRIB(1)=15;
      ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.15,M2;
AS2  ASSIGN,ATRIB(1)=4;
      ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.4,M2;
AS3  ASSIGN,ATRIB(1)=2;
      ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.2,M2;
AS40 ASSIGN,ATRIB(1)=1;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.1,M9;
AS45 ASSIGN,ATRIB(1)=3;
      ACT,3,ATRIB(1).EQ.3,M2;
AS42 ASSIGN,ATRIB(1)=16;
      ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.16,M2;
M2   AWAIT(3),M2/1;
      ACT,32,ATRIB(1).EQ.15;
      ACT,24.75,ATRIB(1).EQ.4;
      ACT,32,ATRIB(1).EQ.2;
      ACT,77.25,ATRIB(1).EQ.3;
      ACT,13.5,ATRIB(1).EQ.16;
      FREE,M2/1;
      ACT,20,ATRIB(1).EQ.15,M16;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.4,M9;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.2,M9;
      ACT,2,ATRIB(1).EQ.3,M7;
      ACT,6,ATRIB(1).EQ.16,M7;
M7   AWAIT(21),M7/1;
      ACT,171.5,ATRIB(1).EQ.3;
      ACT,194,ATRIB(1).EQ.16;
      FREE,M7/1;
      ACT,2.5,ATRIB(1).EQ.3,M9;

```

116 ACT,2,TRIB(1).EQ.16,M1;
 AWAIT(4),M16/1;
 ACT,101;
 FREE,M16/1;
 123 ACT,,TRIB(1).EQ.15,M23;
 AWAIT(5),M23/1;
 ACT,46.6,TRIB(1).EQ.14;
 ACT,65.5,TRIB(1).EQ.15;
 FREE,M23/1;
 ACT,,TRIB(1).EQ.14,BN;
 ACT,,TRIB(1).EQ.15,BN;
 AS31 ASSIGN,TRIB(1)=7;
 ACT,2.5,TRIB(1).EQ.7,M9;
 M9 AWAIT(6),M9/1;
 ACT,42.6,TRIB(1).EQ.4;
 ACT,40.25,TRIB(1).EQ.2;
 ACT,49.5,TRIB(1).EQ.7;
 ACT,43.75,TRIB(1).EQ.1;
 ACT,32.5,TRIB(1).EQ.3;
 FREE,M9/1;
 ACT,2.5,TRIB(1).EQ.4,M10;
 ACT,2.5,TRIB(1).EQ.2,M10;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.7,BE;
 ACT,8,TRIB(1).EQ.1,BE;
 ACT,,TRIB(1).EQ.3,BN;
 AS4 ASSIGN,TRIB(1)=9;
 ACT,2.5,TRIB(1).EQ.9,M10;
 M10 AWAIT(7),M10/1;
 ACT,43.5,TRIB(1).EQ.4;
 ACT,64.6,TRIB(1).EQ.2;
 ACT,85,TRIB(1).EQ.9;
 FREE,M10/1;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.2,M3;
 ACT,1.5,TRIB(1).EQ.4,M11;
 ACT,1.5,TRIB(1).EQ.9,M11;
 AS5 ASSIGN,TRIB(1)=10,TRIB(18)=53.6;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.10,BS;
 AS6 ASSIGN,TRIB(1)=11,TRIB(18)=58;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.11,BS;
 AS7 ASSIGN,TRIB(1)=8,TRIB(18)=42;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.8,BS;
 BS GOON,1;
 ACT,,NNQ(8).LE.NNQ(24).AND.NNQ(8).LE.NNQ(25),M8A;
 ACT,,NNQ(24).LE.NNQ(8).AND.NNQ(24).LE.NNQ(25),M8B;
 ACT,,NN(25).LE.NNQ(8).AND.NNQ(25).LE.NN(24),M8C;
 M8A AWAIT(8),M8A/1;
 ACT,53.6,TRIB(1).EQ.10,S1;
 ACT,58,TRIB(1).EQ.11,S1;
 ACT,42,TRIB(1).EQ.8,S1;
 FREE,M8A/1;
 M8B AWAIT(24),M8B/1;
 ACT,53.6,TRIB(1).EQ.10,S2;
 ACT,58,TRIB(1).EQ.11,S2;
 ACT,42,TRIB(1).EQ.8,S2;
 FREE,M8B/1;
 M8C AWAIT(25),M8C/1;
 ACT,53.6,TRIB(1).EQ.10,S3;
 ACT,58,TRIB(1).EQ.11,S3;
 ACT,42,TRIB(1).EQ.8,S3;
 FREE,M8C/1;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.10,BE;
 ACT,2,TRIB(1).EQ.11,BE;

```

ACT,1.5,TRIB(1).EQ.8,M11;
AS14 ASSIGN,TRIB(1)=5;
ACT,2,TRIB(1).EQ.5,BE;
S15 ASSIGN,TRIB(1)=6;
ACT,2,TRIB(1).EQ.6,BE;
BE GOON,1;
ACT,,NNQ(9).LE.NNQ(26).AND.NNQ(9).LE.NNQ(27),M6A;
ACT,,NNQ(26).LE.NNQ(9).AND.NNQ(26).LE.NNQ(27),M6B;
ACT,,NNQ(27).LE.NNQ(9).AND.NNQ(27).LE.NNQ(26),M6C;
M6A AWAIT(9),M6A/1;
ACT,37.75,TRIB(1).EQ.7;
ACT,49.75,TRIB(1).EQ.5;
ACT,34.4,TRIB(1).EQ.6;
ACT,30.9,TRIB(1).EQ.10;
ACT,23,TRIB(1).EQ.11;
ACT,121.4,TRIB(1).EQ.1;
FREE,M6A/1;
M6B AWAIT(26),M6B/1;
ACT,37.75,TRIB(1).EQ.7;
ACT,49.75,TRIB(1).EQ.5;
ACT,34.4,TRIB(1).EQ.6;
ACT,30.9,TRIB(1).EQ.10;
ACT,23,TRIB(1).EQ.11;
ACT,121.4,TRIB(1).EQ.1;
FREE,M6B/1;
M6C AWAIT(27),M6C/1;
ACT,37.75,TRIB(1).EQ.7;
ACT,49.75,TRIB(1).EQ.5;
ACT,34.4,TRIB(1).EQ.6;
ACT,30.9,TRIB(1).EQ.10;
ACT,23,TRIB(1).EQ.11;
ACT,121.4,TRIB(1).EQ.1;
FREE,M6C/1;
ACT,,TRIB(1).EQ.7,BN;
ACT,1,TRIB(1).EQ.5,M5;
ACT,1.5,TRIB(1).EQ.6,BF;
ACT,1.5,TRIB(1).EQ.10,M11;
ACT,1.5,TRIB(1).EQ.11,M11;
ACT,6,TRIB(1).EQ.1,BF;
M11 AWAIT(10),M11/1;
ACT,8.2,TRIB(1).EQ.10;
ACT,8.17,TRIB(1).EQ.11;
ACT,15,TRIB(1).EQ.8;
ACT,6.3,TRIB(1).EQ.4;
ACT,15,TRIB(1).EQ.9;
ACT,8.75,TRIB(1).EQ.2;
FREE,M11/1;
ACT,1,TRIB(1).EQ.10,M4;
ACT,1,TRIB(1).EQ.11,M5;
ACT,,TRIB(1).EQ.8,BN;
ACT,2,TRIB(1).EQ.4,M3;
ACT,,TRIB(1).EQ.9,BN;
ACT,1.5,TRIB(1).EQ.2,BF;
M3 AWAIT(12),M3/1;
ACT,14.9,TRIB(1).EQ.2;
ACT,12.15,TRIB(1).EQ.4;
ACT,164,TRIB(1).EQ.11;
FREE,M3/1;
ACT,1,TRIB(1).EQ.2,M5;
ACT,2,TRIB(1).EQ.4,M1;
ACT,1.5,TRIB(1).EQ.11,BF;
M4 AWAIT(11),M4/1;
ACT,78,TRIB(1).EQ.10;

```

```

FREE,M4/1;
ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.10,BF;
M1
AWAIT(13),M1/1;
ACT,67.5,ATRIB(1).EQ.4;
ACT,75,ATRIB(1).EQ.16;
FREE,M1/1;
ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.4,BF;
ACT,,ATRIB(1).EQ.16,BN;
AS17
ASSIGN,ATRIB(1)=13;
ACT,1,ATRIB(1).EQ.13,M5;
M5
AWAIT(14),M5/1;
ACT,9,ATRIB(1).EQ.5;
ACT,10,ATRIB(1).EQ.2;
ACT,28,ATRIB(1).EQ.11;
ACT,20,ATRIB(1).EQ.13;
FREE,M5/1
ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.5,BF;
ACT,1.5,ATRIB(1).EQ.2,M11;
ACT,1,ATRIB(1).EQ.11,M3;
ACT,3,ATRIB(1).EQ.13,BX;
AS18
ASSIGN,ATRIB(1)=12;
ACT,3,ATRIB(1).EQ.12,BX;
BX
GOON,1;
ACT,,NNQ(15).LE.NNQ(28),M14A;
ACT,,NNQ(28).LT.NNQ(15),M14B;
M14A
AWAIT(15),M14A/1;
ACT,54,ATRIB(1).EQ.12;
ACT,18,ATRIB(1).EQ.13;
FREE,M14A/1;
114B
AWAIT(28),M14B/1;
ACT,54,ATRIB(1).EQ.12;
ACT,18,ATRIB(1).EQ.13;
FREE,M14B/1;
ACT,5,ATRIB(1).EQ.12,BL;
ACT,5,ATRIB(1).EQ.13,BL;
BL
GOON,1;
ACT,,NNQ(16).LE.NNQ(22),M13A;
ACT,,NNQ(22).LT.NNQ(16),M13B;
M13A
AWAIT(16),M13A/1;
ACT,183.4,ATRIB(1).EQ.12;
ACT,68.5,ATRIB(1).EQ.13;
FREE,M13A/1;
ACT,,ATRIB(1).EQ.12,BN;
ACT,,ATRIB(1).EQ.13,BN;
M13B
AWAIT(22),M13B/1;
ACT,183.4,ATRIB(1).EQ.12;
ACT,68.5,ATRIB(1).EQ.13;
FREE,M13B/1;
ACT,,ATRIB(1).EQ.12,BN;
ACT,,ATRIB(1).EQ.13,BN;
BF
GOON,1;
ACT,,NNQ(19).LE.NNQ(29),M12A;
ACT,,NNQ(29).LT.NNQ(19),M12B;
112A
AWAIT(19),M12A/1;
ACT,47,ATRIB(1).EQ.2;
ACT,24.5,ATRIB(1).EQ.4;
ACT,32,ATRIB(1).EQ.11;
ACT,25.75,ATRIB(1).EQ.10;
ACT,23.4,ATRIB(1).EQ.5;
ACT,79.3,ATRIB(1).EQ.6;
ACT,40.25,ATRIB(1).EQ.1;
FREE,M12A/1;
112B
AWAIT(29),M12B/1;

```

ACT,47,ATRI(1).EQ.2;
ACT,24.5,ATRI(1).EQ.4;
ACT,32,ATRI(1).EQ.11;
ACT,25.75,ATRI(1).EQ.10;
ACT,23.4,ATRI(1).EQ.5;
ACT,79.3,ATRI(1).EQ.6;
ACT,40.25,ATRI(1).EQ.1;
FREE,M12B/1;

BN

ACT,,BN;
GOON,1;
ACT,,NNQ(18).LE.NNQ(23),M21A;
ACT,,NNQ(23).LT.NNQ(18),M21B;

I21A

AWAIT(18),M21A/1;
ACT,26.25,ATRI(1).EQ.2;
ACT,10.35,ATRI(1).EQ.4;
ACT,9,ATRI(1).EQ.5;
ACT,16.4,ATRI(1).EQ.6;
ACT,6.75,ATRI(1).EQ.7;
ACT,15,ATRI(1).EQ.8;
ACT,10,ATRI(1).EQ.9;
ACT,26.8,ATRI(1).EQ.10;
ACT,21,ATRI(1).EQ.11;
ACT,36,ATRI(1).EQ.13;
ACT,33.4,ATRI(1).EQ.14;
ACT,18,ATRI(1).EQ.15;
ACT,87.5,ATRI(1).EQ.12;
ACT,75.84,ATRI(1).EQ.1;
ACT,21.5,ATRI(1).EQ.3;
ACT,21.5,ATRI(1).EQ.16;
FREE,M21A/1;

M21B

ACT,,M20;
AWAIT(23),M21B/1;
ACT,26.25,ATRI(1).EQ.2;
ACT,10.35,ATRI(1).EQ.4;
ACT,9,ATRI(1).EQ.5;
ACT,16.4,ATRI(1).EQ.6;
ACT,6.75,ATRI(1).EQ.7;
ACT,15,ATRI(1).EQ.8;
ACT,10,ATRI(1).EQ.9;
ACT,26.8,ATRI(1).EQ.10;
ACT,21,ATRI(1).EQ.11;
ACT,36,ATRI(1).EQ.13;
ACT,33.4,ATRI(1).EQ.14;
ACT,18,ATRI(1).EQ.15;
ACT,87.5,ATRI(1).EQ.12;
ACT,75.84,ATRI(1).EQ.1;
ACT,21.5,ATRI(1).EQ.3;
ACT,21.5,ATRI(1).EQ.16;
FREE,M21B/1;

M20

ACT,,M20;
AWAIT(17),M20/1;
ACT,0.6,ATRI(1).EQ.2;
ACT,0.36,ATRI(1).EQ.4;
ACT,0.65,ATRI(1).EQ.5;
ACT,0.54,ATRI(1).EQ.6;
ACT,0.65,ATRI(1).EQ.7;
ACT,0.2,ATRI(1).EQ.8;
ACT,0.4,ATRI(1).EQ.9;
ACT,0.93,ATRI(1).EQ.10;
ACT,0.7,ATRI(1).EQ.11;
ACT,1.7,ATRI(1).EQ.12;
ACT,0.8,ATRI(1).EQ.13;

