

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

«O»

وزارة التعليم العالي
Ministère de l'Enseignement Supérieur

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

«O»

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

Sujet

ETUDE DES DEFAILLANCES
DES EQUIPEMENTS STRATEGIQUES
DE L'UNITE HYDRO-CANAL
(KHEMIS EL-KHECHNA)

Proposé par :

HYDRO-CANAL

Etudié par :

A. MAKKEB

M. MELOUAH

Dirigé par :

Mr A. OUABDESSELAM

Promotion : Juin 1989

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - العلوية
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

دائرة: الهندسة الصناعية

PROMOTEUR : Mr Ouabdesselem

المشرف: السيد أوعبد السلام

ELEVES INGENIEURS : Mr A.MAKKEB
Mr M.MELOUAH

الطالبان: مكاب أكلمبا
-ملواح محمد-

الموضوع : إن الغاية من هذه الدراسة هو التحليل الكمي للأعطاب التي تطرأ على التجهيزات الإستراتيجية لوحدة قنوات الري لخميس الخشنة وهذه بتطبيق المفاهيم الأساسية للصيانة المتعملة في الموثوقية، الموصولية والموفرة و التي تمثل القاعدة الأساسية لإختيار سياسة ملائمة للصيانة .

SUJET : ETUDE DES DEFAILLANCES DES EQUIPEMENTS STRATEGIQUES
DE L'UNITE HYDRO-CANAL (KHEMIS-EL-KHECHNA)

RÉSUMÉ

Cette étude consiste en une analyse quantitative des avaries d'équipements stratégiques de l'unité hydro-canal , en procédant par l'application des concepts clés de la maintenance fondée , à savoir fiabilité, maintenabilité et disponibilité qui serviront de base pour le choix d'une politique de maintenance adéquate .

SUBJECT : Study of strategic equipment failures in the
HYDRO-CANAL unit

ABSTRACT : The aim of this study consists in a quantitative analysis of strategic equipment failures within the HYDRO-CANAL unit, proceeding with the application of maintenance key concepts which are reliability ,maintenability and availability; these elements determining the choice an appropriate maintenance policy .

DEDICACES

- A toute la famille
- A tous mes amis

je dedie ce modeste travail

MAKKEB

- A toute la famille
- A tous mes frères et amis

je dedie ce modeste travail

MELOUAH

REMERCIEMENTS

A Mr OUABDESSELEM : c'est avec une émotion pathétique que nous adressons nos chaleureux remerciements à notre promoteur pour son aide si précieuse et ses conseils bénéfiques prodigués .

Nous tenons à remercier Mr DJADI MENDOUAR qui merite des éloges pour son aide qu'il nous a prodiguée et l'assurons de notre profonde reconnaissance .

Nous tenons également à remercier pour leur collaboration : Mr GHELMANI MOHAMED chef de service méthodes , ainsi que tous les agents du service qui nous ont facilité la tâche durant notre séjour à l'unité .

Nous n'oublierons pas nos aimables frères et amis qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail .

PLAN

- INTRODUCTION	1
I- Présentation de l'entreprise HYDRO-CANAL	2
A- Structure l'entreprise	2
B- Présentation de l'unité de KHEMIS-EL-KHECHNA	3
1- Activités et objectifs de l'unité	3
2- Organigramme de l'unité	4
3- Processus de fabrication	5
3-a Description du support	5
3-b Présentation du processus de fabrication	5
4-Place de la maintenance au niveau de l'unité	8
4-a Service methodes et gestion du matériel	8
4-b Service entretien	9
4-c Analyse de la situation actuelle	10
II PARTIE THEORIQUE	11
A- Généralités sur la maintenance	12
1- Définition	12
2- Objectifs de la maintenance	12
3- Differentes formes de maintenance	12
3-a Maintenance corrective	12
3-b Maintenance préventive	13
3-c Organigramme de la maintenance	15
B- Notions de fiabilité-maintenabilité disponibilité	16
1- Fiabilité	16
1-a Définition	16
1-b Caracteristiques fondamentales de la fiabilité	16
1-c Principales lois de probabilités utilisées en fiabilité	17
1-d Caracteristiques de la loi de WEIBULL	18
1-e Tests d'ajustement	22
2- Notion de maintenabilité	24
2-a But de cette notion	24
2-b Définition	24
2-c Définition des temps techniques de réparation	24
2-d La fonction de maintenabilité	24
2-e Lois de distributions des durées d'interventions	25
3- Notion de disponibilité	27
3-a Définition	27
3-b Disponibilité instantanée d'un système réparable	28
3-c Disponibilité asymptotique	28

4- Politique de maintenance	29
4-a Définition	29
4-b Maintenance préventive ou corrective	29
4-b-1 Analyse technique	29
4-b-2 Analyse technico-économique	30
III PARTIE PRATIQUE	32
A- Collecte des données	33
B- Classification des équipements	34
C- Analyse globale des équipements	37
D- Etude de fiabilité des organes des équipements	58
E- Politique de maintenance	85
1- Analyse technique	85
2- analyse technico-économique	86
Conclusion	88
Annexes	89

INTRODUCTION

Les défaillances du matériel pésent d'un poids très lourd dans les comptes d'exploitation des entreprises, c'est pourquoi cette situation provoque actuellement en ALGERIE une intense réflexion .

Pour pallier à cette situation , le mot " entretien " fait place au concept plus général de " maintenance " . Celle-ci étudie tous les aspects liés au taux de marché ,tant sur le plan de la conception que sur celui de l' exploitation et des méthodes de travail . C'est ainsi que des concepts nouveaux tels que FIABILITE ,MAINTENABILITE,utilisant le calcul de probabilité et la statistique mathématique ont fait leur apparition au lendemain de la deuxième guerre mondiale .

De plus en plus , les services de maintenance sont conçus dans l'entreprise en tant que structures principales appelées à être consultées pour intervenir, conseiller, et participer de façon régulière aux activités de l'entreprise . Ainsi, ces structures sont amenées à concevoir une politique adéquate tout en actualisant les concepts clés et opérationnels de la maintenance .

C'est dans ce cadre que s'insère notre travail, qui consiste en l'étude des défaillances des équipements stratégiques de l'unité de production des supports en béton (HYDRO-CANAL)
Cette étude est structurée comme suit :

D'abord,une présentation de l'entreprise " HYDRO-CANAL " et de son unité de production implantée à KHEMIS-EL-KHECHNA, choisie comme support à notre étude ;

Suivie d'une partie théorique sur la maintenance faisant intervenir les concepts de FIABILITE , MAINTENABILITE et de DISPONIBILITE

Ensuite en application pratique , une troisième partie , traitant le cas des équipements stratégiques de l'unité .pour ce faire, nous avons procédé à l'exploitation des dossiers historiques des machines et des rapports d'interventions , par une analyse quantitative des avaries . Cette analyse servira de base pour le choix d'une politique de maintenance adéquate .

Enfin,une conclusion qui met en relief l'apport du présent travail dans le processus d'amélioration de la maintenance à HYDRO-CANAL .

I - PRESENTATION DE L'ENTREPRISE " HYDRO-CANAL "

L'office national du matériel hydraulique (ONAMHYD), a été créé par ordonnance numéro 75-16 du 27 février 1975 et inscrit au ministère de la planification et de l'aménagement du territoire sous le numéro #191#4.

Pour atteindre ses objectifs ,l'ONAMHYD s'est vu doté , en août 1978, par transfert,d'une partie du patrimoine productif détenu par la société nationale des matériaux de construction (SNMC).

Par décret n° 82-275 du 18 décembre 1982,a été créée l'entreprise nationale de production de tuyaux en béton (ENATUB),issue de la restructuration de l'office national du matériel hydraulique.

Le siège de l'entreprise est implanté a ORAN .

Le changement de dénomination de l'ENATUB en entreprise de canalisation hydraulique (HYDRO-CANAL) a eu lieu le 22 avril 1986 par décret n° 88-81.

L'entreprise " hydro-canal " est chargée,dans le cadre du plan national du développement économique et social, de la gestion et de l'exploitation des activités de production et de vente liées aux tuyaux en béton et aux supports électriques.

A) STRUCTURE DE L'ENTREPRISE

L'entreprise nationale " hydro-canal " regroupe huit unités de production sur le territoire national.

-UNITES CENTRE :

- Unité El Alia (El-Harrach)
- Unité Khemis-El-Khechna (Rouiba)

-UNITES EST :

- Unité El Hadjar (Annaba)
- Unité Hamma-Bouziane (Constantine)

-UNITES OUEST :

- Unité Oued Fodda (Chlef)
- Unité Oued Rhjou
- Unité Chabat El-Leham (Ain Temouchent)

-UNITE SUD :

- Unité Ouargla

B) PRESENTATION DE L'UNITE KHEMIS-EL-KHECHNA

L'unité de production " hydro-canal " de Khemis-El-Khechna est située à trente cinq kilomètres au nord-est d'Alger. Sa dénomination actuelle date de 1986 .

D'abord, celle-ci fût connue, depuis 1930, sous le nom de SOCOMAN société française chargée de la production des tuyaux de canalisations.

Ensuite, après un arrêt de huit ans, consacrés au réajustement des différents équipements de production, cette unité reprit ses activités sous la tutelle de la S.N.M.C (Société Nationale des Matériaux de Construction), et bénéficiera d'une enveloppe financière pour acquisition de 72 moules supports ainsi que des matériaux annexes.

Enfin, elle fût transférée, en 1978, à l'O.N.A.M.HYD (Office National du Matériel Hydraulique), pour exercer à partir de 1982 sous le nom de l'E.N.A.TU.B (Entreprise Nationale de production des Tuyaux en Béton).

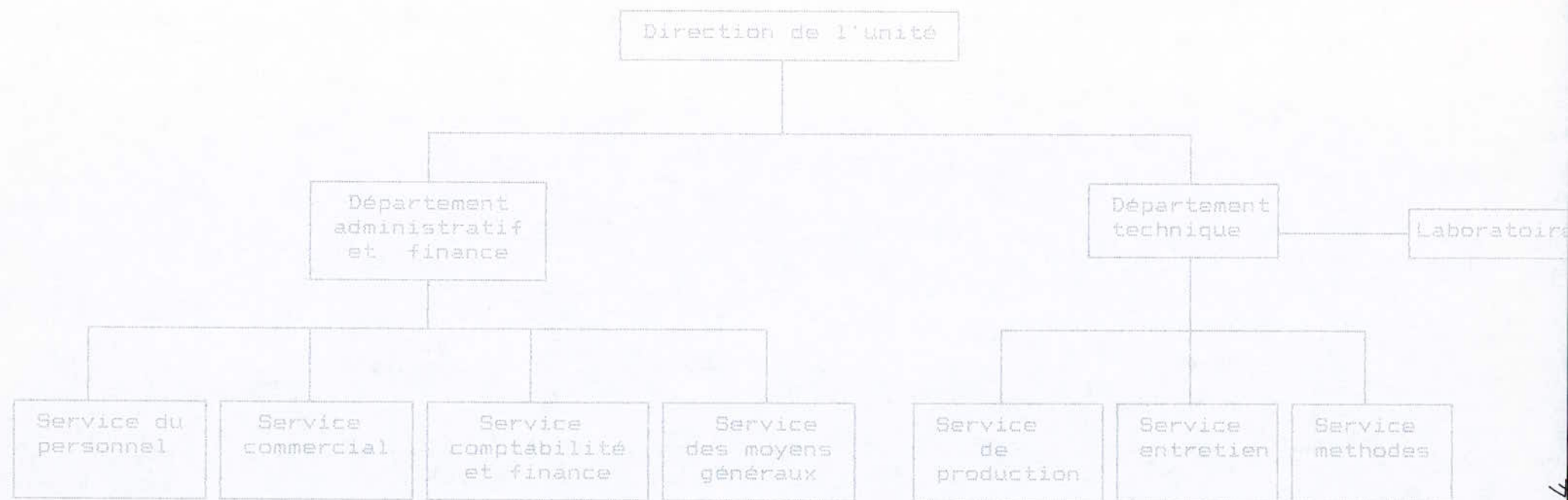
1- ACTIVITES ET OBJECTIFS DE L'UNITE KHEMIS-EL-KHECHNA

L'unité de Khemis-El-Khechna a pour activités la fabrication et la commercialisation des supports électriques en béton.

La capacité théorique de production est de 144 supports par jour, (organisée en deux équipes de 8 heures de travail chacune). Atteindre 95% de la capacité théorique de production, est l'objectif que se fixe l'unité .

a- CLASSIFICATION DE L' EFFECTIF PAR CATEGORIE PROFESSIONNELLE

CATEGORIE	EFFECTIF
Cadres	16
Agents maîtrises	38
Agents d'exécution	417
Effectif total	471



2- ORGANIGRAMME DE L UNITE

3- PROCESSUS DE FABRICATION

3-a DESCRIPTION DU SUPPORT :

Le support électrique en béton précontraint est composé de trois parties :

- l'armature principale de précontraint.
- l'armature secondaire.
- le béton.

1 l'armature principale :

L'armature principale de précontraint appelée " génératrice " est en acier cranté spécial.

Le nombre de génératrices dans le support varie en fonction de la résistance désirée.

2 l'armature secondaire :

L'armature secondaire est constituée de spirales en fil d'acier .

Son rôle est d'assurer une meilleure consistance du support au cours des opérations de manutention et de transport .

Elle sert également à tenir le voûte du béton au moment du retrait du noyau du support.