```

ACT,2.46,ATRI(1).EQ.14;
ACT,1.2,ATRI(1).EQ.15;
ACT,0.94,ATRI(1).EQ.1;
ACT,0.8,ATRI(1).EQ.3;
ACT,0.8,ATRI(1).EQ.16;
FREE,M20/1;
ACT,,M22;
M22
AWAIT(20),M22/1;
ACT,29,ATRI(1).EQ.2;
ACT,22.5,ATRI(1).EQ.4;
ACT,12.5,ATRI(1).EQ.5;
ACT,17,ATRI(1).EQ.6;
ACT,12.5,ATRI(1).EQ.7;
ACT,25,ATRI(1).EQ.8;
ACT,25,ATRI(1).EQ.9;
ACT,29,ATRI(1).EQ.10;
ACT,29,ATRI(1).EQ.11;
ACT,108,ATRI(1).EQ.12;
ACT,10,ATRI(1).EQ.13;
ACT,19,ATRI(1).EQ.14;
ACT,21,ATRI(1).EQ.15;
ACT,29,ATRI(1).EQ.1;
ACT,25,ATRI(1).EQ.3;
ACT,25,ATRI(1).EQ.16;
FREE,M22/1;

```

COLECTE DES TEMPS MOYENS DE SEJOUR
DES LOTS DANS LE SYSTEME (TMS Pi).
COLECTE DES CADENCES DE SORTIE DES LOTS (CAD Pi).

```

ACT,,ATRI(1).EQ.14,CL1;
ACT,,ATRI(1).EQ.15,CL2;
ACT,,ATRI(1).EQ.4,CL3;
ACT,,ATRI(1).EQ.2,CL4;
ACT,,ATRI(1).EQ.1,CL5;
ACT,,ATRI(1).EQ.3,CL6;
ACT,,ATRI(1).EQ.16,CL7;
ACT,,ATRI(1).EQ.7,CL8;
ACT,,ATRI(1).EQ.9,CL9;
ACT,,ATRI(1).EQ.10,CL10;
ACT,,ATRI(1).EQ.11,CL11;
ACT,,ATRI(1).EQ.8,CL12;
ACT,,ATRI(1).EQ.5,CL13;
ACT,,ATRI(1).EQ.6,CL14;
ACT,,ATRI(1).EQ.13,CL15;
ACT,,ATRI(1).EQ.12,CL16;
COL1
COLCT,INT(2),TMS14;
COLCT,BET,CADP14;
TERM;
COL2
COLCT,INT(3),TMS15;
COLCT,BET,CADP15;
TERM;
COL3
COLCT,INT(4),TMS4;
COLCT,BET,CADP4;
TERM;
COL4
COLCT,INT(5),TMS2;
COLCT,BET,CADP2;
TERM;
COL5
COLCT,INT(6),TMS1;
COLCT,BET,CADP1;
TERM;
COL6
COLCT,INT(7),TMS3;
COLCT,BET,CADP3;

```

```

COL7  TERM;
      COLCT,INT(8),TMS16;
      COLCT,BET,CADP16;
      TERM;
COL8  COLCT,INT(9),TMS7;
      COLCT,BET,CADP7;
      TERM;
COL9  COLCT,INT(10),TMS9;
      COLCT,BET,CADP9;
      TERM;
CL10  COLCT,INT(11),TMS10;
      COLCT,BET,CADP10;
      TERM;
CL11  COLCT,INT(12),TMS11;
      COLCT,BET,CADP11;
      TERM;
CL12  COLCT,INT(13),TMS8;
      COLCT,BET,CADP8;
      TERM;
CL13  COLCT,INT(14),TMS5;
      COLCT,BET,CADP5;
      TERM;
CL14  COLCT,INT(15),TMS6;
      COLCT,BET,CADP6;
      TERM;
CL15  COLCT,INT(16),TMS13;
      COLCT,BET,CADP13;
      TERM;
CL16  COLCT,INT(17),TMS12;
      COLCT,BET,CADP12;
      TERM;

```

PRISE EN COMPTE DES PANNES MACHINES.

```

CREATE;
ACT,EXPON(1039.65);
tirage d'un temps de bon fonctionnement
P1  ALTER,M15A/-1;
    apres ce temps la machine tombe en panne
    ASSIGN,XX(2)=XX(3)+EXPON(6.29),XX(76)=XX(76)+1;
    ACT,XX(2);
    la machine reste en panne pendant un temps egale a XX(2)
    ALTER,M15A/+1;
    apres ce temps la machine est remise en marche
    ACT,EXPON(1039.65),,P1;
    tirage d'un TBF et aller a P1
CREATE;
ACT,EXPON(1039.65);
tirage d'un temps de bon fonctionnement
P26 ALTER,M15B/-1;
    apres ce temps la machine tombe en panne
    ASSIGN,XX(2)=XX(3)+EXPON(6.29),XX(76)=XX(76)+1;
    ACT,XX(2);
    la machine reste en panne pendant un temps egale a XX(2)
    ALTER,M15B/+1;
    apres ce temps la machine est remise en marche
    ACT,EXPON(1039.65),,P26;
    tirage d'un TBF et aller a P1
CREATE;
ACT,EXPON(492.44);
P2  ALTER,M19/-1;
    ASSIGN,XX(5)=XX(6)+EXPON(4.72),XX(77)=XX(77)+1;
    ACT,XX(5);

```

```

ALTER,M19/+1;
ACT,EXPON(492.44),,P2;
CREATE;
ACT,EXPON(212.19);
P3 ALTER,M2/-1;
ASSIGN,XX(8)=XX(9)+EXPON(9.37),XX(78)=XX(78)+1;
ACT,XX(8);
ALTER,M2/+1;
ACT,EXPON(212.19),,P3;
CREATE;
ACT,EXPON(1968.91);
P4 ALTER,M16/-1;
ASSIGN,XX(11)=XX(12)+EXPON(8.49),XX(79)=XX(79)+1;
ACT,XX(11);
ALTER,M16/+1;
ACT,EXPON(1968.91),,P4;
CREATE;
ACT,EXPON(498.09);
P5 ALTER,M9/-1;
ASSIGN,XX(14)=XX(15)+EXPON(5.37),XX(80)=XX(80)+1;
ACT,XX(14);
ALTER,M9/+1;
ACT,EXPON(498.09),,P5;
CREATE;
ACT,EXPON(680.62);
P6 ALTER,M10/-1;
ASSIGN,XX(17)=XX(18)+EXPON(5.71),XX(81)=XX(81)+1;
ACT,XX(17);
ALTER,M10/+1;
ACT,EXPON(680.62),,P6;
CREATE;
ACT,EXPON(178.70);
P7 ALTER,M7/-1;
ASSIGN,XX(20)=XX(21)-EXPON(9.97),XX(82)=XX(82)+1;
ACT,XX(20);
ALTER,M7/+1;
ACT,EXPON(178.70),,P7;
CREATE;
ACT,EXPON(518.86);
P8 ALTER,M8A/-1;
ASSIGN,XX(23)=XX(24)+EXPON(9.60),XX(83)=XX(83)+1;
ACT,XX(23);
ALTER,M8A/+1;
ACT,EXPON(518.86),,P8;
CREATE;
ACT,EXPON(279.92);
P9 ALTER,M6A/-1;
ASSIGN,XX(26)=XX(27)+EXPON(10.32),XX(84)=XX(84)+1;
ACT,XX(26);
ALTER,M6A/+1;
ACT,EXPON(279.92),,P9;
CREATE;
ACT,EXPON(504.);
P10 ALTER,M11/-1;
ASSIGN,XX(29)=XX(75)+EXPON(8.44),XX(99)=XX(99)+1;
ACT,XX(29);
ALTER,M11/+1;
ACT,EXPON(504.),,P10;
CREATE;
ACT,EXPON(991.42);
P11 ALTER,M4/-1;
ASSIGN,XX(31)=XX(32)+EXPON(5.78),XX(85)=XX(85)+1;

```

```

ACT, XX(31);
ALTER, M4/+1;
ACT, EXPON(991.42), ,P11;
CREATE;
ACT, EXPON(991.42);
P12 ALTER, M3/-1;
ASSIGN, XX(34)=XX(35)+EXPON(5.78), XX(86)=XX(86)+1;
ACT, XX(34);
ALTER, M3/+1;
ACT, EXPON(991.42), ,P12;
CREATE;
ACT, EXPON(991.42);
P13 ALTER, M1/-1;
ASSIGN, XX(37)=XX(38)+EXPON(5.78), XX(87)=XX(87)+1;
ACT, XX(37);
ALTER, M1/+1;
ACT, EXPON(991.42), ,P13;
CREATE;
ACT, EXPON(991.42);
P14 ALTER, M5/-1;
ASSIGN, XX(40)=XX(41)+EXPON(5.78), XX(88)=XX(88)+1;
ACT, XX(40);
ALTER, M5/+1;
ACT, EXPON(991.42), ,P14;
CREATE;
ACT, EXPON(177.2);
P15 ALTER, M14A/-1;
ASSIGN, XX(43)=XX(44)+EXPON(8.98), XX(89)=XX(89)+1;
ACT, XX(43);
ALTER, M14A/+1;
ACT, EXPON(177.2), ,P15;
CREATE;
ACT, EXPON(831.86);
P16 ALTER, M13A/-1;
ASSIGN, XX(46)=XX(47)+EXPON(9.19), XX(90)=XX(90)+1;
ACT, XX(46);
ALTER, M13A/+1;
ACT, EXPON(831.86), ,P16;
CREATE;
ACT, EXPON(816.8);
P17 ALTER, M20/-1;
ASSIGN, XX(49)=XX(50)+EXPON(7.7), XX(91)=XX(91)+1;
ACT, XX(49);
ALTER, M20/+1;
ACT, EXPON(816.8), ,P17;
CREATE;
ACT, EXPON(206.3);
P18 ALTER, M12A/-1;
ASSIGN, XX(52)=XX(53)+EXPON(10.33), XX(92)=XX(92)+1;
ACT, XX(52);
ALTER, M12A/+1;
ACT, EXPON(206.3), ,P18;
CREATE;
ACT, EXPON(206.3);
P19 ALTER, M12B/-1;
ASSIGN, XX(55)=XX(53)+EXPON(10.33), XX(93)=XX(93)+1;
ACT, XX(55);
ALTER, M12B/+1;
ACT, EXPON(206.3), ,P19;
CREATE;
ACT, EXPON(831.86);
P20 ALTER, M13B/-1;

```

```

ACT,XX(31);
ALTER,M4/+1;
ACT,EXPON(991.42),,P11;
CREATE;
ACT,EXPON(991.42);
P12 ALTER,M3/-1;
ASSIGN,XX(34)=XX(35)+EXPON(5.78),XX(86)=XX(86)+1;
ACT,XX(34);
ALTER,M3/+1;
ACT,EXPON(991.42),,P12;
CREATE;
ACT,EXPON(991.42);
P13 ALTER,M1/-1;
ASSIGN,XX(37)=XX(38)+EXPON(5.78),XX(87)=XX(87)+1;
ACT,XX(37);
ALTER,M1/+1;
ACT,EXPON(991.42),,P13;
CREATE;
ACT,EXPON(991.42);
P14 ALTER,M5/-1;
ASSIGN,XX(40)=XX(41)+EXPON(5.78),XX(88)=XX(88)+1;
ACT,XX(40);
ALTER,M5/+1;
ACT,EXPON(991.42),,P14;
CREATE;
ACT,EXPON(177.2);
P15 ALTER,M14A/-1;
ASSIGN,XX(43)=XX(44)+EXPON(8.98),XX(89)=XX(89)+1;
ACT,XX(43);
ALTER,M14A/+1;
ACT,EXPON(177.2),,P15;
CREATE;
ACT,EXPON(831.86);
P16 ALTER,M13A/-1;
ASSIGN,XX(46)=XX(47)+EXPON(9.19),XX(90)=XX(90)+1;
ACT,XX(46);
ALTER,M13A/+1;
ACT,EXPON(831.86),,P16;
CREATE;
ACT,EXPON(816.8);
P17 ALTER,M20/-1;
ASSIGN,XX(49)=XX(50)+EXPON(7.7),XX(91)=XX(91)+1;
ACT,XX(49);
ALTER,M20/+1;
ACT,EXPON(816.8),,P17;
CREATE;
ACT,EXPON(206.3);
P18 ALTER,M12A/-1;
ASSIGN,XX(52)=XX(53)+EXPON(10.33),XX(92)=XX(92)+1;
ACT,XX(52);
ALTER,M12A/+1;
ACT,EXPON(206.3),,P18;
CREATE;
ACT,EXPON(206.3);
P19 ALTER,M12B/-1;
ASSIGN,XX(55)=XX(53)+EXPON(10.33),XX(93)=XX(93)+1;
ACT,XX(55);
ALTER,M12B/+1;
ACT,EXPON(206.3),,P19;
CREATE;
ACT,EXPON(831.86);
P20 ALTER,M13B/-1;

```