3 le béton :

Le béton employé pour la fabrication du support est le béton sec composé de :

- ciment du type : CPA - 35Ø
- agrégats du type : 3/8
- sable (fin lavé) .

3-b PRESENTATION DU PROCESSUS DE FABRICATION

Le processus de fabrication du support comprend les opérations suivantes :

- Préparation du moule
- Mise en place du ferrailage
- Coulage
- Etuvage
- Détente de génératrices
- Manutention, stockage.

a Préparation du moule :

Les flancs , la table et le passage des broches du moule, doivent être nettoyés et huilés (huile soluble) avant de placer le ferrailage.

b Mise en place du ferrailage :

Les génératrices, boutonnées par une seule extrémité, sont introduites dans les plaques de coffrage de pied et de tête, de même, la pièce d'ancrage de tête dans le panier de spires.

Une fois l'opération terminée, on procède au boutonnage de l'autre extrémité des génératrices. Ensuite, on monte l'ensemble sur le moule en plaçant les étrapes de pied.

A l'aide d'un vérin hydraulique, on lève légèrement les génératrices, pour répartir le panier de spires sur toutes leurs longueurs.

Enfin, on procède à la mise en tension finale après avoir ligaturé le panier de spires avec les génératrices.

Une fois le noyau huilé et mis en place, on engage les différentes broches. Le moule étant prêt, on met les vibrateurs en marche pour entamer la phase du coulage.

c Coulage :

Le coulage du béton se fait par un ou plusieurs employés à l'aide des pelles.

d Finition :

La finition de la surface ou lissage, se fait avec des disques en tôles épaisses. Une fois les vibrateurs arrêtés et les broches enlevées, on retire le noyau à l'aide d'un extracteur à volant.

e Étuvage :

L'étuvage consiste à envoyer dans le support la vapeur d'eau humide à une température de 200°C.

Cette opération varie entre 3 et 5 heures.

Elle permet d'obtenir un séchage rapide.

f Détente de génératrices :

On bloque les tiges de fixation et on écarte les flancs à l'aide des contre-poides fixés sur ces derniers par des silents bloc.

A l'aide d'un vérin hydraulique, on égalise la tension des génératrices pour débloquent l'écrou de la vis de traction.

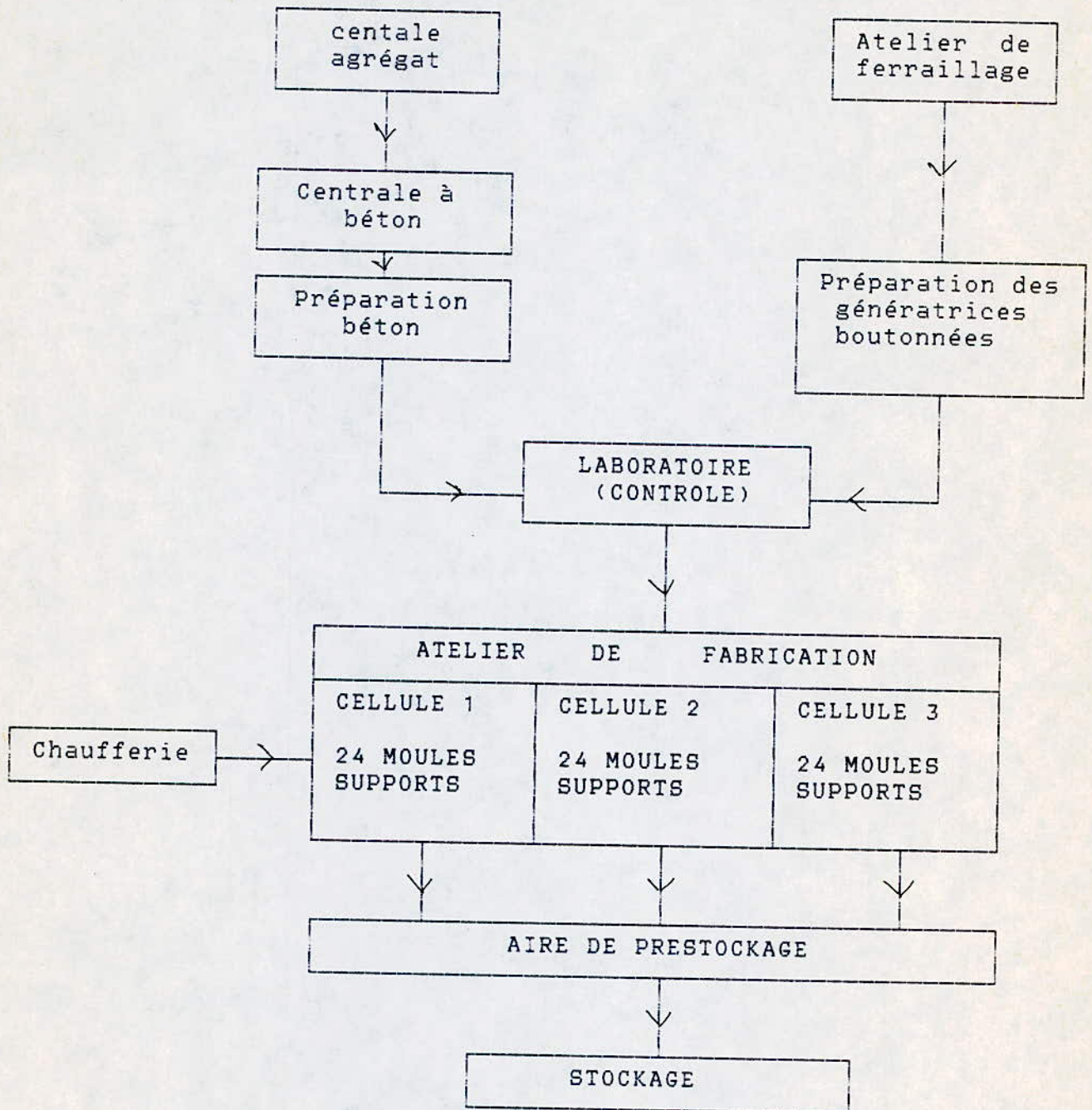
Une fois le support détendu, on découpe les extrémités des génératrices à l'aide d'un chalumeau "découpeur" pour pouvoir enlever les plaques de coffrage de pied et de tête.

g- Manutention stockage :

A l'aide d'un pont roulant, on dégage le support vers le parc de préstockage pour le contrôle. S'il y a des effondrements ou des rectitudes, le support nécessite d'être réparé.

Une fois le support contrôlé, il sera porté au parc du stockage.

SCHEMA SIMPLIFIE DU CIRCUIT
DU PROCECSSUS DE FABRICATION



4 - PLACE DE LA MAINTENANCE AU NIVEAU DE L'UNITE

La structure de la fonction maintenance est assurée par deux services dépendants du département technique qui sont :

- Service méthodes et gestion du matériel
- Service entretien

A-a Service méthodes et gestion du matériel :

Ce service fonctionne avec un effectif de "7" personnes

- 1 chef de service
- 2 techniciens supérieurs en maintenance
- 3 agents electro-mécaniciens
- 1 dessinateur

Il a pour vocation ,de detenir et d'exploiter tous les renseignements techniques des équipements de production et des installations annexes en vue d'augmenter la disponibilité des équipements .

Ses principales fonctions sont :

La mise en place des dossiers techniques et historiques des équipements .

-La programmation, le lancement et le suivi des travaux d'entretien (préventifs et curatifs).

Effectuer des modifications et des améliorations sur les machines en exploitant leurs dossiers techniques pour augmenter la qualité et la quantité de production et diminuer la consommation en pièces de rechanges .

Le service a pu instaurer une politique de maintenance de type préventive. Pour cela, les agents du service méthodes ont élaboré trois plannings de travail :

- planning des consignes permanentes;
- Planning de lavage et graissage;
- Planning des revisions générales et partielles .

Il est A noter que lors de l'élaboration de ces trois plannings, les agents du service ont exploité les renseignements techniques donnés par les fournisseurs et les opérateurs expérimentés .

4-b SERVICE ENTRETIEN :

Ce service se subdivise en trois sections, chargés de l'exécution des programmes établis par le service méthodes .

1- SECTION INTERVENTION ELECTRIQUE ET MECANIQUE :

Cette section fonctionne avec un effectif de " 18 " personnes

- 1 chef de service
- 1 contre maître d'intervention
- 16 ouvriers (mécaniciens ,hydrauliciens,électriciens)

Elle a pour mission de :

- Dépanner et réparer des anomalies signalés par les opérateurs
- Exécuter des travaux préventifs (les trois plannings)
- Exécuter des travaux des modifications
- Exécuter des travaux d'installation et des travaux de démarrage des équipements de production et des installations annexes .

2- SECTION DES ENGINES ROULANTS :

Cette section fonctionne avec un effectif de " 6 " personnes

- 1 chef de section
- 4 mécaniciens et 1 électricien auto .

Elle a pour mission :

- Interventions électriques et mécaniques sur le matériel roulant suite à des pannes imprévues.
- Réparation des organes électriques et mécaniques défectueux
- Exécution des travaux préventifs lavage,graissage et vidange .

3- SECTION MECANIQUE :

Cette section fonctionne avec un effectif de " 13 " personnes

- 1 chef d' atelier
- 2 Contre maîtres
- 11 ouvriers .

Elle travaille en collaboration avec le service méthodes et le service entretien .

Elle a pour tâches principales :

- la confection des pièces mécaniques pour la production
- la réalisation des travaux de soudure des équipements de l'unité .

C- ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE

Des efforts considérables ont été déployés par les agents du service méthodes et entretien en vue d'une meilleure maîtrise de la gestion de la maintenance des équipements.

Cependant , nous relèverons certaines observations quant à l'organisation et aux méthodes de travail des deux services de maintenance :

- Du point de vue organisation , la fusion des structures maintenance et production favorise cette dernière au détriment d'un bon fonctionnement des équipements , nous avons remarqué que certains travaux préventifs ne sont pas exécutés en temps prévu parceque la priorité est donnée à la production .

- la section " approvisionnement " des pièces de rechange relève du service commercial, ce qui fait traduire des difficultés dans la gestion des stocks engendrant le plus souvent une perturbation des programmes d'exécution de la maintenance .

- la collecte des données au niveau du service méthodes n'est pas exhaustive puisque les temps d'immobilisations des équipements et les coûts de maintenance ne sont pas relevés sur les historiques des pannes bien que les rubriques correspondantes y figurent .

- De plus les agents de ce service n'ont pas commencé à exploiter ces dossiers historiques et les rapports d'intervention en vue d'augmenter la fiabilité des équipements en améliorant le mode opératoire et éventuellement estimer les coûts de maintenance. Ce dernier problème, fera l'objet de notre étude au cours de laquelle nous essayerons de présenter et d'appliquer les concepts mathématiques de la maintenance pour l'analyse quantitative des avaries des équipements.



PARTIE

THEORIQUE

A- GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

1- DEFINITION :

La maintenance est un ensemble d'actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé au coût optimal (définition de l' AFNOR ⁽¹⁾)

2- OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE

Deux principaux objectifs sont visés par la maintenance :

- Objectifs opérationnels
- Objectifs des coûts

* Objectifs opérationnels

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions
- Assurer la disponibilité des équipements à un prix raisonnable
- Optimiser la fiabilité du matériel
- Assurer le bon fonctionnement dans les meilleures conditions de délais, de coûts ...

* Objectifs des coûts

- Minimiser les coûts d'entretien
- Réduire au minimum les dépenses de la maintenance
- Assurer le service maintenance dans les limites d'un budget.

3- DIFFERENTES FORMES DE MAINTENANCE

3-a MAINTENANCE CORRECTIVE

3-a-1 DEFINITION : La maintenance corrective est celle qui est effectuée après défaillance (définition de l'AFNOR)

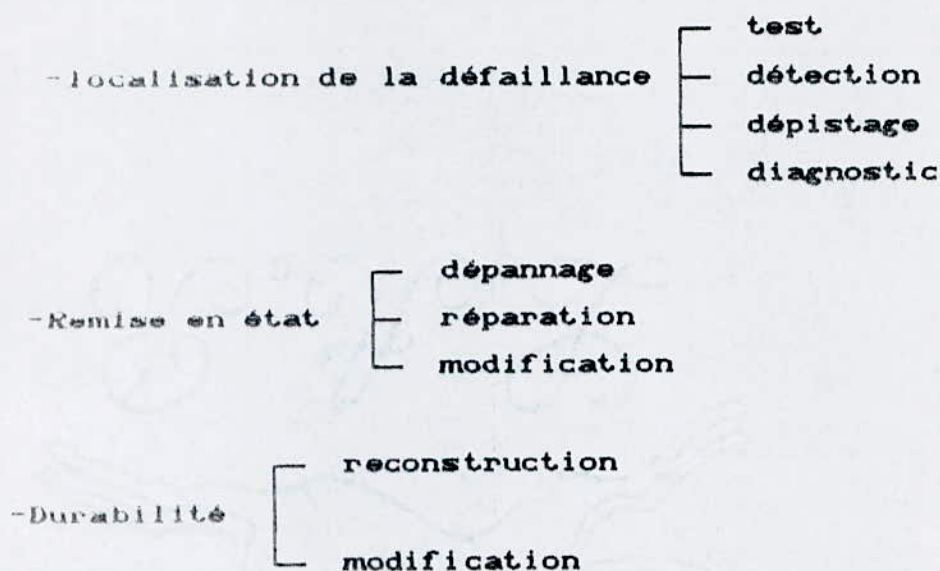
3-a-2 CONTENU : Elle débouche sur deux types d'interventions

a- Les dépannages : C'est à dire une remise en état de fonctionnement effectuée in situ , parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné ; ont un caractère "provisoire". Ils caractérisent la maintenance palliative .

b- Les réparations : faites in situ , ou en atelier central parfois après dépannage ; ont un caractère "définitif". Elles caractérisent la maintenance curative .

(1) AFNOR : Association Française de Normalisation .

la maintenance corrective regroupe un ensemble d'actions qui sont en nombre de trois



3-B MAINTENANCE PREVENTIVE

3-B-1 DEFINITION : C'est la maintenance effectuée selon des critères prédéterminés , dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu (définition de l' AFNOR)

3-B-2 OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE :

- Ralentir le vieillissement du matériel
- Intervenir avant que le coût de la réparation ne soit trop élevé
- Eliminer ou limiter les risques de pannes pour le matériel à fort coût de défaillance
- Réduire à terme les interventions sur le matériel.
- Supprimer les causes d'accidents graves pouvant entraîner la responsabilité civile de l'entreprise
- Agir sur l'état d'esprit du personnel .

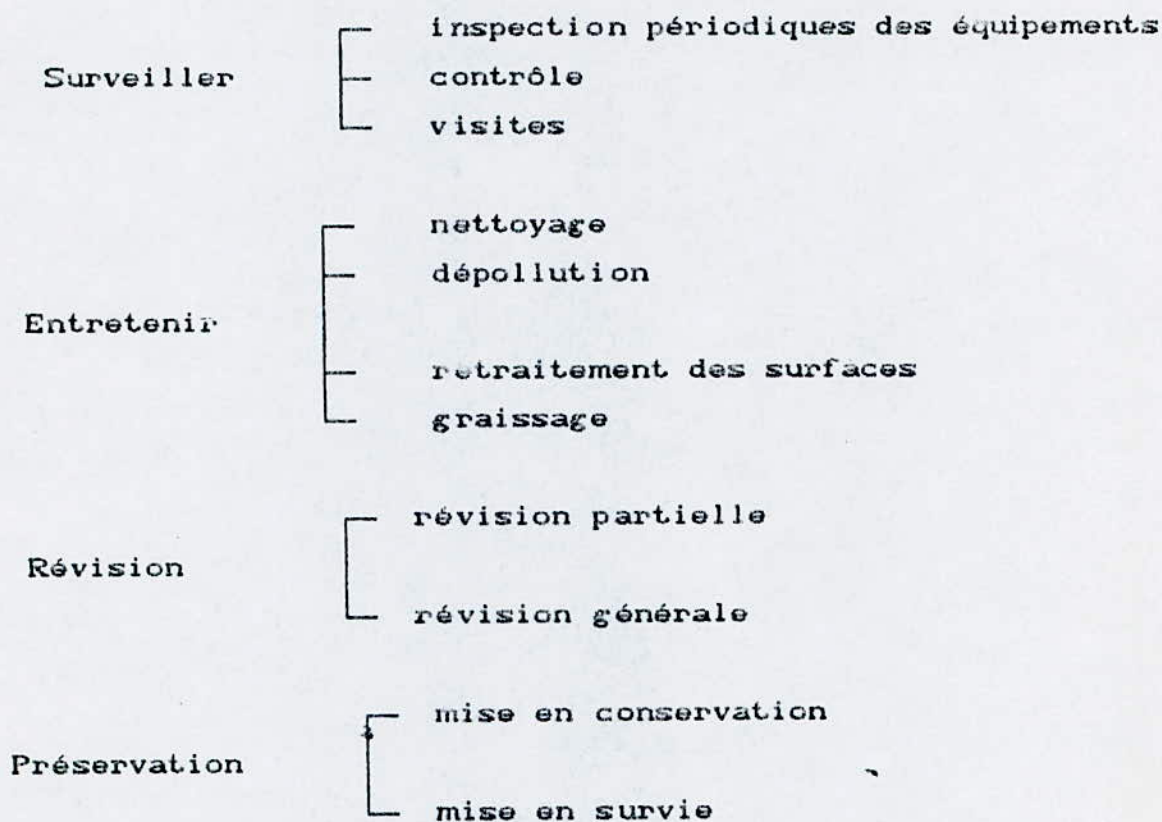
3-B-3 CONTENU : On distingue deux formes de maintenance préventive .

a-MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE

Elle consiste en une intervention programmée selon un échéancier établi d'après un temps de fonctionnement ou un nombre d'unités d'usage .

- ACTIONS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE

Cette forme de maintenance regroupe quatre types d'actions de prévention qui à leur tour regroupent plusieurs activités

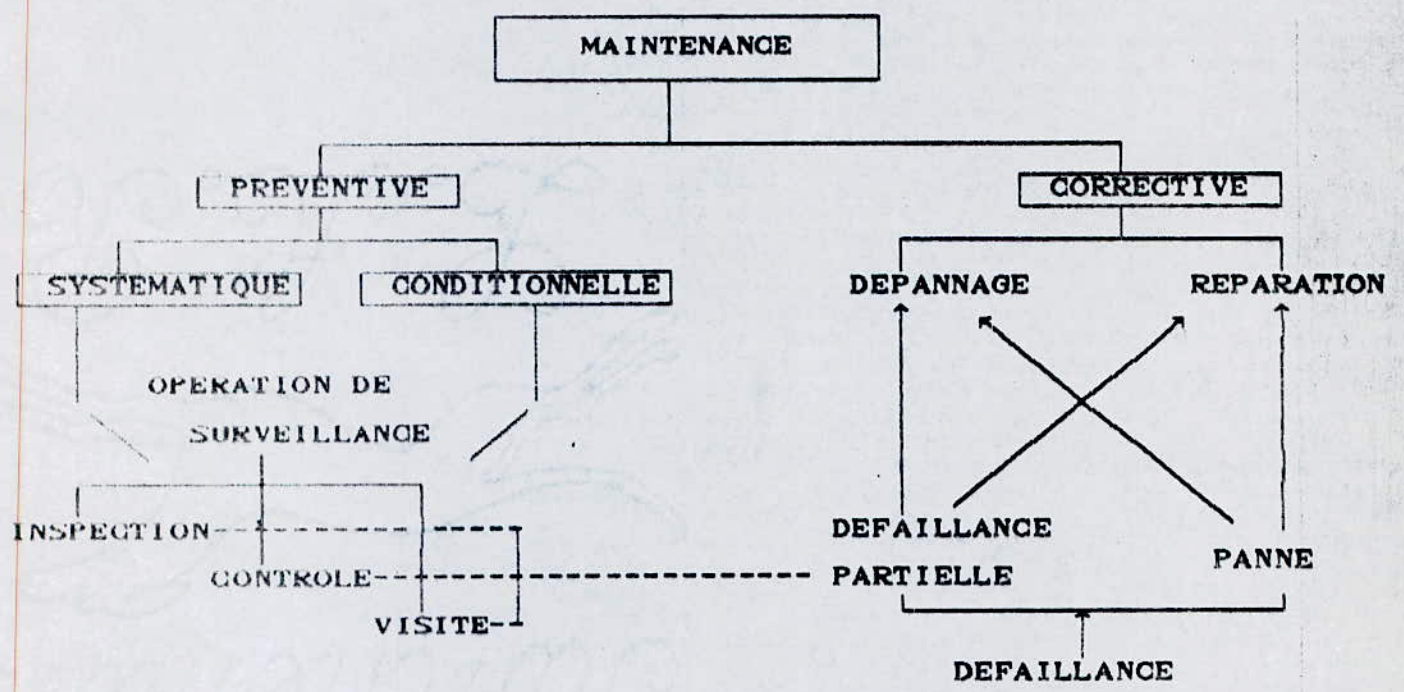


b-MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE

Cette forme de maintenance consiste à mettre en place un système d'alerte permettant d'agir avant la défaillance du matériel.

Elle demande d'effectuer un diagnostic avant de remplacer l'élément visité. Le système d'alerte qui peut être mis en place, peut prendre la forme de l'acquisition et l'exploitation des paramètres, tels la pression, la température, la fréquence des vibrations,...

3-c ORGANIGRAMME DE LA MAINTENANCE



B- NOTIONS DE FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE

L'apparition des concepts de fiabilité, maintenabilité et disponibilité ont donné un essor nouveau au développement de la maintenance. Ils caractérisent la définition de l'optimum économique du service rendu par les équipements de production, et font appel à des disciplines et des techniques statistiques pour traiter les informations obtenues en exploitation sur le comportement des matériels en fonctionnement.

1- NOTION DE FIABILITE

1-a DEFINITION : La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée.

1-b CARACTERISTIQUES FONDAMENTALES DE LA FIABILITE : La durée de vie d'un équipement apparaissant comme une variable aléatoire continue T attachée au système, on associe à cette variable les fonctions suivantes :

1- La densité de probabilité $f(t)$: définie par :

$$f(t)dt = \text{prob} (t < T < t+dt)$$

Probabilité pour que l'équipement tombe en panne entre t et $t+dt$

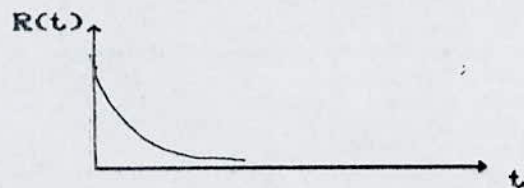
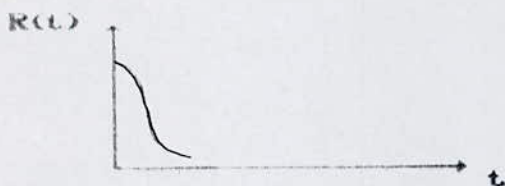
2- La fonction de répartition : $F(t) = \text{prob} (T \leq t)$

Probabilité pour que l'équipement soit en panne à l'instant t .

$$F(t) = \int_0^t f(u)du$$

3- Fonction de fiabilité : $R(t) = P(T > t)$

Probabilité de survie à l'instant t .

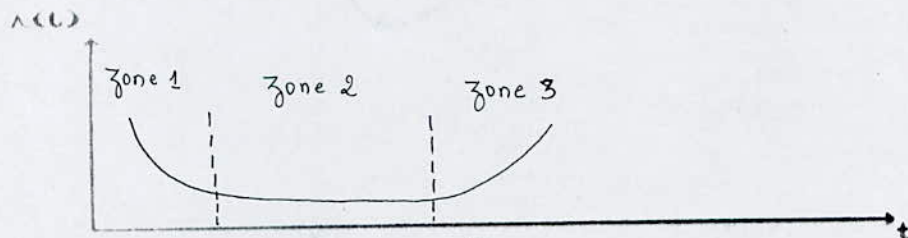


4- Taux instantané de défaillance : L'une des principales mesures de la fiabilité est le taux instantané de défaillance $\lambda(t)$.

Définition : Le taux instantané de défaillance $\lambda(t)$ d'un dispositif est la Probabilité d'avoir une défaillance entre t et $t + dt$ à condition que le dispositif ait vécu jusqu'à t .

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-R'(t)}{R(t)}$$

L'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ à travers le temps, se représente sous la forme d'une courbe en baignoire



- La zone 1 : Période de "jeunesse". Elle est caractérisée par un taux de défaillance décroissant avec le temps.
- La zone 2 : Période de "vie utile". Elle correspond à la période où le taux de défaillance est sensiblement constant.
- La zone 3 : Période de "vieillesse". Le taux de défaillance est croissant. Cette période correspond à une usure du matériel.

5- Moyenne des temps de bon fonctionnement : MTBF

Une autre mesure de la fiabilité est le temps moyen qui sépare deux défaillances, correspondant à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T :

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

0- Expressions générales liant les caractéristiques de la fiabilité

- Taux de défaillance $\lambda(t) = \frac{-R'(t)}{R(t)}$

- Fiabilité $R(t) = \text{EXP} \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$

- Fonction de défaillance $F(t) = 1 - R(t)$

- Fonction densité de défaillance $f(t) = F'(t) = -R'(t)$

1-0 PRINCIPALES LOIS DE PROBABILITES UTILISEES EN FIABILITE

Trois lois statistiques sont principalement utilisées par les fiabilistes pour "ajuster" les phénomènes d'apparition de défaillances :

- LOI EXPONENTIELLE
- LOI NORMALE
- LOI WEIBULL

Le modèle probabiliste de WEIBULL est très souple, car cette loi a trois paramètres qui permettent "d'ajuster" correctement toutes sortes de résultats expérimentaux et opérationnels (surtout au domaine de la mécanique); contrairement aux autres lois, la loi de WEIBULL couvre le cas où le taux de défaillance est variable, permettant donc de s'ajuster aux périodes de "jeunesse", aux périodes de "maturité" et aux différentes formes de vieillissement.

Ainsi, nous avons jugé plus pertinent d'appliquer ce modèle à notre étude.