```

ASSIGN,XX(58)=XX(47)+EXPON(9.19),XX(94)=XX(94)+1;
ACT,XX(58);
ALTER,M13B/+1;
ACT,EXPON(831.86),,F20;
CREATE;
ACT,EXPON(177.2);
P21 ALTER,M14B/-1;
ASSIGN,XX(61)=XX(44)+EXPON(8.98),XX(95)=XX(95)+1;
ACT,XX(61);
ALTER,M14B/+1;
ACT,EXPON(177.2),,F21;
CREATE;
ACT,EXPON(279.92);
P22 ALTER,M6B/-1;
ASSIGN,XX(64)=XX(27)+EXPON(10.32),XX(96)=XX(96)+1;
ACT,XX(64);
ALTER,M6B/+1;
ACT,EXPON(279.92),,P22;
CREATE;
ACT,EXPON(279.92);
P23 ALTER,M6C/-1;
ASSIGN,XX(67)=XX(27)+EXPON(10.32),XX(97)=XX(97)+1;
ACT,XX(67);
ALTER,M6C/+1;
ACT,EXPON(279.92),,P23;
CREATE;
ACT,EXPON(518.86);
P24 ALTER,M8B/-1;
ASSIGN,XX(70)=XX(24)+EXPON(9.6),XX(98)=XX(98)+1;
ACT,XX(70);
ALTER,M8B/+1;
ACT,EXPON(518.86),,P24;
CREATE;
ACT,EXPON(518.86);
P25 ALTER,M8C/-1;
ASSIGN,XX(72)=XX(24)+EXPON(9.6),XX(100)=XX(100)+1;
ACT,XX(72);
ALTER,M8C/+1;
ACT,EXPON(518.86),,P25;
TERM;
ENDNETWORK;

```

```

COLECTE DES DUREES DE BON FONCTIONNEMENT
DES MACHINES (TBF Mi).
COLECTE DES DUREES DE PANNE DES MACHINES (PAN Mi).
COLECTE DES NOMBRE DE PANNES DES MACHINES (NBPAN Mi).

```

```

TIMST,XX(2),PANM15;
TIMST,XX(76),NBPANM15;
TIMST,XX(5),PANM19;
TIMST,XX(77),NBPANM19;
TIMST,XX(8),PANM2;
TIMST,XX(78),NBPANM2;
TIMST,XX(11),PANM16;
TIMST,XX(79),NBPANM16;
TIMST,XX(14),PANM9;
TIMST,XX(80),NBPANM9;
TIMST,XX(17),PANM10;
TIMST,XX(81),NBPANM10;
TIMST,XX(20),PANM7;
TIMST,XX(82),NBPANM7;
TIMST,XX(23),PANM8A;
TIMST,XX(83),NBPANM8A;

```