1-4 CARACTERISTIQUES DE LA LOI DE WEIBULL :

Définition : Une variable aléatoire T est distribuée selon la loi de WEIBULL de paramètres $\beta > 0$, $\eta > 0$ et $\gamma \geq 0$ si et seulement si :

- 1 - Elle est continue
- 2 - Elle prend les valeurs $t \in [\gamma, +\infty[$

3 - Sa fonction de densité est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

- β est appelé paramètre de forme
- η est appelé paramètre d'échelle
- γ est appelé paramètre de position

- Fonction de défaillance :

$$F(t) = \int_{\gamma}^t f(u) du$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

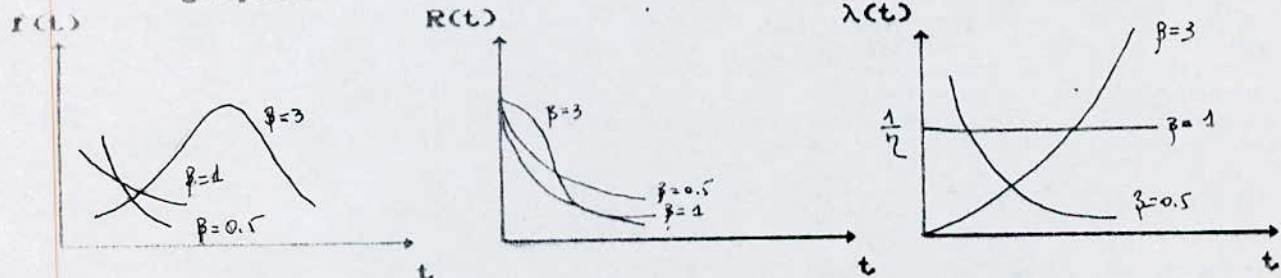
- Fonction de fiabilité :

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

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

- graphes :



- MTBF

$$MTBF = E(t) = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

ou Γ est le symbole de la fonction GAMMA (ou fonction eulérienne du second espèce) $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$

- VARIANCE

$$V(t) = \eta^2 \Gamma \left[1 + \frac{2}{\beta} \right] - \eta^2 \left[\Gamma \left[1 + \frac{1}{\beta} \right] \right]^2$$

La fonction GAMMA est tabulée (voir annexe 3)

1-d-1 SIGNIFICATION DES PARAMETRES DE LA LOI DE WEIBULL

a- paramètre de forme β : (sans unité)

Le paramètre β est certainement le plus important , en effet c'est lui qui définit l'allure des courbes de distributions de WEIBULL . Il permet d'adapter la forme des courbes de $\lambda(t)$ aux différentes phases de vie d'un système ou d'un composant .

Si $\beta < 1$ alors $\lambda(t)$ décroît : période de jeunesse (rodage)

Si $\beta = 1$ alors $\lambda(t)$ est constant : période de vie utile

(cas particulier de la loi exponentielle)

Si $\beta > 1$ alors $\lambda(t)$ croît : phase d'obsolescence que l'on peut analyser plus finement pour orienter un diagnostic

Si $3 < \beta < 4$: phénomène d'usure, de corrosion

Si $\beta < 4$: $f(t)$ est symétrique, la distribution est " normale " .

b- Le paramètre d'échelle réelle η : (en unités de temps)

Quand le paramètre η n'est pas égal à l'unité , une simple modification d'échelle est nécessaire, puisque η est le paramètre d'échelle .

Exemple :

Si l'on trace $f(t)$ avec $\eta=1$, la courbe $f_5(t)$ correspondant à $\eta=5$ sera obtenue en divisant $f(t)$ par 5, t étant multiplié par 5 et l'aire sous la courbe reste inchangée .

c- Le paramètre de position γ : (en unités de temps)

Il est appelé aussi paramètre de décalage ou de localisation, pratiquement, ce paramètre indique la date du début des défaillances .

Si $\gamma > 0$, il y a survie totale entre $t=0$ et $t=\gamma$

Si $\gamma = 0$, les défaillances débutent à l'origine des temps

Si $\gamma < 0$, les défaillances ont débuté avant l'origine des temps .

1-4-2 ESTIMATION DES PARAMETRES DE LA LOI DE WEIBULL

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres β, η et γ de cette loi. Pour cela nous disposons de deux méthodes :

Une, entièrement par le calcul, qui fait intervenir les équations différentielles difficiles à résoudre, de ce fait elle est peu utilisée.

L'autre graphique, qui utilise un papier à échelle fonctionnelle dit papier WEIBULL ou graphique " d'ALLEN PLAIT ". Cette méthode est la plus utilisée.

a- Préparation des données

1- classement des données :

On enregistre les dates des N défaillances d'un système, qui proviendront le plus souvent des historiques de défaillances.

On classe ensuite les TBF (temps de bon fonctionnement entre deux défaillances) par ordre croissant.

2- Regroupement en classes :

Si la taille de l'échantillon $N > 50$, il faut opérer des regroupements en classes de valeur Δt .

Plusieurs règles empiriques proposent le nombre de classe à créer. Par exemple :

Pour GNEDENKO : le nombre de classes : $K \leq \frac{N}{10}$ et $K \geq 5$

STURGES : $K = 1 + 3,3 \text{ LOG}_{10} N$

c- Approximation de la fonction de répartition : $F(t)$

Si $N > 50$, nous regrouperons les TBF par classes

$$F_{\text{est}}(t) = \frac{\sum n_i}{N}$$

$\sum n_i$ = somme des fréquences à la limite supérieure t_i de la classe $\Delta t = (t_{i-1}, t_i)$

Si $20 < N < 50$; nous donnerons un rang i à chaque défaillance (nous dirons la i ème défaillance)

Nous utiliserons alors la formule d'approximation des rangs moyens

$$F_{\text{est}}(t) = \frac{i}{N+1}$$

Si $N < 20$; nous utiliserons la formule d'approximation des rangs médians

$$F_{\text{est}}(t) = \frac{i-0,3}{N+0,4}$$

REMARQUE :

Dans le cas où la taille de l'échantillon est très grande, une estimation empirique de la fiabilité donne des résultats suffisants, dispensant de l'emploi du modèle de WEIBULL.

$$R(t) = \frac{N(t)}{N(0)}$$

$N(0)$: taille de l'échantillon à $t=0$
 $N(t)$: nombre de survivants à l'instant t

$$f(t) = \frac{N(t) - N(t+dt)}{N(0)}$$

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t+dt)}{N(t)dt}$$

ET la MTBF est estimée par la formule :

$$MTBF = \sum t_i f(t_i)$$

b- procédure d'utilisation du papier de WEIBULL : voir 3.

La détermination des trois paramètres de la loi de WEIBULL permet d'ajuster la loi de probabilité à la loi de distribution statistique relevée.

- 1^{ère} ETAPE : Préparation des données (voir a)
- 2^{ème} ETAPE : Tracé du nuage de point M (F est { t }, t)
sur le papier fonctionnel de WEIBULL
- 3^{ème} Etape: Tracé de la droite D de regression du nuage

Deux cas sont possibles :

- a- l'ajustement du nuage par une droite est possible $\gamma = 0$
- b- Le nuage des points fait apparaître une courbe C, dans ce cas $\gamma \neq 0$

Si $\gamma > 0$, dans ce cas on obtient une courbe qui admet une asymptote verticale, l'intersection de l'asymptote et l'abscisse nous permet d'avoir une première estimation de γ $\gamma = t$

Si $\gamma < 0$, dans ce cas on obtient une courbe qui admet une asymptote horizontale. l'estimation de γ peut se faire par :

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 t_3}{2t_2 - t_1 - t_3}$$

Avec t_1, t_2, t_3 les temps correspondants aux trois points

A_1, A_2, A_3 sur la courbe C tel que la distance $(A_1, A_2) = (A_2, A_3) = \Delta$

Lorsque l'on estime γ on fait la correction :

t' : nouveau temps $t' = t - \gamma$ t : ancienne estimation

Ensuite on reporte les nouvelles valeurs et on doit obtenir quelque chose qui se rapproche d'une droite, si ce n'est pas tout à fait le cas on recommence l'opération jusqu'à l'obtention d'une droite.

4^{ème} ETAPE : La valeur η se lit à l'intersection de la droite D et de la ligne 63.2 %

5^{ème} ETAPE : β est la pente de D. pour obtenir sa valeur, nous traçons la droite D₂ parallèle à D passant par le point $\eta = 1$ (origine de X Y) : la droite D₂ coupe l'axe b en un point qui donne la valeur de β .

1^{er} TESTS D'AJUSTEMENT :

Les modèles que l'on peut établir en fiabilité sont issus d'un échantillon de population, puis on fait l'hypothèse qu'ils suivent une loi particulière. Ainsi, il reste à vérifier la validité de cette loi. Cette vérification est obtenue par un test d'ajustement. Pour cela, on admet dans l'utilisation des statistiques un risque d'erreur " α " petit, α est le niveau de signification. (α est égal à la probabilité de se tromper en utilisant ce test).

1- TEST DE KHI-DEUX (χ^2)

Conditions d'utilisation : il faut un nombre d'observations supérieur ou égale à 50 $n \geq 50$

Ce test est basé sur l'écart entre les valeurs observées et le modèle théorique, une fonction indicatrice des écarts est établie de la manière suivante :

$$E = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

r : nombre de classes

n_i : nombre d'individus par classe

n : nombre d'individus totale de l'échantillon

np_i : nombre d'individus attendu théoriquement dans la classe
($np_i \geq 5$)

p_i : Probabilité de se trouver dans la classe i

E suit approximativement une loi de χ^2 à ν degrés de liberté

$$E \sim \chi^2_{\nu} \quad \text{avec} \quad \nu = r - k - 1$$

k : nombre de paramètres estimés pour le modèle théorique

k = 1 pour la loi EXPONENTIELLE

k = 3 pour la loi de WEIBULL .

Donc on peut écrire $P \left[E > \chi^2_{\nu, 1-\alpha} \right] = 1-\alpha$

Le test se construit comme suit :

H : Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
contre

H' : Le modèle théorique n'ajuste pas le modèle expérimental

Si $E > \chi^2_{\nu, 1-\alpha}$ on rejette l'hypothèse du modèle théorique
comme bonne .

Z- TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Soit F_{est} une estimation de la fonction de répartition

théorique F(t) .

On montre que la quantité :

$D_n = \text{MAX} \left| F_{est} - F(t) \right|$ une loi de probabilité ne

dépendant que de n (taille de l'échantillon) .

En particulier on a :

$$P \left[\text{MAX} \left| F_{est}(t) - F(t) \right| < D_{n,\alpha} \right] = 1 - \alpha$$

ou $D_{n,\alpha}$ est donnée par la table de KOLMOGOROV-SMIRNOV

(voir annexe 4)

Le test se construit comme suit :

H : Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
contre

H' : Le modèle théorique n'ajuste pas le modèle expérimental .

Soit n la taille de l'échantillon et α le seuil choisi par le test

$$\text{Si } \text{MAX} \left| F_{est}(t_i) - F(t_i) \right| < D_{n,\alpha} \quad i = 1, \dots, n$$

H est acceptée au seuil α ; le modèle est ajusté
Sinon on refuse l'hypothèse H au seuil α .

2- NOTION DE MAINTENABILITE

2-a BUT DE CETTE NOTION : Le but de ce concept est de quantifier l'aptitude à la maintenance par la technique de maintenabilité . Nous évaluerons la maintenabilité à partir des critères liés à l'utilisateur, et ceci par le calcul des moyennes des temps des tâches de réparation (MTTR ou M_0) à partir de la loi de probabilité d'arrivée de pannes .

2-b DEFINITION : " Dans des conditions données d'utilisation , c'est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits".(définition de l'AFNOR)

Par analogie avec la fiabilité , la maintenabilité aura pour définition probabiliste : " C'est la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées , lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions et avec des moyens prescrits ".

2-c DEFINITION DES TEMPS TECHNIQUES DE REPARATION : TTR

Le TTR d'une intervention se compose en général de la somme des temps suivants :

- Temps de vérification de la réalité de la défaillance
- Temps de diagnostic
- Temps d'accès à l'organe défaillant (Déposes et démontages)
- Temps de remplacement ou de réparation
- Temps de réassemblage
- Temps de contrôle et d'essais .

2-d LA FONCTION "MAINTENABILITE"

Il existe une analogie entre l'étude statistique de la fiabilité et de la maintenabilité .

- La variable aléatoire est un temps : " temps d'intervention "
- La densité de probabilité est notée $g(t)$

* La fonction de répartition est notée $M(t) = \int_0^t g(t) dt$

c'est la probabilité d'une durée TTR < t

$$M(t) = \text{PROB (TTR < t)}$$

* Taux instantané de réparation $\mu(t)$

C'est la limite, si elle existe ,du quotient de la probabilité conditionnelle pour qu'une entité soit remise en service dans l'intervalle $(t, t+\Delta t)$, sachant qu'elle a une défaillance à l'instant 0 , et que la remise en service n'a pas encore été effectuée à l'instant t par la durée Δt de l'intervalle de temps lorsque Δt tend vers 0 .

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}, \quad M(t) = 1 - \text{EXP} \left[- \int_0^t \mu(u) du \right]$$

2-^e LOIS DE DISTRIBUTIONS DE DUREES DES INTERVENTIONS

La loi LOG-NORMALE est la distribution fréquente des durées de réparation en maintenance .

Dire que les durées d'intervention de maintenance corrective suivent une loi LOG-NORMALE ,c'est à dire que les variables aléatoires que présentent les logarithmes des durées de ces interventions suivent une distribution NORMALE de valeur moyenne μ et d'écart type σ .