```
TIMST,XX(26),PANM6A;  
TIMST,XX(84),NBPANM6A;  
TIMST,XX(29),PANM11;  
TIMST,XX(99),NBPANM11;  
TIMST,XX(31),PANM4;  
TIMST,XX(85),NBPANM4;  
TIMST,XX(34),PANM3;  
TIMST,XX(86),NBPANM3;  
TIMST,XX(37),PANM1;  
TIMST,XX(87),NBPANM1;  
TIMST,XX(40),PANM5;  
TIMST,XX(88),NBPANM5;  
TIMST,XX(43),PANM14A;  
TIMST,XX(89),NBPANM14A;  
TIMST,XX(46),PANM13A;  
TIMST,XX(90),NBPANM13A;  
TIMST,XX(49),PANM20;  
TIMST,XX(91),NBPANM20;  
TIMST,XX(52),PANM12A;  
TIMST,XX(92),NBPANM12A;  
TIMST,XX(55),PANM12B;  
TIMST,XX(93),NBPANM12B;  
TIMST,XX(58),PANM13B;  
TIMST,XX(94),NBPANM13B;  
TIMST,XX(61),PANM14B;  
TIMST,XX(95),NBPANM14B;  
TIMST,XX(64),PANM6B;  
TIMST,XX(96),NBPANM6B;  
TIMST,XX(67),PANM6C;  
TIMST,XX(97),NBPANM6C;  
TIMST,XX(70),PANM8B;  
TIMST,XX(98),NBPANM8B;  
TIMST,XX(72),PANM8C;  
TIMST,XX(100),NBPANM8C;  
MONTR,CLEAR,700;  
INIT,0,3712;  
FIN;
```

**ANNEXE 7: RAPPORT DES RESULTATS
DE LA SIMULATION**

S L A M I I S U M M A R Y R E P O R T

SIMULATION PROJECT

BY AYADI ET BAAZIZ

DATE 12/ 7/1992

FUN NUMBER 1 OF 10

CURRENT TIME .3712E+04

STATISTICAL ARRAYS CLEARED AT TIME .7000E+03

STATISTICS FOR VARIABLES BASED ON OBSERVATION

	MEAN VALUE	STANDARD DEVIATION	COEFF. OF VARIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NO.OF OBS
TMS14	.150E+04	.597E+03	.398E+00	.772E+03	.232E+04	7
CADP14	.372E+03	.859E+02	.231E+00	.275E+03	.504E+03	7
TMS15	.209E+04	.826E+03	.395E+00	.756E+03	.319E+04	14
CADP15	.243E+03	.148E+03	.610E+00	.460E+02	.542E+03	14
TMS4	.267E+04	.108E+04	.404E+00	.146E+04	.354E+04	3
CADP4	.107E+04	.727E+03	.683E+00	.551E+03	.158E+04	2
TMS2	.285E+04	.891E+03	.313E+00	.185E+04	.356E+04	3
CADP2	.924E+03	.551E+03	.597E+00	.534E+03	.131E+04	2
TMS1	.248E+04	.506E+03	.204E+00	.196E+04	.297E+04	3
CADP1	.880E+03	.729E+03	.828E+00	.428E+03	.172E+04	3
TMS3	.265E+04	.395E+03	.149E+00	.206E+04	.290E+04	4
CADP3	.357E+03	.416E+03	.117E+01	.930E+02	.837E+03	3
TMS16	.176E+04	.467E+03	.265E+00	.134E+04	.232E+04	4
CADP16	.450E+03	.293E+03	.651E+00	.880E+02	.774E+03	4
TMS7	.190E+04	.101E+04	.532E+00	.847E+03	.348E+04	7
CADP7	.449E+03	.361E+03	.805E+00	.295E+02	.913E+03	6
TMS9	.132E+04	.434E+03	.328E+00	.652E+03	.197E+04	10
CADP9	.186E+03	.978E+02	.527E+00	.460E+02	.339E+03	10
TMS10	.221E+04	.488E+03	.221E+00	.186E+04	.255E+04	2
CADP10	.624E+03	.000E+00	.000E+00	.624E+03	.624E+03	1