2-^e-1 CARACTERISTIQUES DE LA LOI LOG-NORMALE :

DEFINITION : Une variable aléatoire T est distribuée selon la loi LOG NORMALE de paramètres μ et σ positifs, si et seulement si :

- 1- Elle est continue
- 2- Elle est positive , $t \in] 0 , +\infty [$.
- 3- Sa fonction de densité est :

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{t \sigma \sqrt{2 \pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2 \sigma^2}} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases}$$

- Fonction de répartition :

$$F(t) = P(T < t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2 \pi}} \int_0^t \frac{1}{u} \cdot e^{-\frac{(\ln u - \mu)^2}{2 \sigma^2}} du$$

- Espérance mathématique :

$$E(t) = e^{\mu + \frac{1}{2} \sigma^2}$$

- Variance :

$$V(t) = e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2}$$

- METHODOLOGIE D ESTIMATION DES MTTR :

L'expression de la maintenabilité M(t) dans ce cas est :

$$M(t) = 1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2 \pi}} \int_t^{\infty} \frac{1}{u} \cdot e^{-\frac{(\ln u - \mu)^2}{2 \sigma^2}} du$$

Pour vérifier si la loi supposée correspond à la loi log-normale, les données doivent s'ajuster sur le papier spécial à échelle fonctionnelle log-normal.

Ce graphique consiste en une échelle logarithmique pour la variable aléatoire temps et une échelle " normale " pour la fonction de répartition. On obtient alors l'équivalent d'une droite dite " DROITE D'HENRY ". Il suffit ensuite de déterminer avec une assez bonne approximation les paramètres qui définissent complètement cette fonction de distribution (valeur médiane μ et l'écart type σ).

A partir des valeurs lues entre les ordonnées des ponts correspondants à 84% et 16% (\bar{t}_0) on peut obtenir σ estimateur de σ .

On peut écrire en effet :

$$\hat{\sigma} = \ln t_{0.5} - \ln t_{0.16} = \ln \left(\frac{t_{0.5}}{t_{0.16}} \right)$$

$$\hat{\sigma} = \ln t_{0.84} - \ln t_{0.5} = \ln \left(\frac{t_{0.84}}{t_{0.5}} \right)$$

La somme de ces deux expressions de $\hat{\sigma}$ nous donne :

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{t_{0.84}}{t_{0.5}} \right)$$

La médiane μ est donnée par :

$$\mu = \ln t_{0.5}$$

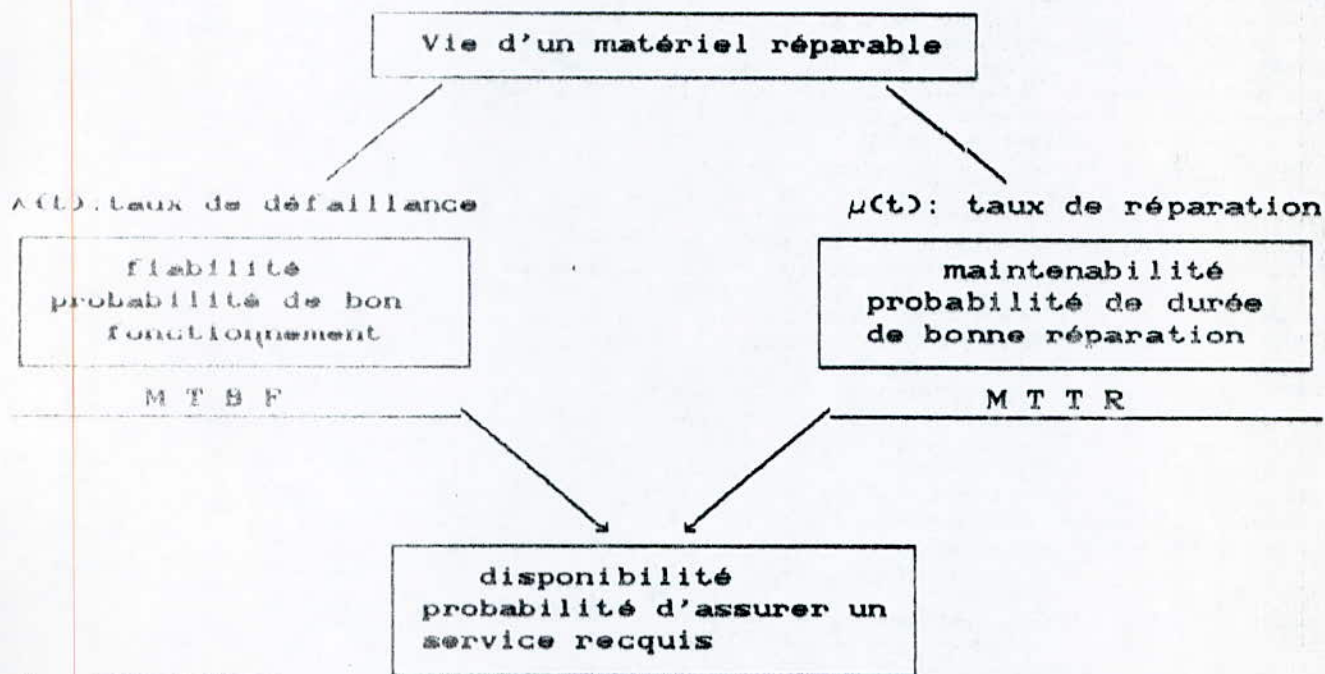
L'écart type $\hat{\sigma}$ et la valeur médiane $t_{0.5}$ suffisent pour obtenir une distribution LOG-NORMALE

$$MTTR = M_c = t_{0.5} * e^{\hat{\sigma}^2 / 2}$$

3- NOTION DE DISPONIBILITE

Un matériel " disponible " est un matériel dont on peut se servir. A partir de cette évidence , il apparait que la disponibilité dépend à la fois :

- du nombre de défaillances —→ fiabilité
- de la rapidité à la quelle ,elles sont réparées —→ maintenabilité
- des procédures définies de la maintenance —→ maintenance
- et de la qualité des moyens mis en oeuvre —→ logistique



3-a DEFINITION

La disponibilité est l'aptitude d'un système sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité, de la logistique et de la maintenance à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donnée (définition de l' AFNOR) .

Nous la noterons $D(t)$; fonction du temps paramétré par λ et μ supposés constants .

$$\text{Taux de défaillance } \lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

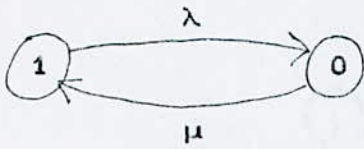
$$\text{Taux de réparation } \mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

Augmenter la disponibilité d'un matériel consiste à réduire le nombre de ses arrêts (fiabilité) et le temps mis pour le résoudre (maintenabilité) .

On distingue les disponibilités théoriques (instantanées et asymptotiques) modélisées par les lois de probabilités et des disponibilités opérationnelles utilisées en gestion de la maintenance, modélisées suivant les données saisies et l'objectif recherché (voir annexe 1)

3-b DISPONIBILITE INSTANTANEE D'UN SYSTEME REPARABLE :

Considérons un système pouvant prendre 2 états :



état 1 : bon fonctionnement

état 0 : perte de fonctionnement

$$D(t) = p_0(t) = \text{prob (fonctionnement du système à l'instant t)}$$

Il est nécessaire de connaître les probabilités de transition $p(i,j)$; elles font intervenir les 2 paramètres λ et μ

$$P(1,0) = \lambda$$

$$P(0,1) = \mu$$

soient les deux expressions finales suivantes :

$$P'_1(t) = - P_1(t)\lambda + P_0(t)\mu$$

$$P'_0(t) = - P_0(t)\lambda - P_1(t)\mu$$

avec comme condition initiale : $P_1(0) = 1$

$$P_0(0) = 0$$

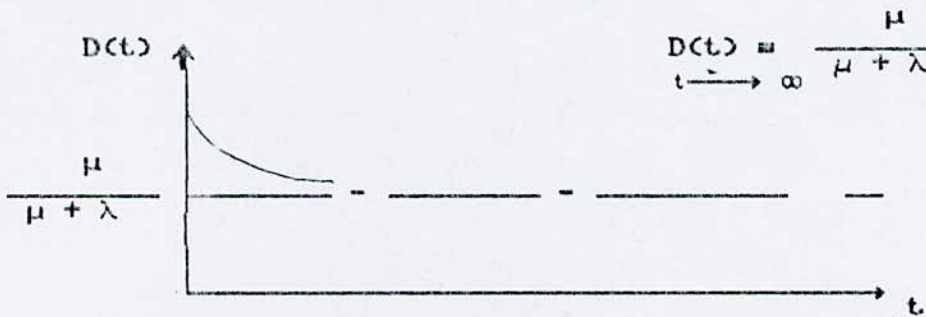
voir [2]

En utilisant les transformations de LAPLACE pour résoudre ce système , on obtient :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}$$

3-C DISPONIBILITE ASYMPTOTIQUE OU INTRINSEQUE :

On constate que la probabilité du fonctionnement d'un système se stabilise vers une valeur constante au cours du temps , cette valeur caractérise la disponibilité du système. C'est l'asymptote de la fonction disponibilité $D(t)$.



L'analyse de cette expression nous permet de mettre en évidence que :

Si nous augmentons le nombre de réparateurs, la MTTR diminue, et ainsi nous augmentons la disponibilité .

Si nous augmentons la MTEF par des redondances , nous augmentons également la disponibilité.

4- POLITIQUE DE MAINTENANCE

4-a DEFINITION :

La politique de maintenance consiste à définir des objectifs technico-économiques relatifs à la prise en charge du matériel d'une entreprise par le service maintenance .

Une stratégie de maintenance est instaurée au niveau d'une entreprise selon différents objectifs en concertation avec les directions technique et production .

Une fois un objectif clairement défini et en se limitant au domaine de la maintenance opérationnelle, on doit choisir une méthode à mettre en oeuvre pour l'optimisation de la maintenance .

4-b MAINTENANCE PREVENTIVE OU CORRECTIVE ?

L'application d'une méthode de maintenance à une machine se fait à partir :

- de sa situation dans le processus de fabrication
- de sa technologie
- du comportement de ses sous-ensembles .

Lorsqu'on connaît la loi de la durée de vie d'un élément, le coût d'un changement programmé ainsi que ceux entraînés par une défaillance en service, il est possible de trouver un temps de remplacement préventif minimisant le coût moyen par unité d'usage . C'est cette connaissance qui permet de choisir entre la maintenance corrective et la maintenance préventive ainsi que la connaissance de la périodicité de remplacement dans le cas où le choix s'est porté sur le préventif .

4-b-1 ANALYSE TECHNIQUE :

Dans le cas où on dispose de données opérationnelles, une étude de fiabilité par la méthode de WEIBULL permet de situer l'équipement dans sa courbe en baignoire .

Soit β le paramètre de weibull :

- $\beta \leq 1$, maintenance corrective
- $\beta > 1$, maintenance préventive .

L'élaboration des gammes d'intervention de maintenance préventive pour les éléments qui travaillent à l'usure ($\beta > 1$) se fait par la détermination des périodes optimisées en se basant soit sur :

-Les fonctions de fiabilité des éléments : Cette méthode consiste à fixer une fiabilité par exemple de " 0.95 " et de déterminer les périodes d'interventions correspondantes tolérant une probabilité de panne associée .

-La moyenne des temps de bon fonctionnement : Cette deuxième méthode consiste à corriger la MTBF, en choisissant un coefficient K tel que La période des visites systématiques $T = K * MTBF$ (K est appelé coefficient économique; compris entre 1/2 et 1) .

Ainsi il appartient au service méthodes d'adapter l'une de ces deux méthodes pour l'établissement de l'échéancier de maintenance préventive en fonction des conditions d'utilisations et l'objectif fixé :

4-b-2 ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE :

les données techniques et économiques nécessaires pour l'évaluation du coût de maintenance d'un système se résument à :

- $R(t)$ est la loi de durée de vie de l'élément
- C_p est le coût d'un remplacement programmé. Il comprend le coût de la pièce neuve et celui de la main d'oeuvre.
- C_d est le coût d'une défaillance en service. Il comprend le coût de la pièce neuve, de la main d'oeuvre, et les coûts entraînés par les pertes de production et de la mise en place d'une solution compensatoire.

a-coûts de maintenance d'un système :

On a deux éventualités :

- Coût de la maintenance corrective :

On attend la défaillance de coût $C_p + C_d$.
Le coût moyen par unité d'usage est : $C_1 = \frac{C_p + C_d}{T}$

$$T = \text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

- Coût de la maintenance systématique :

Dans ce cas on intervient au bout d'une période d'usage notée θ

Le coût indirect d'une défaillance est : $p * F(t) = C_p(1-R(t))$

Le coût de défaillance résiduelle est : $C_p + C_d(1-R(t))$

Le coût moyen par unité d'usage est donc : $C_2(\theta) = \frac{C_p + C_d(1-R(t))}{T_\theta}$

$$T_\theta = \int_0^{\theta} R(t) dt$$

b-Critère de choix :

Il est évident qu'il faudrait mettre en place des interventions préventives lorsque : $C_2(\theta) < C_1$

Dans le cas où $C_2(\theta) \geq C_1$, il est plus économique d'attendre la défaillance (maintenance corrective).

c-Période optimale de remplacement :

Admettons qu'on décide d'avoir une politique de maintenance préventive consistant à changer certains organes systématiquement tous les θ heures. La période θ devra correspondre au moment où le coût horaire d'une telle politique sera minimum.

$R(\theta)$ est modélisable par une loi de WEIBULL à trois paramètres ainsi :

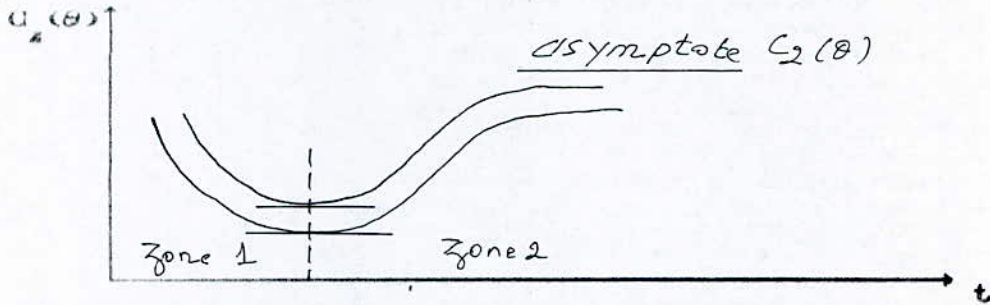
$$G_A(\theta) = \frac{C_p + C_d \left[1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right]}{\int_0^\theta e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

On choisira évidemment la politique de maintenance préventive

si $G_A(\theta) < G_1$

Sous cette hypothèse (cas où $C_p \leq C_d$) il reste à calculer le temps de changement optimum (θ_0) .

La loi $G(\theta)$ suit des courbes qui ont l'allure suivante :



L'optimum se trouve par approche itérative :

$$d = G_A(t_1) - G_A(t_1 + 1)$$

Si "d" est positif on incremente t_1 devient $t_1 + 1$

etc., lorsque "d" devient negatif, on se trouve dans la zone 2 ce qui situe l'optimum. Le calcul peut être plus ou moins affiné en fonction de la précision souhaitée .

PARTIE

PRATIQUE

A- COLLECTE DE DONNEES

Dans notre étude , la collecte des données nécessaires a été effectuée essentiellement des :

- Dossiers historiques des machines
- rapports d'intervention
- renseignements donnés par les agents du service méthodes et entretien

Les dossiers historiques contiennent un découpage structurel des machines suivant deux niveaux :

NIVEAU 1 : Décomposition en groupe fonctionnel

NIVEAU 2 : Décomposition en module .

Dans ces dossiers, sont enregistrés chronologiquement toutes les interventions correctives subies par la machine depuis sa mise en service , mentionnant :

- Les dates des défaillances
- Le temps passé (temps de réparation)
- Désignation du travail effectué .

Remarque :

Les données sont traitées par les logiciels MULTIPLAN 3.0 et STATITCF .

B- CLASSIFICATION DES EQUIPEMENTS

Vu l'impossibilité de traiter tout le matériel de l'unité, nous avons effectué une première classification :

- Les biens liés à la production : tel que tout arrêt ou mauvais fonctionnement provoque un arrêt, un ralentissement ou mauvaise qualité de production .

- Les biens non liés à la production .

De cette classification nous avons retenu 17 types d'équipements liés à la production .

Une deuxième classification des ces équipements par la méthode A B C , nous a permis de déterminer les équipements stratégiques ceux qui doivent être abordés en priorité .

PRINCIPE DE LA METHODE A B C

-Faire l'inventaire du nombre d'heures d'interventions pour chaque équipement .

-Faire un classement par ordre décroissant .

-Calculer le cumul à partir du plus grand nombre .

-Calculer pour chaque valeur cumulée; la valeur relative en pourcentage .

-Calculer pour chaque rang ; le rang relatif en pourcentage pour chaque équipement .

-Tracer la courbe donnant la valeur relative cumulée en % en fonction du rang relatif en % et ceci avec la même échelle

-Tracer la diagonale en joignant les points [(0%,0%) et (100%,100%)] .

-Tracer la tangente à la courbe, parallèlement à la diagonale

-Déplacer cette tangente de 2 ou 3 mm parallèlement à la diagonale vers l'intérieur de la courbe jusqu'à ce que l'arc formé par son intersection avec la courbe devienne non assimilable à un segment de droite .

-Tracer les verticales issues des points d'intersections avec la courbe .

-On obtient ainsi les 3 classes .

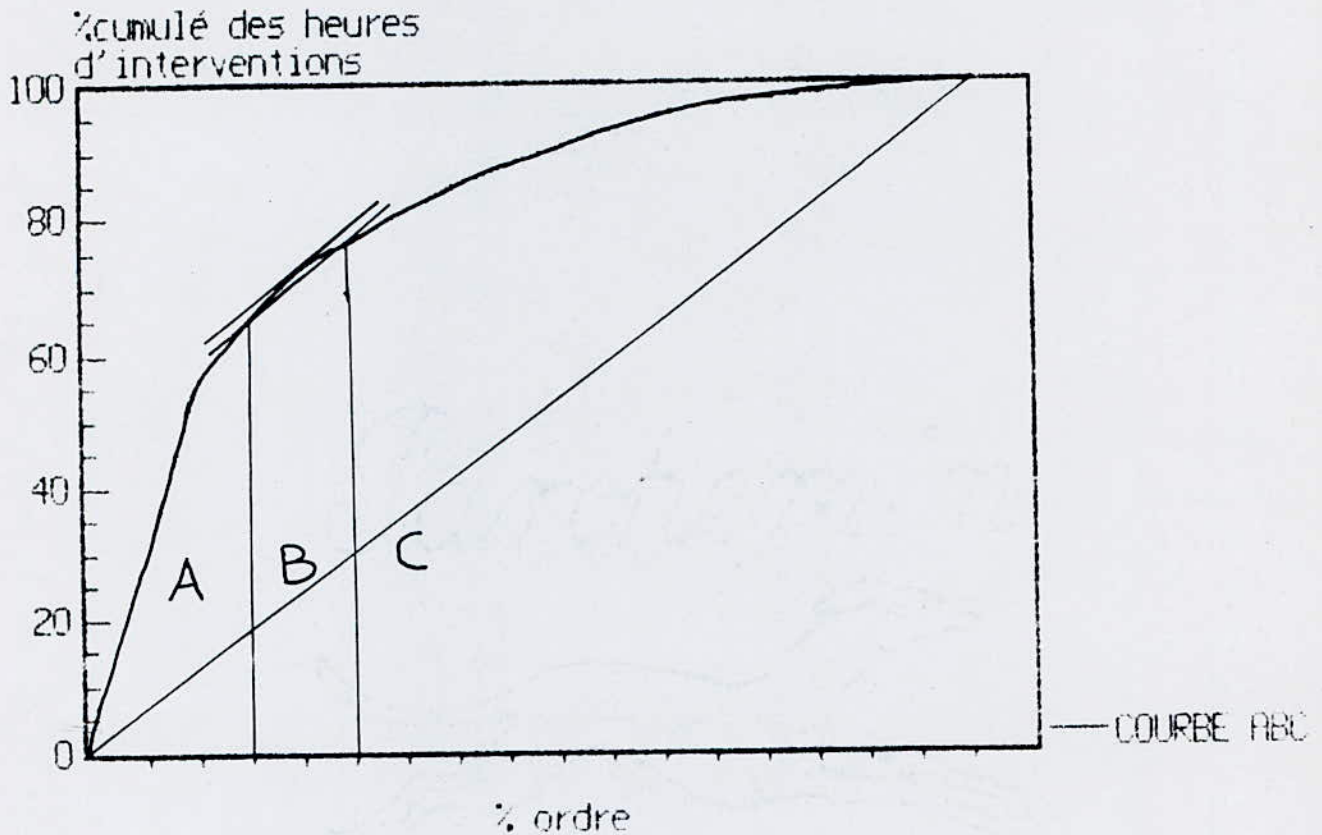
EQUIPEMENTS	n° ordre	% ordre	(1) N.H.I	(2) C.H.I	% cumulé
Centrale à béton	1	5.88	1543	1543	29.43
Pont roulant	2	11.76	1401	2944	56.15
Boutonneuse	3	17.64	476	3420	65.23
Distributeur béton	4	23.53	410	3830	73.05
Cisaille	5	29.41	215	4045	77.15
Chaudière	6	35.29	206	4251	81.07
Traitement des matériaux	7	41.17	204	4455	84.97
Chariots à béton	8	47.06	145	4600	87.73
Moule	9	52.94	144	4744	90.48
Vérin	10	58.82	136	4880	93.07
Pompe bassin	11	64.70	120	5000	95.36
Traitement des eaux	12	70.58	59	5059	96.49
Poste détente	13	76.47	55	5114	97.33
Extracteur	14	82.35	40	5154	98.30
Spiraleuse	15	88.23	39	5191	99.01
Nettoyeuse	16	94.11	35	5227	99.69
Armoire électrique	17	100	16	5243	100

(1) N . H . I : nombre d'heures d'intervention

(2) C . H . I : cumul des heures d'intervention

$$\% \text{ cumulé} = \frac{N.H.I * 100}{5243}$$

$$\% \text{ ORDRE} = \frac{N^{\circ} \text{ORDRE} * 100}{17}$$



Comme on peut constater d'après le graphique de la méthode ABC les classes A et B représentent le matériel le plus défaillant avec un temps d'intervention cumulé qui représente 77.15 % du temps global d'intervention.

Ainsi, dans tous ce qui suit, notre étude sera portée sur les cinq types d'équipements suivants :

- La centrale à béton (T.F.J = 8 heures)
- Le pont roulant (T.F.J = 16 heures)
- La boutonneuse 1012 (T.F.J = 16 heures)
- Le distributeur béton (T.F.J = 8 heures)
- La cisaille (T.F.J = 16 heures)

T.F.J : Temps de Fonctionnement par Jour.

ANALYSE GLOBALE DES EQUIPEMENTS STRATEGIQUES

Nous abordons cette analyse par l'application pratique des trois concepts de la maintenance (FIABILITE, MAINTENABILITE, DISPONIBILITE) pour VISUALISER le comportement de ces équipements en service.
La période d'observation est de : 1985 au 31/03/1989

ETUDE DE FIABILITE

=====
≡ CENTRALE à BETON ≡
=====

CLASSE (JOUR)	EFFECTIFS (ni)	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE CUMULEE	Pi	nPi	ni-nPi
0 - 3	123	51.899	51.899	0.494	117.150	5.85E+00
3 - 6	53	22.363	74.262	0.250	59.242	-6.24E+00
6 - 9	30	12.658	86.920	0.126	29.959	4.14E-02
9 - 12	18	7.595	94.515	0.064	15.150	2.85E+00
12 - 15	5	2.110	96.624	0.032	7.661	-2.66E+00
15 - 18	3	1.266	97.890	0.016	3.874	
18 - 21	2	0.844	98.734	0.008	1.959	6.75E-01
21 - 24	2	0.844	99.578	0.004	0.991	
24 - 27	1	0.422	100.000	0.002	0.501	

MTBF = 35.2 HEURES
 σ = 35.2 HEURES

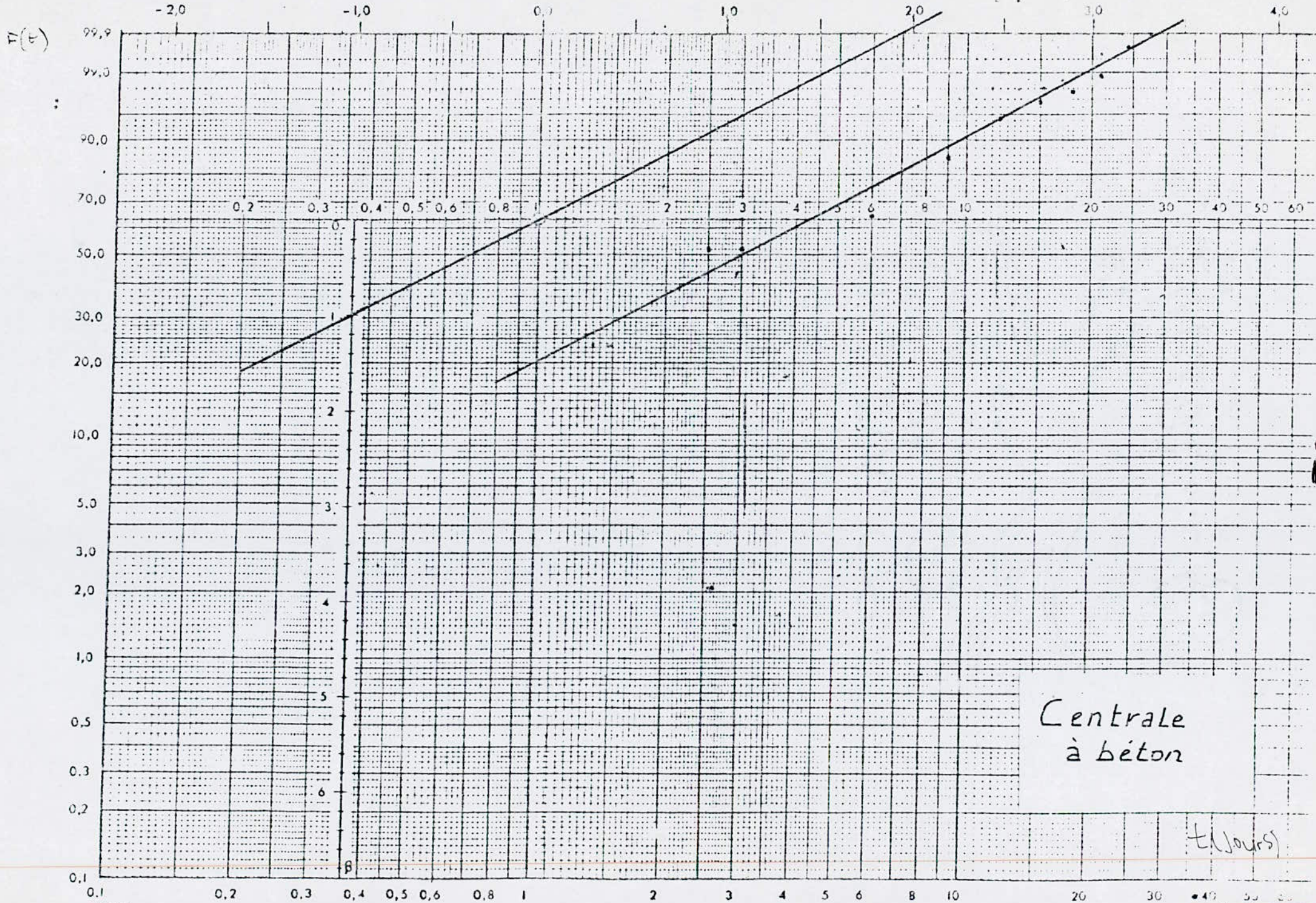
η	4.4
β	1
n	237
X	1
Y	1
δ	0

TEST DE KHI-DEUX

α = 5 %
E = $2.47 < X^2 = 9.59$
(4), 0.95

On accepte l'hypothèse d'une loi EXPONENTIELLE de paramètre $\lambda = 2.27E-1$ DEF/jour .