TMS11	.359E+04	.000E+00	.000E+00	.359E+04	.359E+04	1
CADP11			NO VALUES RECORDED			
TMS8	.183E+04	.926E+03	.506E+00	.595E+03	.312E+04	10
CADP8	.322E+03	.191E+03	.593E+00	.250E+02	.580E+03	10
TMS5	.185E+04	.735E+03	.396E+00	.105E+04	.332E+04	9
CADP5	.297E+03	.291E+03	.979E+00	.125E+02	.745E+03	8
TMS6	.174E+04	.868E+03	.500E+00	.749E+03	.314E+04	11
CADP6	.249E+03	.204E+03	.819E+00	.170E+02	.735E+03	11
TMS13	.205E+04	.845E+03	.413E+00	.837E+03	.345E+04	22
CADP13	.136E+03	.117E+03	.856E+00	.100E+02	.408E+03	22
TMS12	.191E+04	.790E+03	.415E+00	.655E+03	.282E+04	9
CADP12	.328E+03	.165E+03	.503E+00	.108E+03	.537E+03	9

STATISTICS FOR TIME-PERSISTENT VARIABLES

	MEAN VALUE	STANDARD DEVIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	TIME INTERVAL	CURRENT VALUE
PANM15	32.596	17.343	.00	50.14	3012.000	28.83
NBPANM15	2.000	1.257	.00	4.00	3012.000	4.00
PANM19	13.540	3.789	10.39	20.27	3012.000	14.05
NBPANM19	3.345	1.602	1.00	7.00	3012.000	7.00

2.428 9 0 84.488
 30 CALENDAR 42.097 6.648 56 29 20.899

RESOURCE STATISTICS

RESOURCE NUMBER	RESOURCE LABEL	CURRENT CAPACITY	AVERAGE UTIL	STANDARD DEVIATION	MAXIMUM UTIL	CURRENT UTIL
1	M15	1	.99	.096	1	1
2	M19	1	.36	.480	1	0
3	M2	1	.34	.475	1	0
4	M16	1	.75	.433	1	0
5	M23	1	.73	.446	1	1
6	M9	1	.30	.459	1	0
7	M10	1	.44	.497	1	0
8	M8A	1	.20	.401	1	0
9	M8B	1	.38	.486	1	0
10	M8C	1	.55	.498	1	0
11	M6A	1	.40	.489	1	0
12	M6B	1	.59	.492	1	0
13	M6C	1	.78	.417	1	0
14	M11	1	.20	.403	1	0
15	M4	1	.39	.487	1	0
16	M3	1	.71	.455	1	1
17	M1	1	.31	.463	1	0
18	M5	1	.21	.404	1	0
19	M14A	1	.23	.423	1	0
20	M14B	1	.36	.481	1	0
21	M13A	1	.91	.290	1	0
22	M13B	1	.76	.426	1	0
23	M20	1	.06	.240	1	0
24	M21A	1	.96	.196	1	0
25	M21B	1	.85	.354	1	0
26	M12A	1	.66	.474	1	0
27	M12B	1	.82	.388	1	0
28	M22	1	1.00	.000	1	0
29	M7	1	.41	.492	1	1
						0

RESOURCE NUMBER	RESOURCE LABEL	CURRENT AVAILABLE	AVERAGE AVAILABLE	MINIMUM AVAILABLE	MAXIMUM AVAILABLE
1	M15	0	-.0378	-1	0
2	M19	1	.6124	-1	1
3	M2	1	.5379	-1	1
4	M16	1	.2390	-1	1
5	M23	0	.2746	0	1
6	M9	1	.6648	-1	1
7	M10	1	.5364	-1	1
8	M8A	1	.7634	-1	1
9	M8B	1	.6031	-1	1
10	M8C	1	.4180	-1	1
11	M6A	1	.5360	-1	1
12	M6B	1	.3597	-1	1
13	M6C	1	.1765	-1	1
14	M11	1	.7394	-1	1
15	M4	1	.6072	-1	1
16	M3	0	.2842	-1	1
17	M1	1	.6759	-1	1
18	M5	1	.7788	0	1

13	M1	AWAIT	.164	.516	3	0	38.020
14	M5	AWAIT	.112	.612	6	0	9.954
15	M14A	AWAIT	1.455	3.125	13	0	208.648
16	M13A	AWAIT	5.866	3.926	12	0	841.289