(ou loi de WEIBULL de paramètres $\beta = 1$, $\delta = 0$)



Centrale
à béton

t (jours)

83

=====

≡ PONT ROULANT ≡

=====

CLASSE (JOUR)	EFFECTIFS (ni)	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE CUMULEE	Pi	nPi	ni-nPi
0 - 15	32	65.306	65.306	0.556	27.220	4.78E+00
15 - 30	8	16.327	81.633	0.247	12.099	-4.10E+00
30 - 45	2	4.082	85.714	0.110	5.378	
45 - 60	2	4.082	89.796	0.049	2.391	
60 - 75	4	8.163	97.959	0.022	1.063	-5.13E-01
75 - 90	0	0.000	97.959	0.010	0.472	
90 -105	1	2.041	100.000	0.004	0.210	

MTBF = 296 HEURES
 σ = 296 HEURES

η	18.5
β	1
n	49
X	1
Y	1
δ	0

TEST DE KHI-DEUX

$\alpha = 5\%$
 $E = 2.25 < X^2 = 3.84$
 (1), 0.95

On accepte l'hypothèse d'une loi EXPONENTIELLE de paramètre $\{\lambda = 5.4E-2 \text{ DEF/JOUR}\}$.

(ou loi de WEIBULL de paramètres $\beta = 1, \delta = 0$)

=====

≡ BOUTONNEUSE ≡

=====

CLASSE (JOUR)	EFFECTIFS (ni)	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE CUMULEE	Pi	nPi	ni-nPi
0 - 10	33	54.09836	54.09836	0.4983	30.393	2.6066924
10 - 20	16	26.22951	80.32787	0.25	15.250	0.7501866
20 - 30	6	9.836066	90.16393	0.1254	7.652	-1.651579
30 - 40	3	4.918033	95.08197	0.0629	3.839	
40 - 50	0	0	95.08197	0.0316	1.926	-1.216944
50 - 60	1	1.639344	96.72131	0.0158	0.967	
60 - 70	2	3.278689	100	0.008	0.485	

MTBF = 232 HEURES
 σ = 232 HEURES

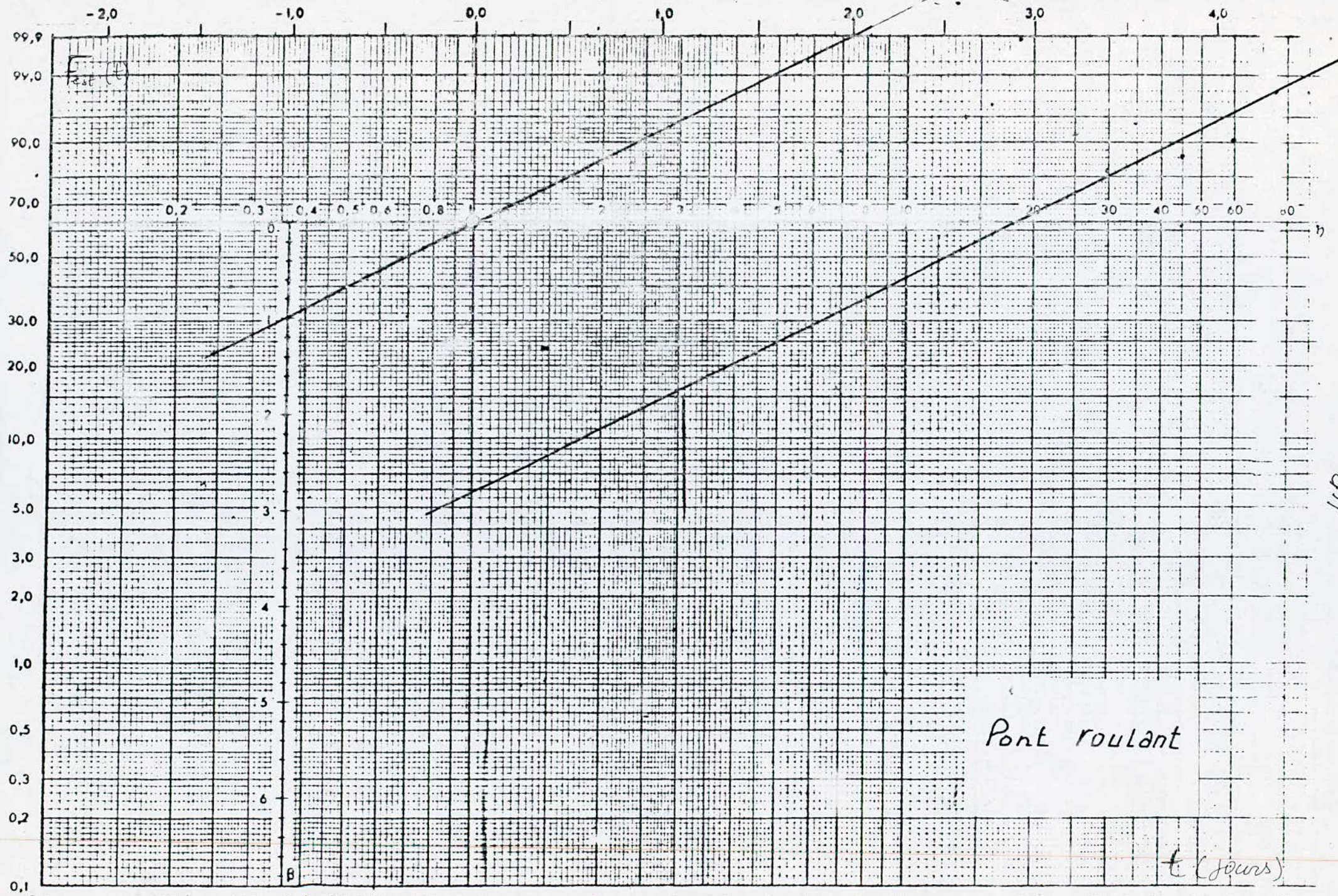
η	14.5
β	1
n	61
X	1
Y	1
δ	0

TEST DE KHI-DEUX

$\alpha = 5\%$
 $E = 0.82 < X^2 = 5.99$
 (2), 0.95

On accepte l'hypothèse d'une loi EXPONENTIELLE de paramètre $\{\lambda = 6.89E-2 \text{ DEF/JOUR}\}$.

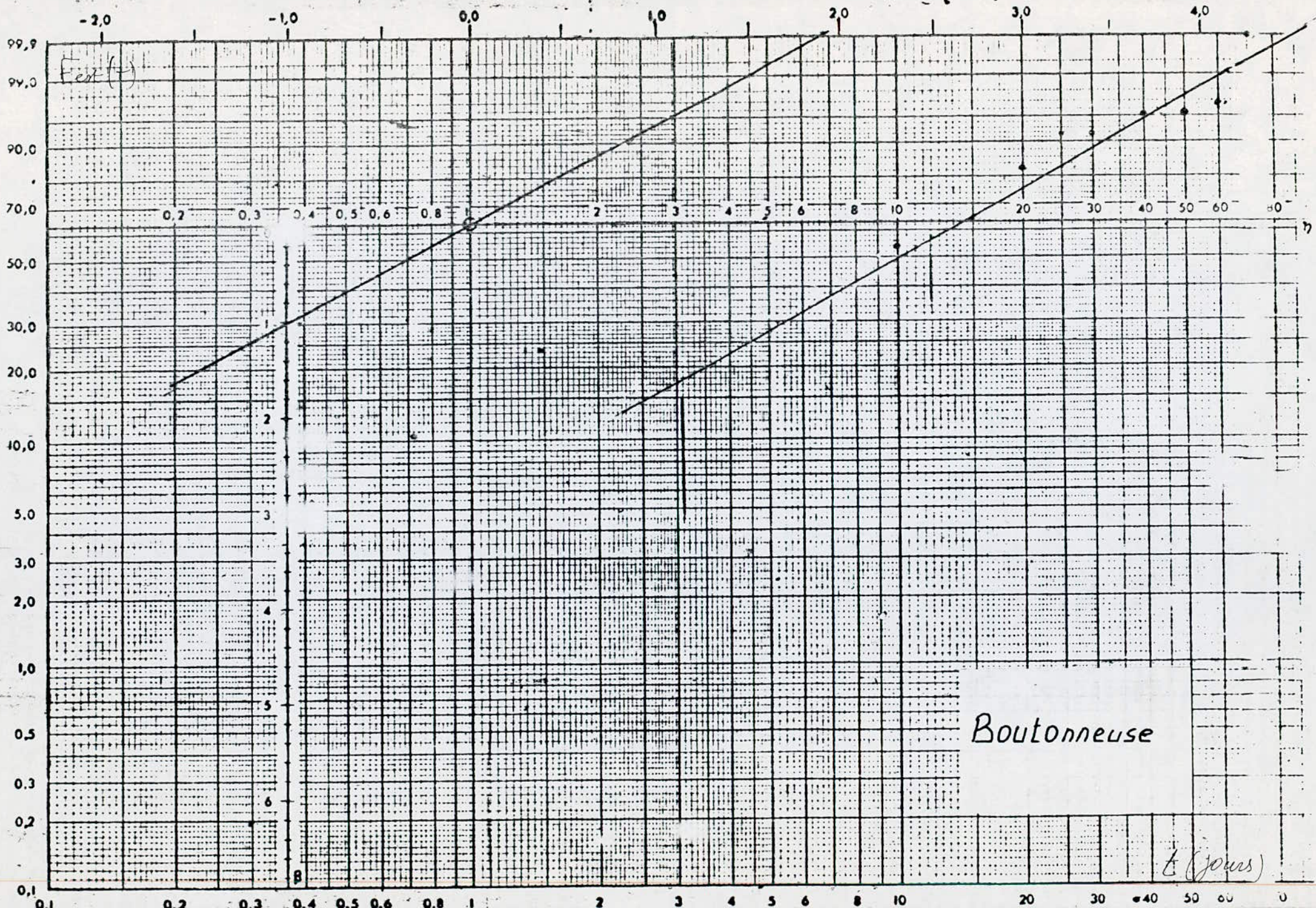
(ou loi de WEIBULL de paramètres $\beta = 1, \delta = 0$)



40

Pont roulant

t (jours)



=====
 =DISTRIBUTEUR BETON =
 =====

CLASSE (JOUR)	EFFECTIFS (ni)	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE CUMULEE	Pi	nPi	ni-nPi
0 - 9	60	64.51613	64.516	0.557	51.826	8.17E+00
9 - 18	17	18.27957	82.796	0.224	20.843	-3.84E+00
18 - 27	9	9.67742	92.473	0.107	9.923	-9.23E-01
27 - 36	3	3.22581	95.699	0.053	4.959	-1.96E+00
36 - 45	1	1.07527	96.774	0.027	2.550	
45 - 54	0	0.00000	96.774	0.014	1.337	
54 - 63	1	1.07527	97.849	0.008	0.712	-1.30E+00
63 - 72	1	1.07527	98.925	0.004	0.383	
72 - 81	0	0.00000	98.925	0.002	0.209	
81 - 90	1	1.07527	100.000	0.001	0.114	

MTBF = 95.11888 HEURES
 σ = 105.86744 HEURES

η	11.3
β	0.9
n	93
X	1.0522
Y	1.1711
γ	0

TEST DE KHI-DEUX

α = 5 %
 E = 3.17 < χ^2 = 3.84
 (1), 0.95

On accepte l'hypothèse d'une loi de WEIBULL de paramètres (β = 0.9
 η = 11.3 jour
 γ = 0 jour

=====
 = CISAILLE =
 =====

CLASSE (JOUR)	EFFECTIFS (ni)	FREQUENCE RELATIVE	FREQUENCE CUMULEE	Pi	nPi	ni-nPi
0 - 10	52	61.90476	61.90476	0.5594	46.992	5.0083909
10 - 20	18	21.42857	83.33333	0.2465	20.703	-2.703379
20 - 30	6	7.142857	90.47619	0.1086	9.121	-3.121414
30 - 40	4	4.761905	95.2381	0.0478	4.019	
40 - 50	2	2.380952	97.61905	0.0211	1.771	0.868939
50 - 60	1	1.190476	98.80952	0.0093	0.780	
60 - 70	0	0	98.80952	0.0041	0.344	
70 - 80	0	0	98.80952	0.0018	0.151	
80 - 90	1	1.190476	100	0.0008	0.067	