17	M20	AWAIT	.020	.158	2	0	.317
18	M21A	AWAIT	3.114	2.054	7	0	95.714
19	M12A	AWAIT	.628	1.033	4	0	33.784
20	M22	AWAIT	58.602	24.733	91	86	861.018
21	M7	AWAIT	.889	1.288	4	0	446.333
22	M13B	AWAIT	4.863	4.254	12	0	636.899
23	M21B	AWAIT	2.663	1.995	7	0	86.248
24	M8B	AWAIT	2.848	4.146	11	0	389.881
25	M8C	AWAIT	4.007	4.107	10	0	377.113
26	M6B	AWAIT	7.033	6.764	19	0	432.338
27	M6C	AWAIT	9.732	6.325	20	0	496.838
28	M14B	AWAIT	3.057	4.888	15	0	279.045
29	M12B	AWAIT	1.879	2.428	9	0	84.488
30		CALENDAR	42.097	6.648	56	29	20.899

RESOURCE STATISTICS

RESOURCE NUMBER	RESOURCE LABEL	CURRENT CAPACITY	AVERAGE UTIL	STANDARD DEVIATION	MAXIMUM UTIL	CURRENT UTIL
1	M15	1	.99	.096	1	1
2	M19	1	.36	.480	1	0
3	M2	1	.34	.475	1	0
4	M16	1	.75	.433	1	0
5	M23	1	.73	.446	1	1
6	M9	1	.30	.459	1	0
7	M10	1	.44	.497	1	0
8	M8A	1	.20	.401	1	0
9	M8B	1	.38	.486	1	0
10	M8C	1	.55	.498	1	0
11	M6A	1	.40	.489	1	0
12	M6B	1	.59	.492	1	0
13	M6C	1	.78	.417	1	0
14	M11	1	.20	.403	1	0
15	M4	1	.39	.487	1	0
16	M3	1	.71	.455	1	1
17	M1	1	.31	.463	1	0
18	M5	1	.21	.404	1	0
19	M14A	1	.23	.423	1	0
20	M14B	1	.36	.481	1	0
21	M13A	1	.91	.290	1	0
22	M13B	1	.76	.426	1	0
23	M20	1	.06	.240	1	0
24	M21A	1	.96	.196	1	0
25	M21B	1	.85	.354	1	0
26	M12A	1	.66	.474	1	0
27	M12B	1	.82	.388	1	0
28	M22	1	1.00	.000	1	0
29	M7	1	.41	.492	1	1

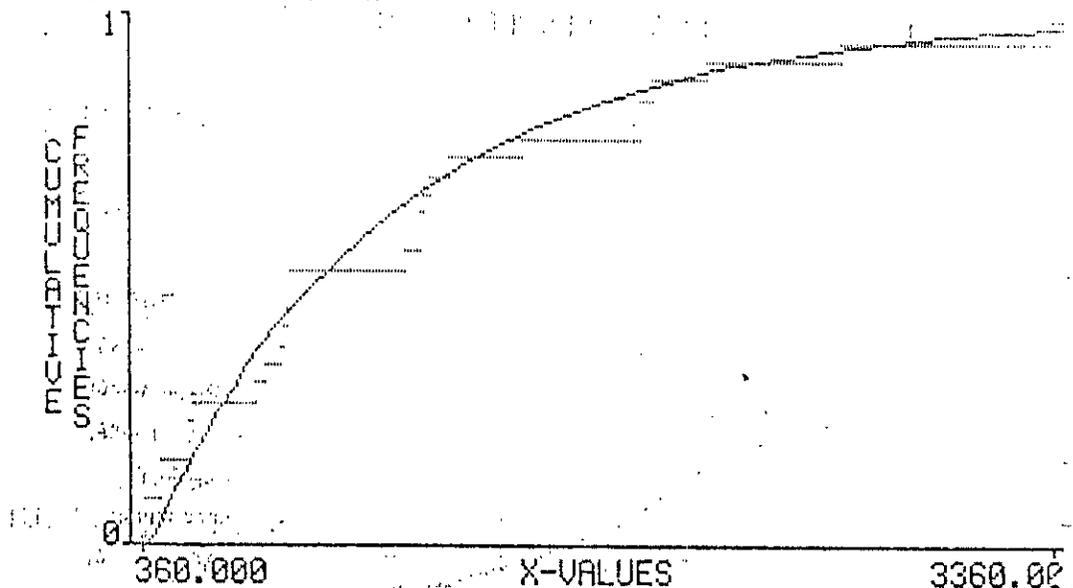
RESOURCE NUMBER	RESOURCE LABEL	CURRENT AVAILABLE	AVERAGE AVAILABLE	MINIMUM AVAILABLE	MAXIMUM AVAILABLE
1	M15	0	-.0378	-1	0
2	M19	1	.6124	-1	1
3	M2	1	.5379	-1	1

4	M16	1	.2390	-1	1
5	M23	0	.2746	0	1
6	M9	1	.6648	-1	1
7	M10	1	.5364	-1	1
8	M8A	1	.7634	-1	1
9	M8B	1	.6031	-1	1
10	M8C	1	.4180	-1	1
11	M6A	1	.5360	-1	1
12	M6B	1	.3597	-1	1
13	M6C	1	.1765	-1	1
14	M11	1	.7394	-1	1
15	M4	1	.6072	-1	1
16	M3	0	.2842	-1	1
17	M1	1	.6759	-1	1
18	M5	1	.7788	0	1
19	M14A	1	.6831	-1	1
20	M14B	1	.5707	-1	1
21	M13A	1	.0904	-1	1
22	M13B	1	.2234	-1	1
23	M20	1	.9198	0	1
24	M21A	1	.0398	0	1
25	M21B	1	.1470	0	1
26	M12A	1	.2349	-1	1
27	M12B	1	.1199	-1	1
28	M22	0	.0000	0	1
29	M7	1	.5340	-1	1

ANNEXE 8:RESULTATS DES AJUSTEMENTS

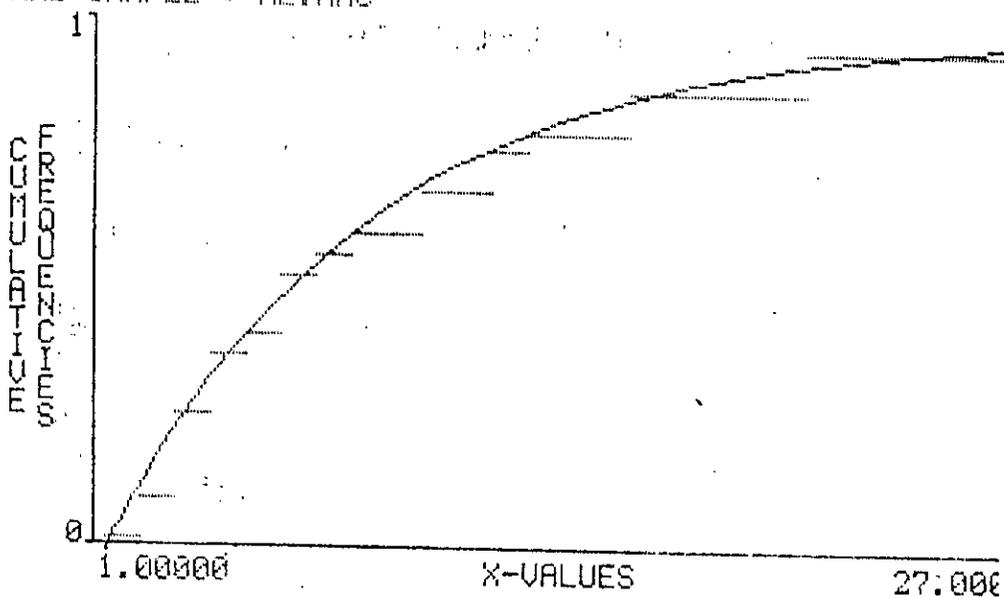
- Courbes des fonctions de répartition des durées de bon fonctionnement
- Courbes des fonctions de répartition des durées de réparation

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : ML.TBF



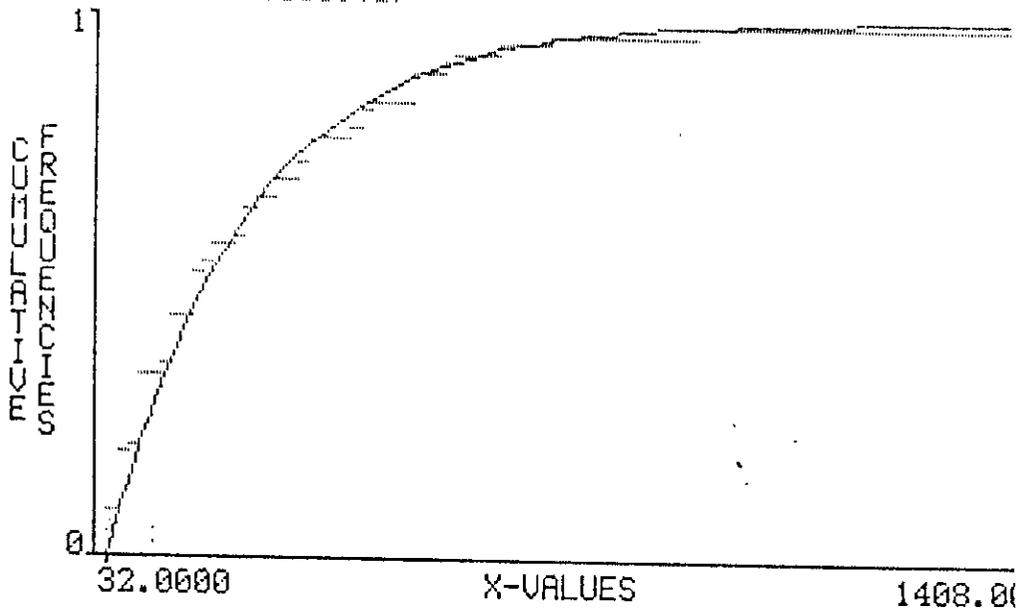
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M20

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : ML.MAC



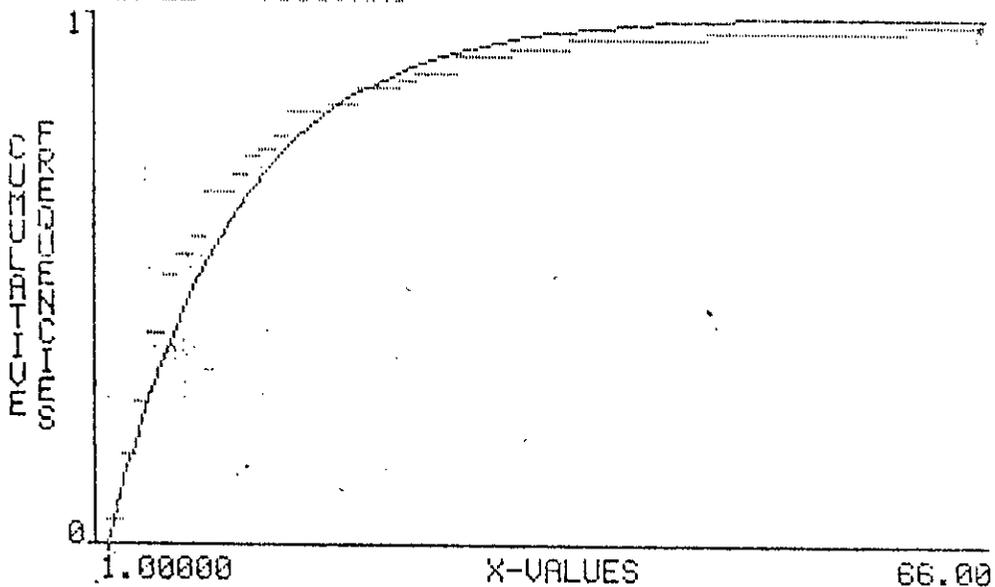
Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M20

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9031.TBF



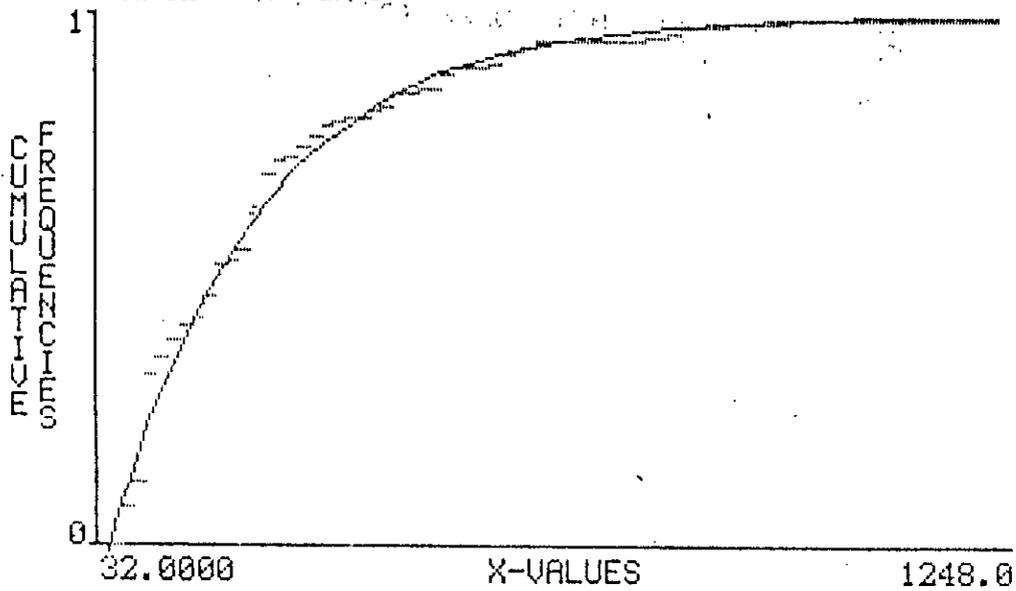
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M2

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9031.MAL



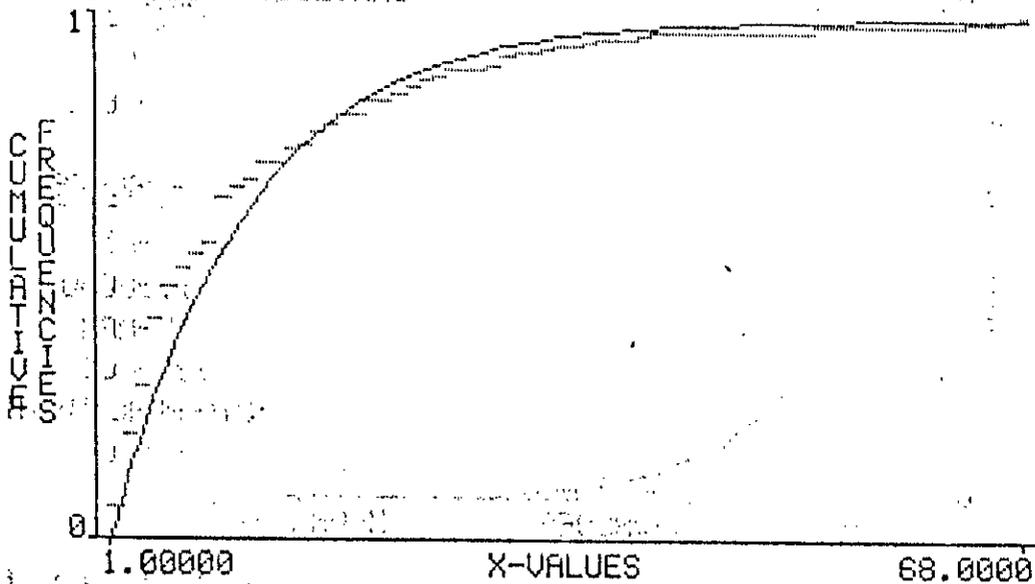
Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M2

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : X 9062/63



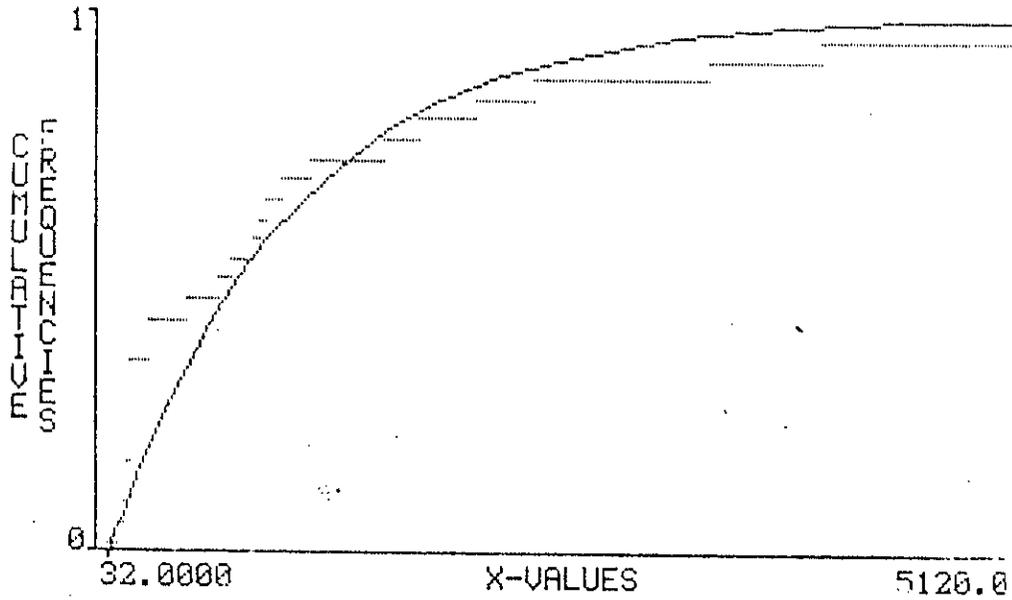
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M12

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9062.MAC



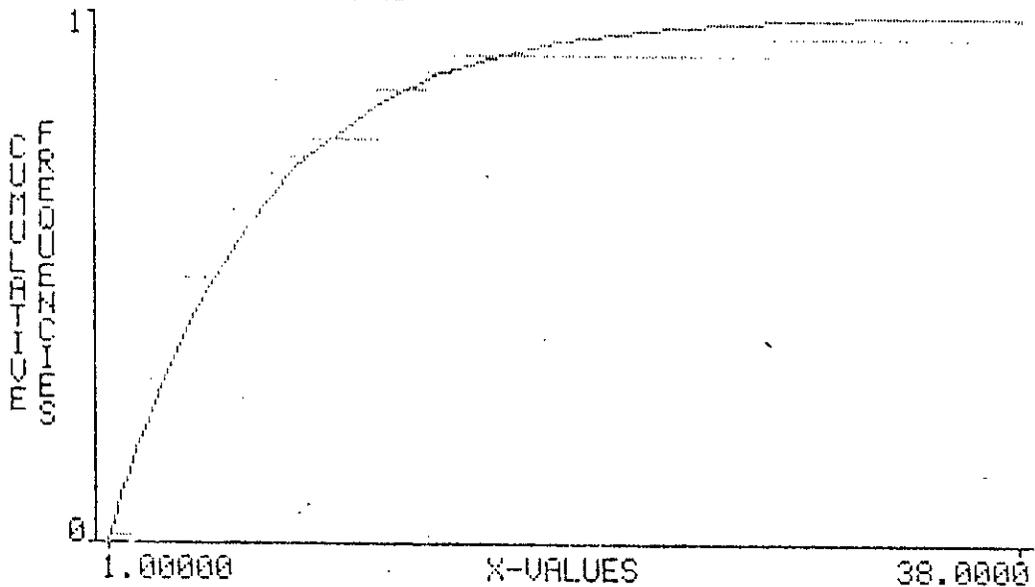
Fonction de répartition des durées de
réparation de la machine M12

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 2389. TRF



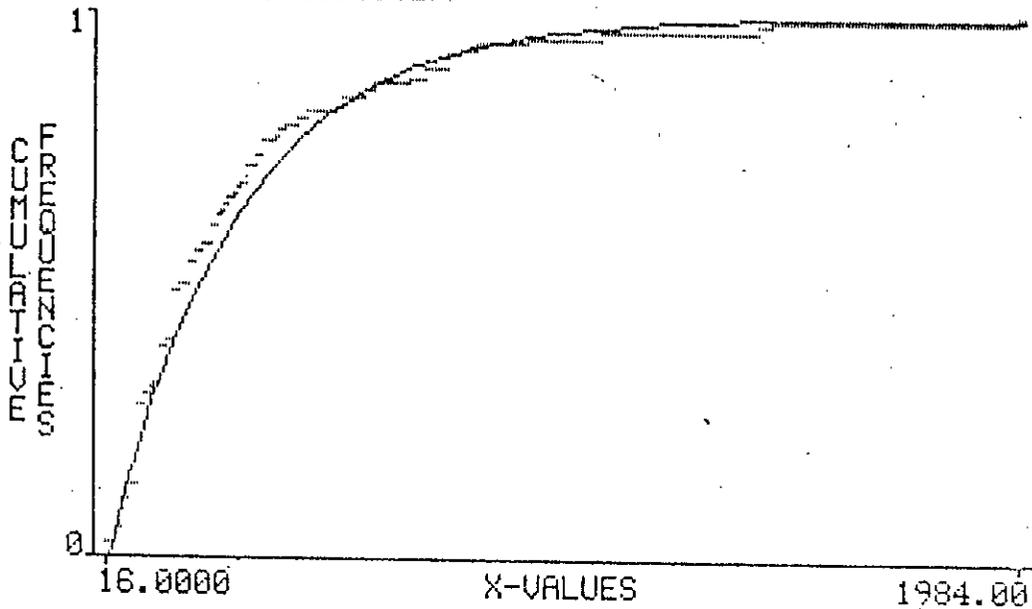
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M15

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 2009. PAC



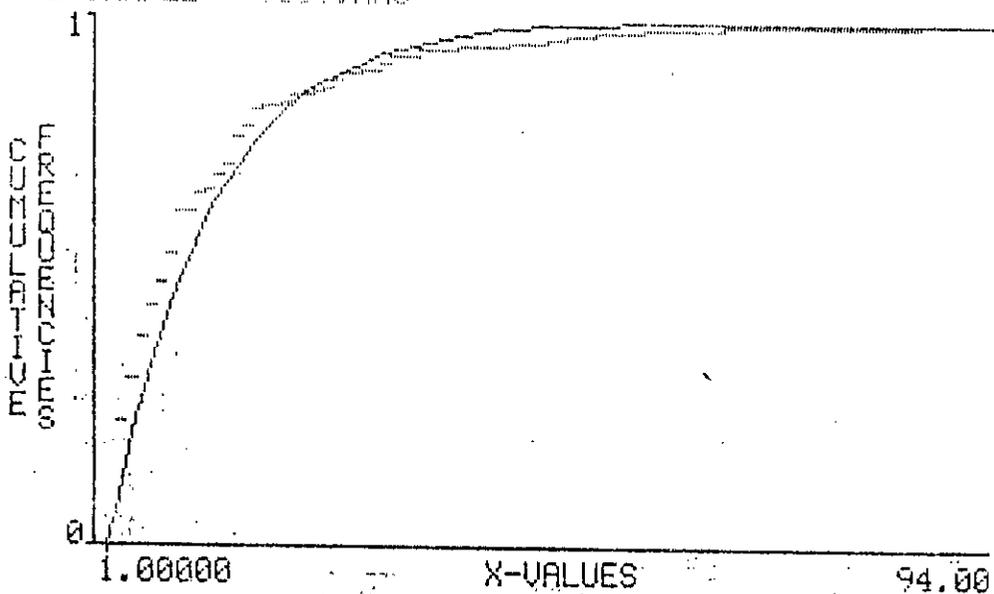
Fonction de répartition des durées de
de réparation de la machine M15

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 575859.TBF



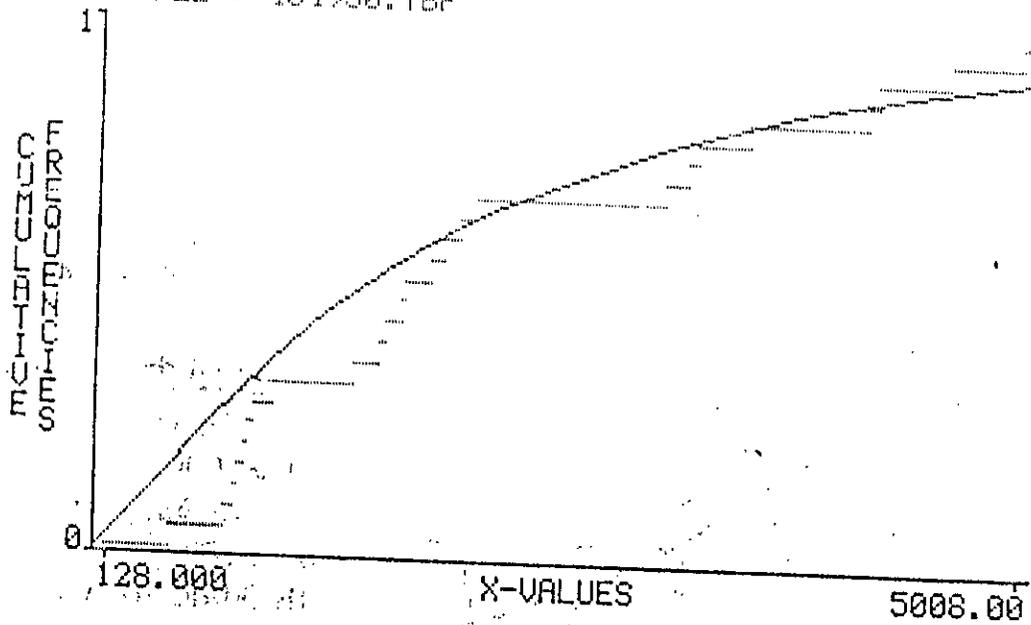
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M6

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9059.MAC



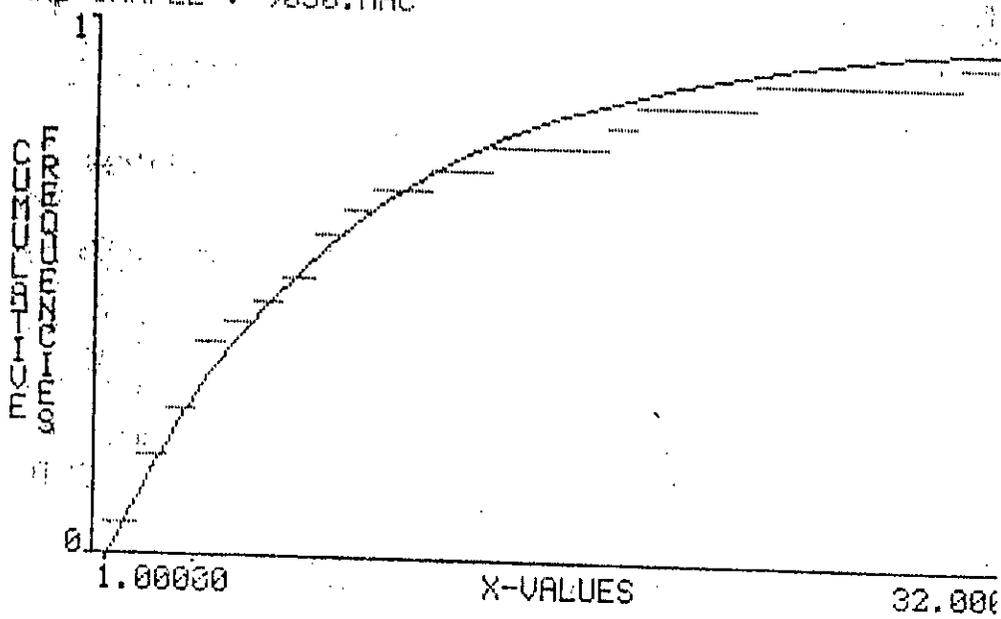
Fonction de répartition des durées de
réparation de la machine M6

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 484950.TBF



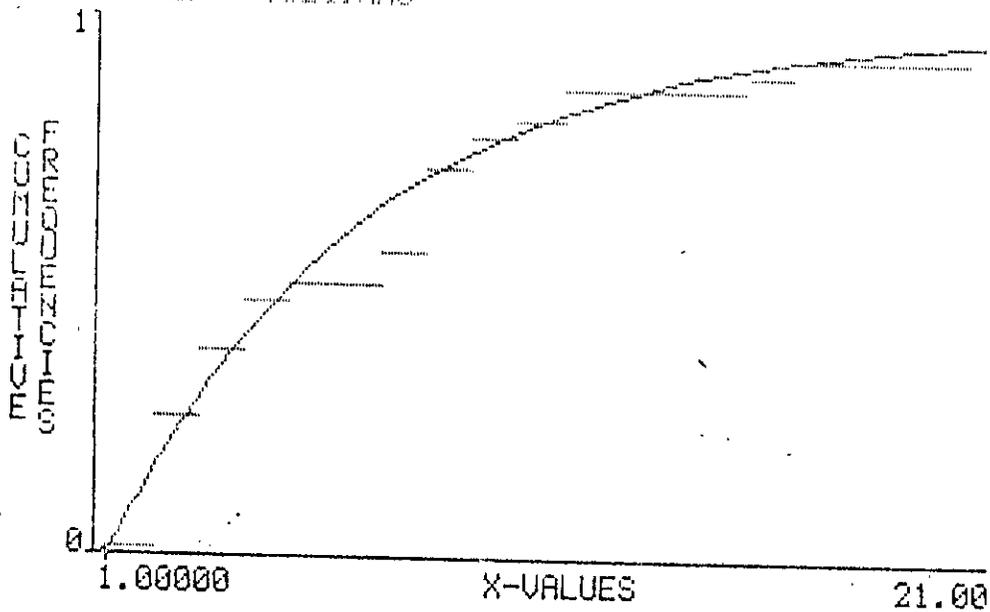
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M16

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9050.MAC



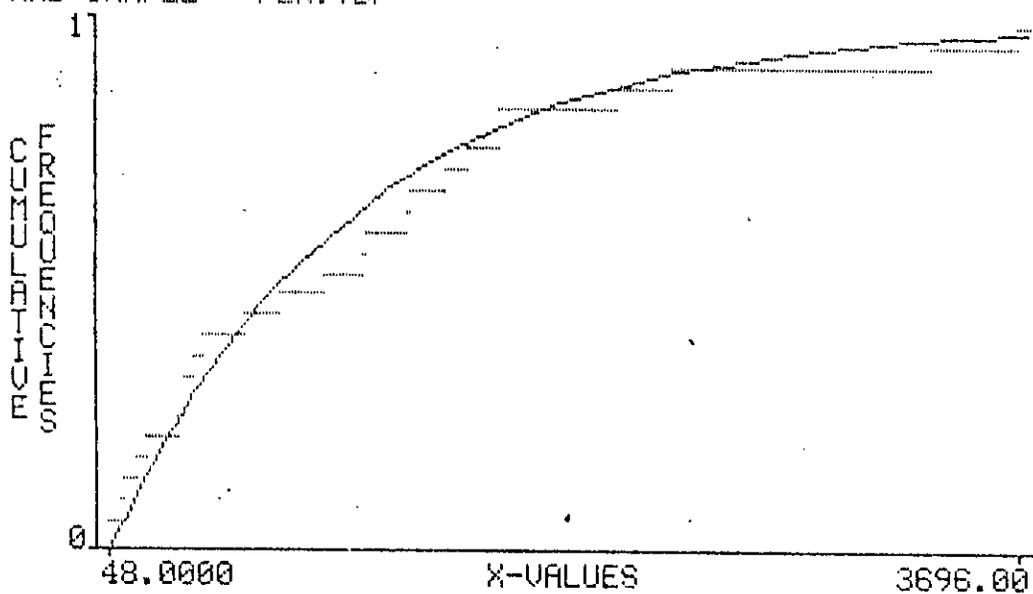
Fonction de répartition des durées de
de réparation de la machine M16

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9824.MAC



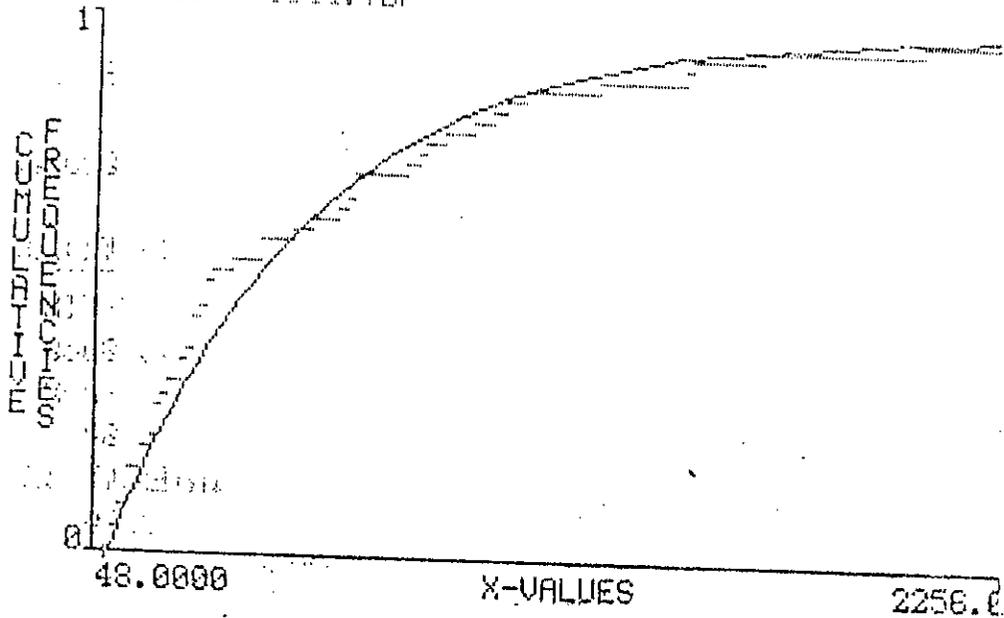
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M3

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : PER.TBF



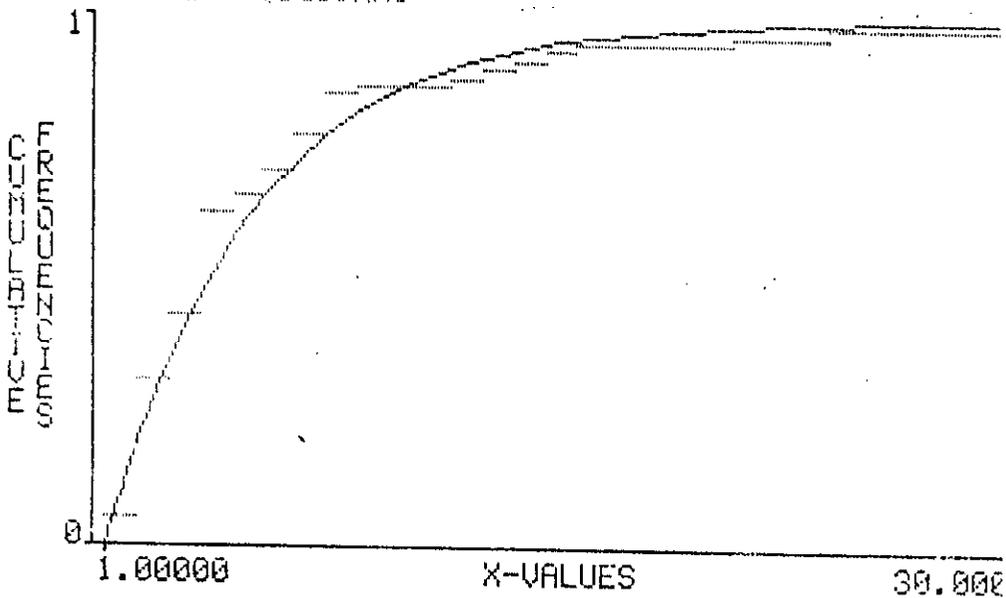
Fonction de répartition des durées de
réparation de la machine M3

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 4344.TBF



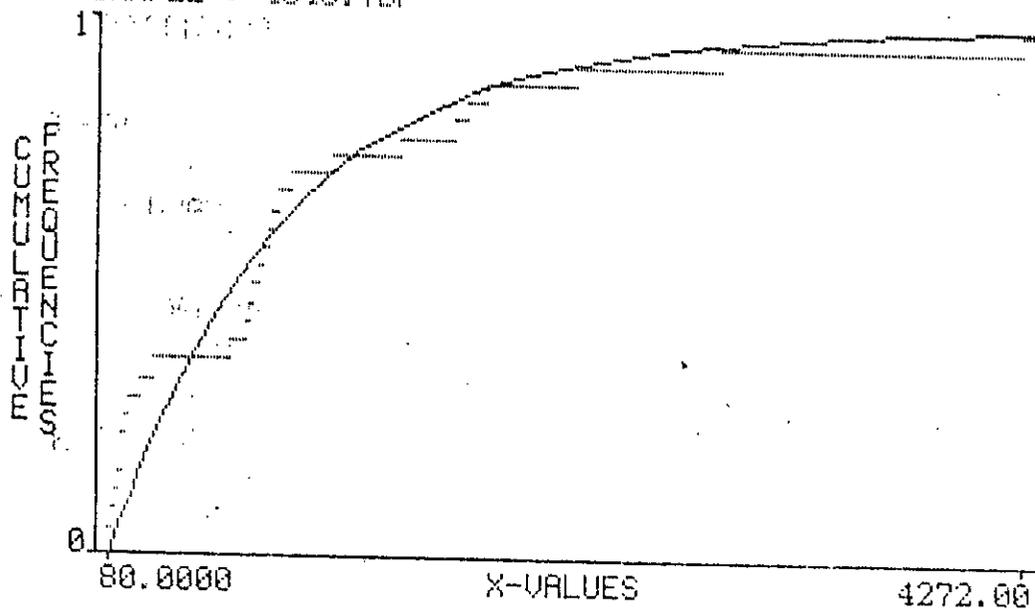
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M19

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9043.MAC



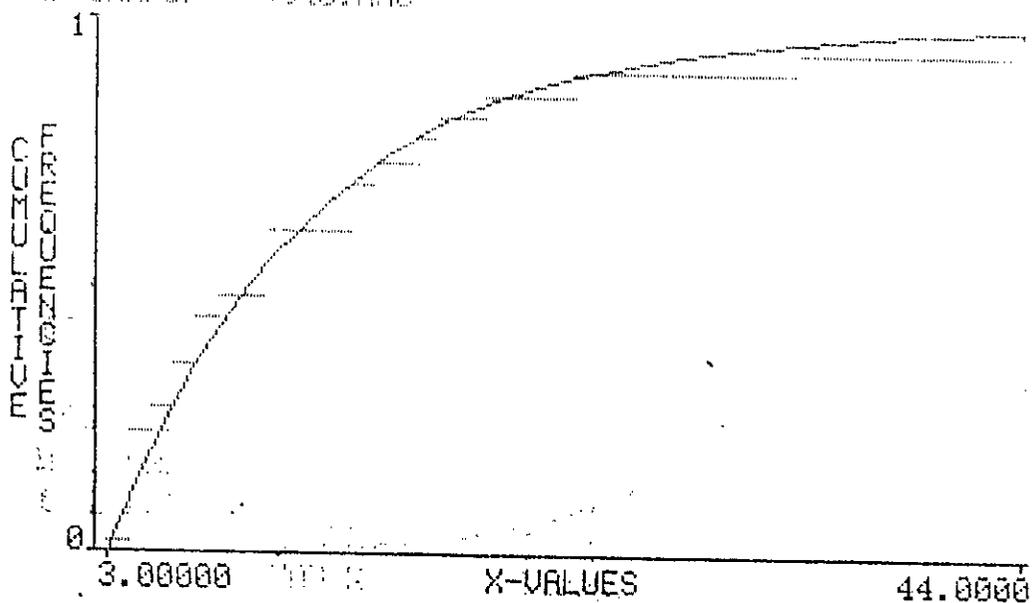
Fonction de répartition des durées de
de réparation de la machine M19

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 4546.TBF



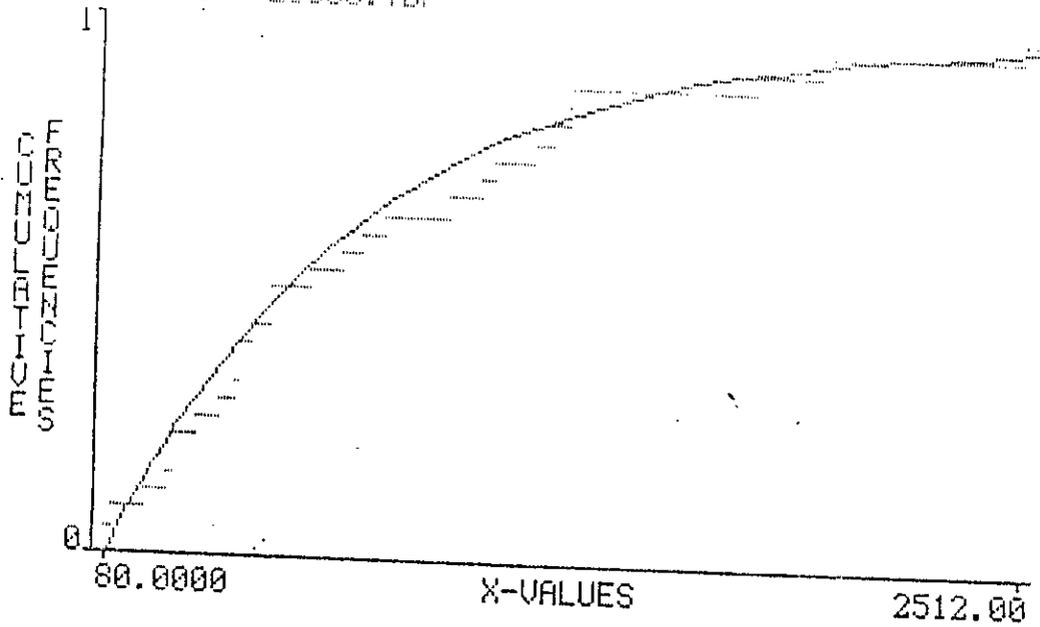
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M13

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9645.MAD



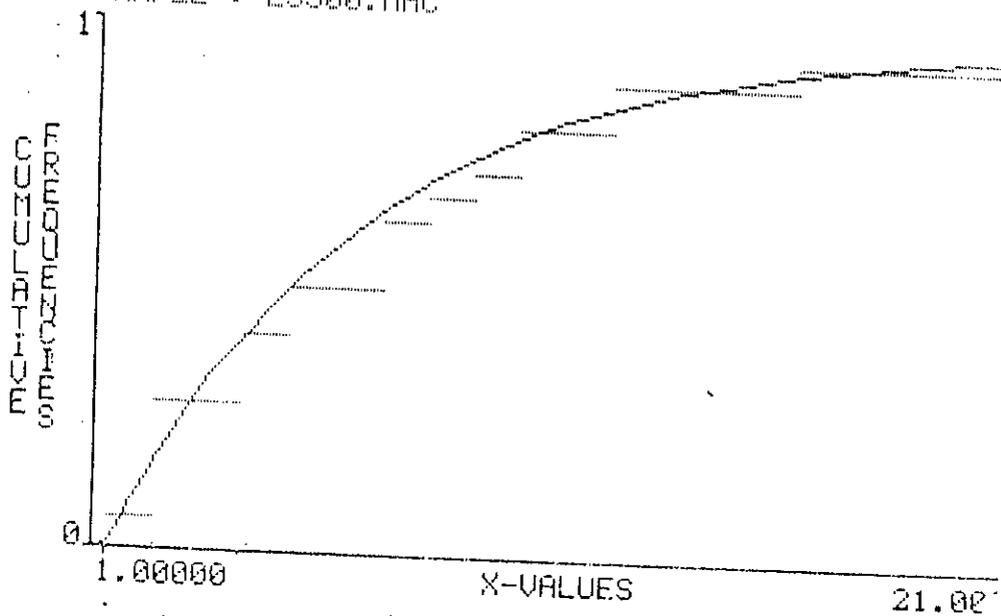
Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M13

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : LS300.TBF



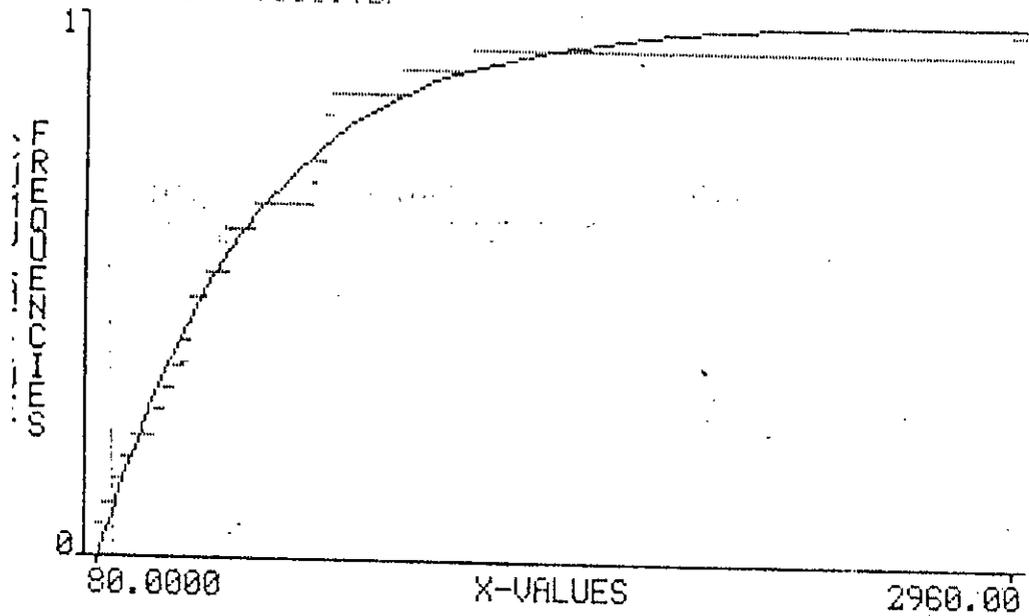
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M10

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : LS300.MAC



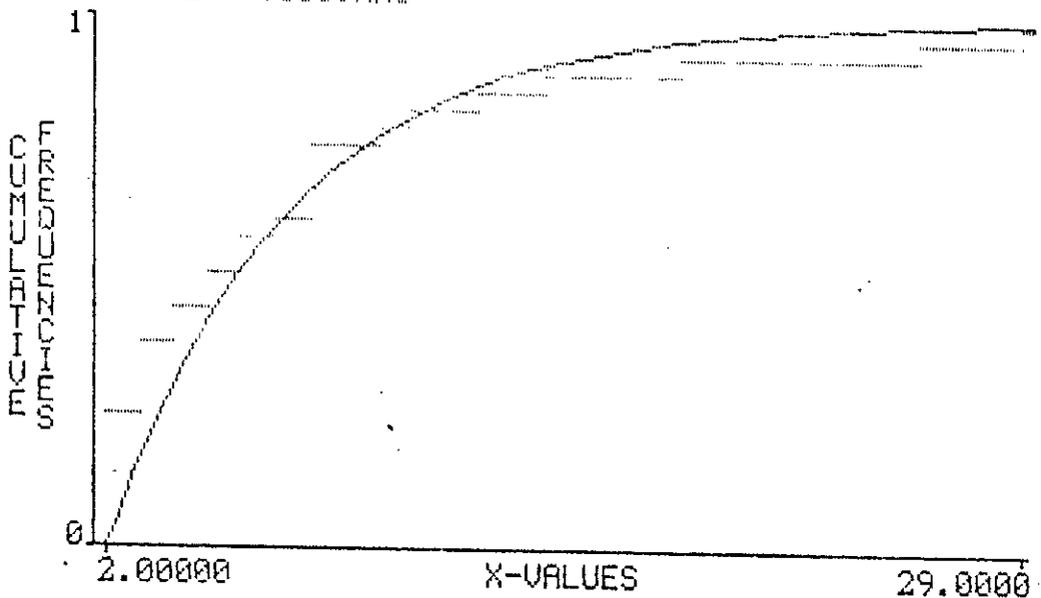
Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M10

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9856.TBF



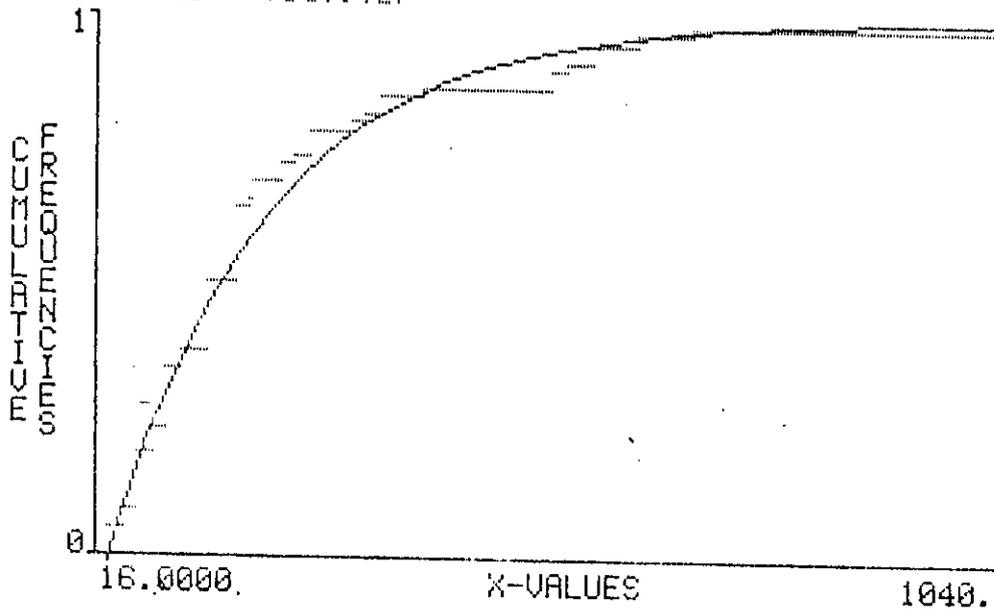
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M9

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9056.MAC



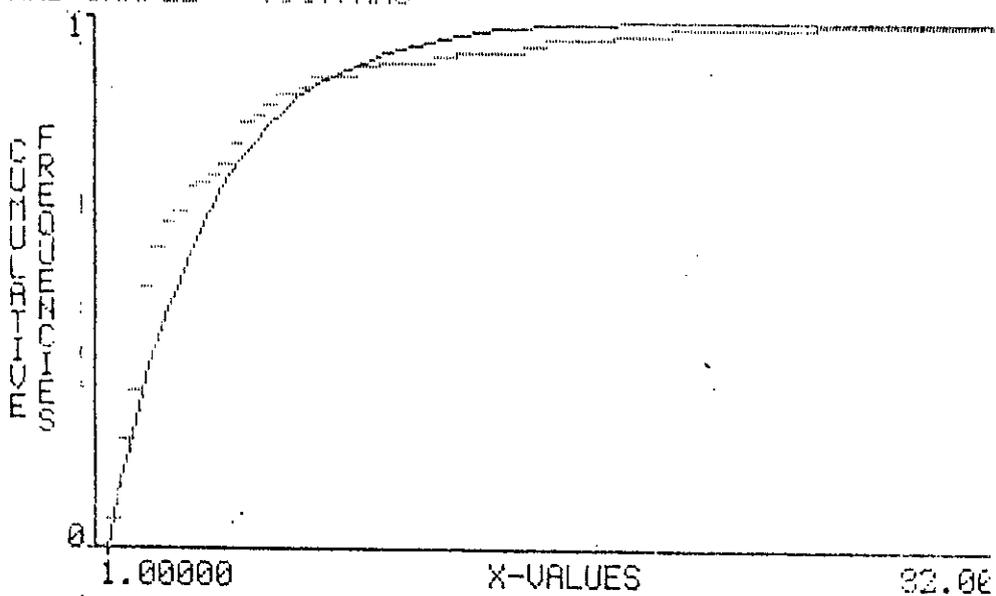
Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M9

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9047.TBF



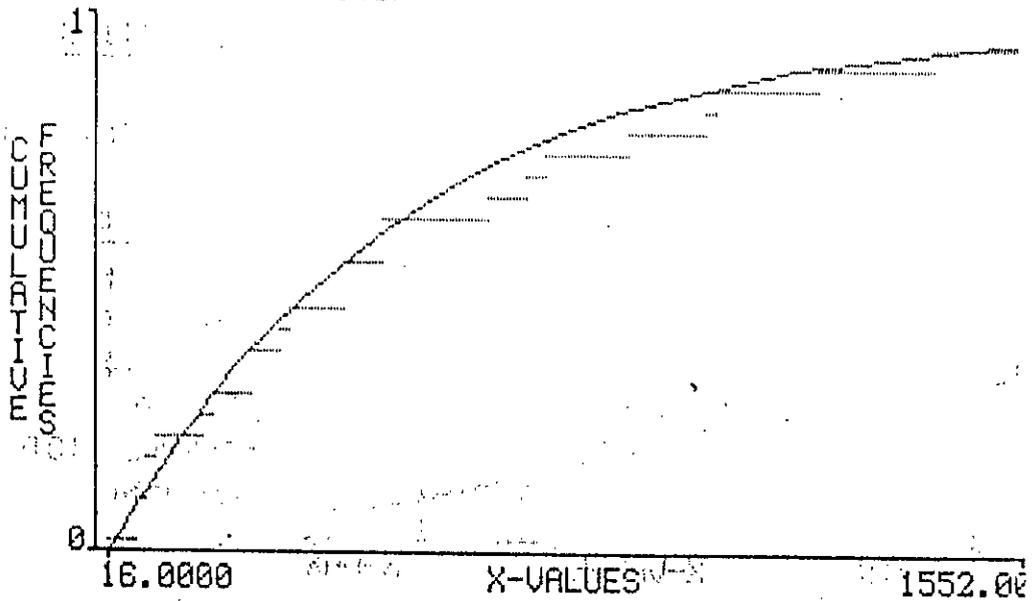
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M14

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9047.MAC



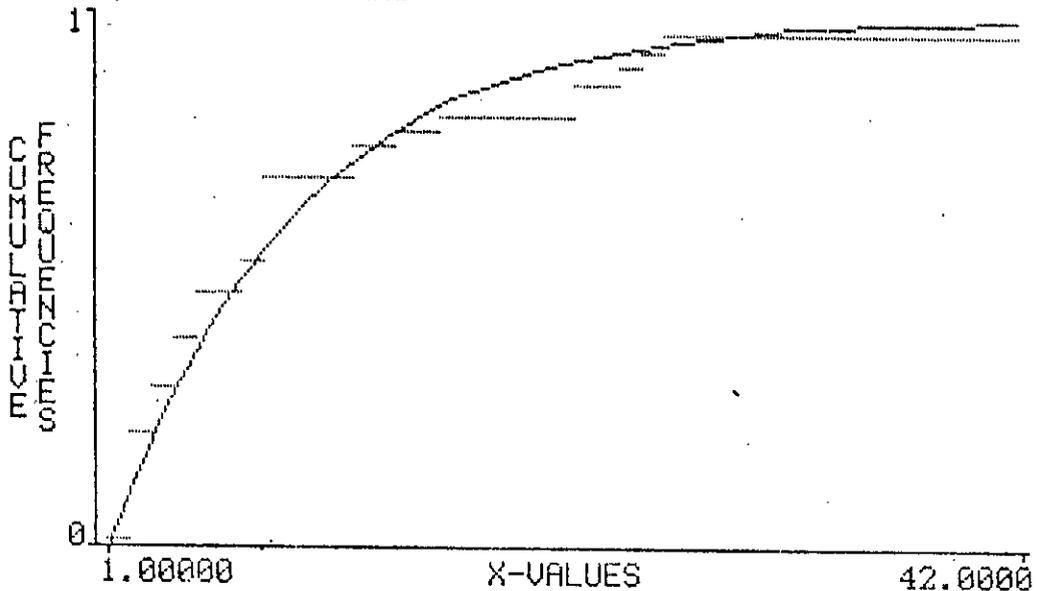
Fonction de répartition des durées de
de réparation de la machine M14

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9061.TBF



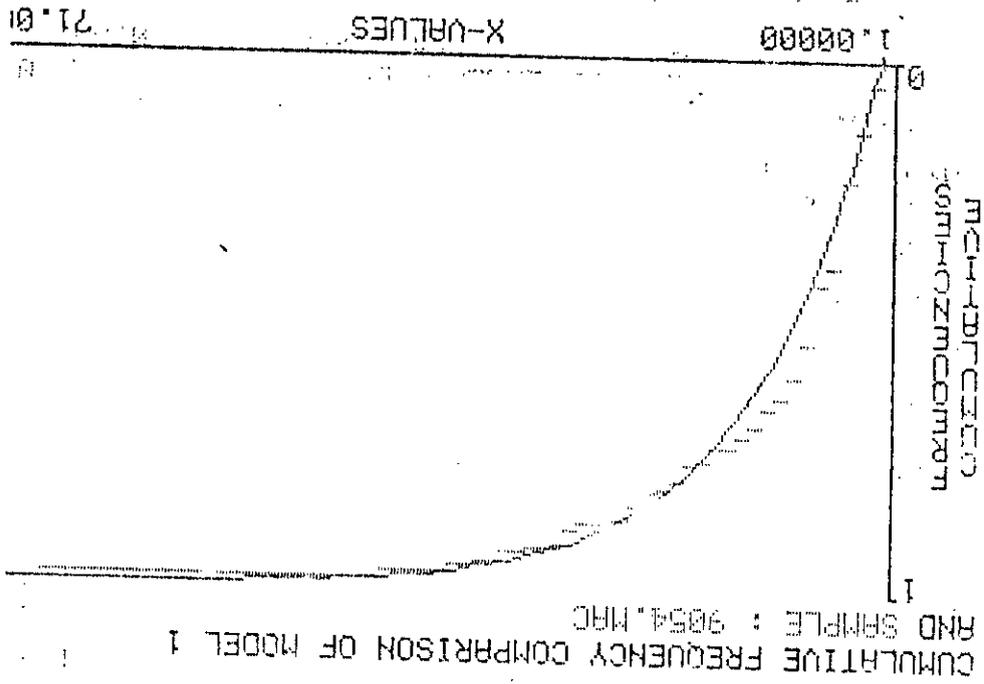
Fonction de répartition de défaillance
de la machine M11.

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9061.MAC

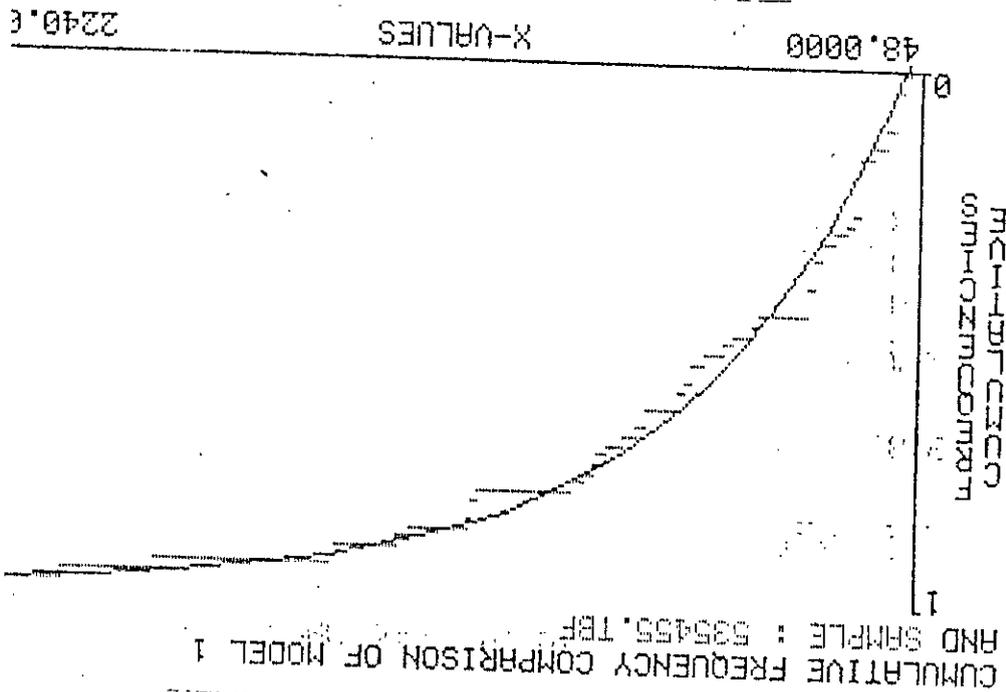


Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M11.

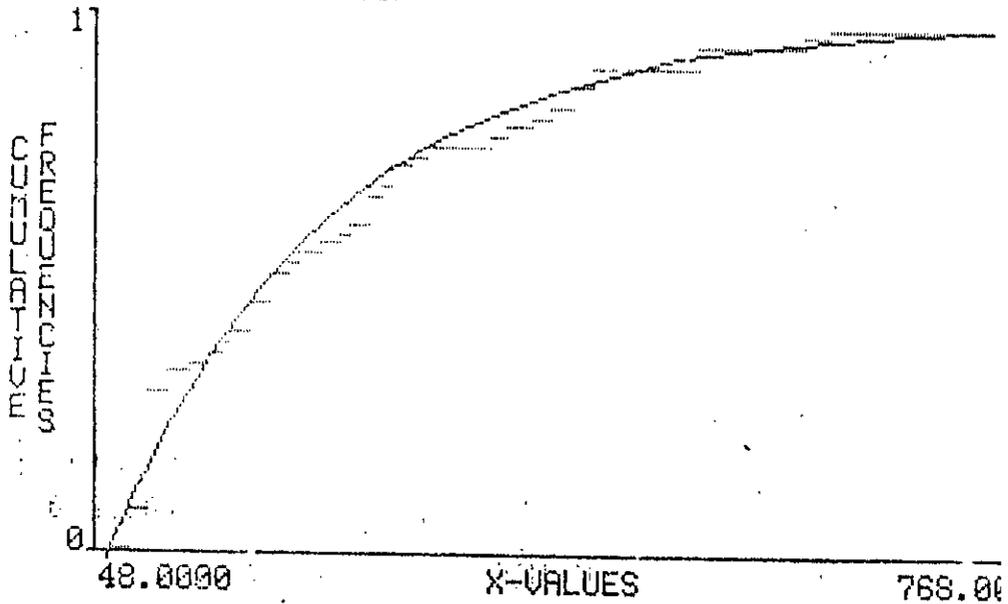
Fonction de répartition de la machine M8
de réparation de la machine M8



Fonction de répartition de déraillement
de la machine M8

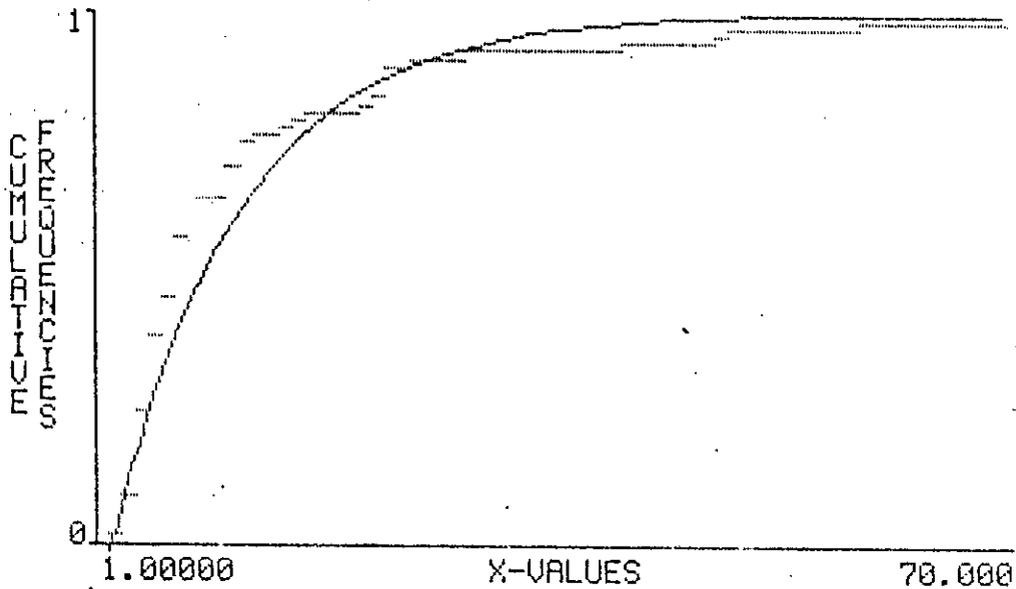


CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9060.TBF



Fonction de répartition de défaillance
de la machine M7

CUMULATIVE FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE : 9060.MAC



Fonction de répartition des durées
de réparation de la machine M7