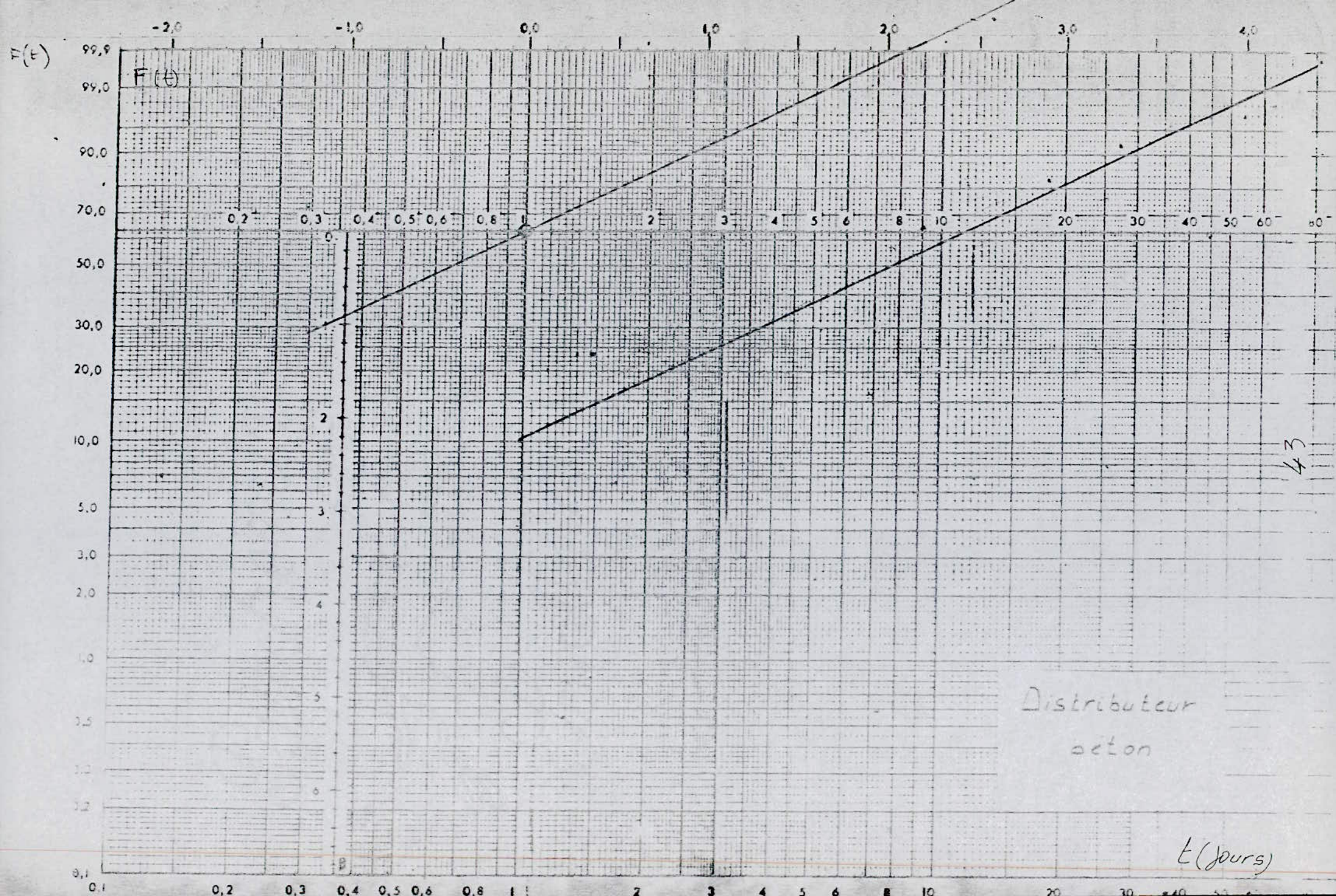
MTBF = 195.2 HEURES
 σ = 195.2 HEURES

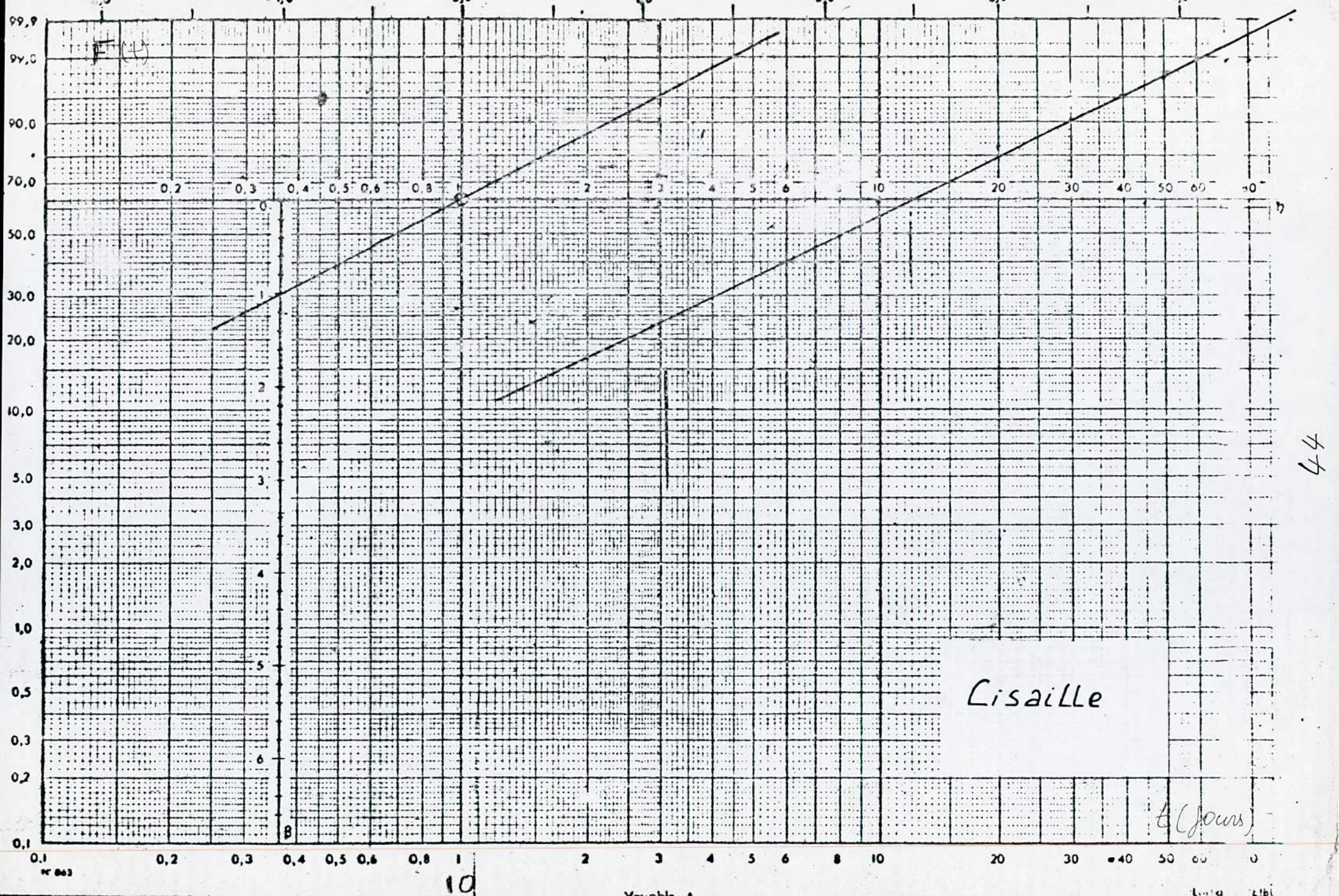
η	12.2
β	1
n	84
X	1
Y	1
γ	0

TEST DE KHI-DEUX

α = 5 %
 E = 2.06 < χ^2 = 5.99
 (2), 0.95

On accepte l'hypothèse d'une loi EXPONENTIELLE de paramètres (λ = 8.19E-2 DEF/JOUR)
 (ou loi de WEIBULL de paramètres β = 1, γ = 0)





F(4)

Lisaille

t(jours)

44

10

100

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1 2 3 4 5 6 8 10 20 30 40 50 60 100

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1 2 3 4 5 6 8 10 20 30 40 50 60 100

0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1 2 3 4 5 6 8 10 20 30 40 50 60 100

0
1
2
3
4
5
6

B

TABLEAU RECAPITULATIF DE L ETUDE DE FIABILITE DES EQUIPEMENTS

Equipement	β	η (jours)	γ (jours)	MTBF heures	R(MTBF)
Centrale à béton	1	4.4	0	35.2	0.367
Pont roulant	1	18.5	0	296	0.367
Boutonneuse	1	14.5	0	232	0.367
Distributeur béton	0.9	11.3	0	95.12	0.351
Cisaille	1	12.2	0	195.2	0.367

Commentaires :

Il va de ce qui a été étudié à conclure que :

- pour la majorité des équipements, le paramètre de forme β est égale à 1. Le matériel est donc dans la deuxième tranche d'âge; en plein période de maturité.

Cependant pour le distributeur béton, le paramètre β est inférieur à 1 et cela s'explique par les modifications majeures effectués par les agents du service méthodes sur cet équipement.

Les MTBF des équipements ainsi trouvées, vont servir de base pour l'étude de disponibilité des équipements.

ETUDE DE MAINTENABILITE

CENTRALE A BETON

Répartition des durées d'interventions

Classes en heures	Nombre d'interventions	Nombre d'interventions cumulé	% du nombre d'interventions cumulé
0 - 1	12	12	4.32
1 - 2	103	115	41.37
2 - 3	67	182	65.47
3 - 4	34	216	77.70
4 - 5	13	229	82.37
5 - 6	02	231	83.09
6 - 7	07	238	85.61
7 - 8	06	244	87.77
8 - 9	09	253	91.01
9 - 10	02	255	91.73
10 - 11	03	258	92.81
11 - 12	03	261	93.88
12 - 13	03	264	94.96
13 - 14	0	264	94.96
14 - 15	0	264	94.96
15 - 16	01	265	95.32
16 - 17	02	267	96.04
17 - 18	0	267	96.04
18 - 19	01	268	96.40
19 - 20	02	270	97.12
Σ 20	08	278	100.00

Les interventions étaient effectuées sur la centrale à béton, la période d'observation s'étendait de la date de mise en service jusqu'au 31 mars 1989.

De la distribution des 278 interventions de maintenance corrective, on tire :

$$t_{0.5} = 1.61 \text{ heures}$$

$$t_{0.84} = 6.2 \text{ heures}$$

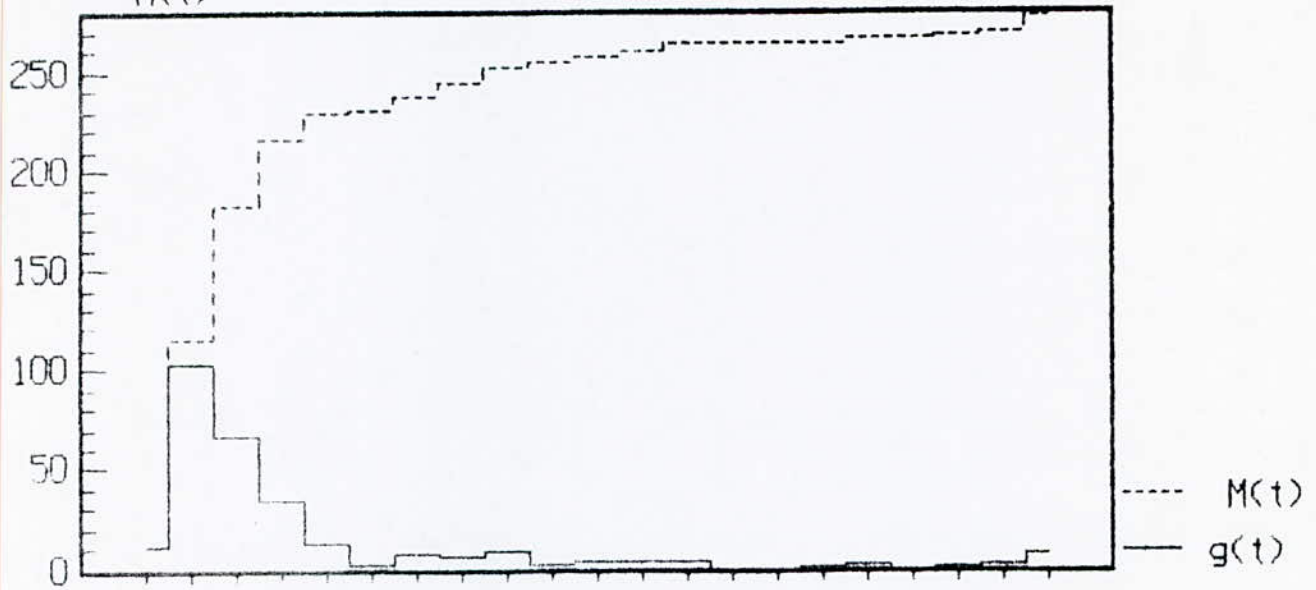
La valeur médiane $\mu = \ln t_{0.5} = 0.47 \text{ heures}$

L'écart type $\hat{\sigma} = \ln \frac{t_{0.84}}{t_{0.5}} = 1.35 \text{ heures}$

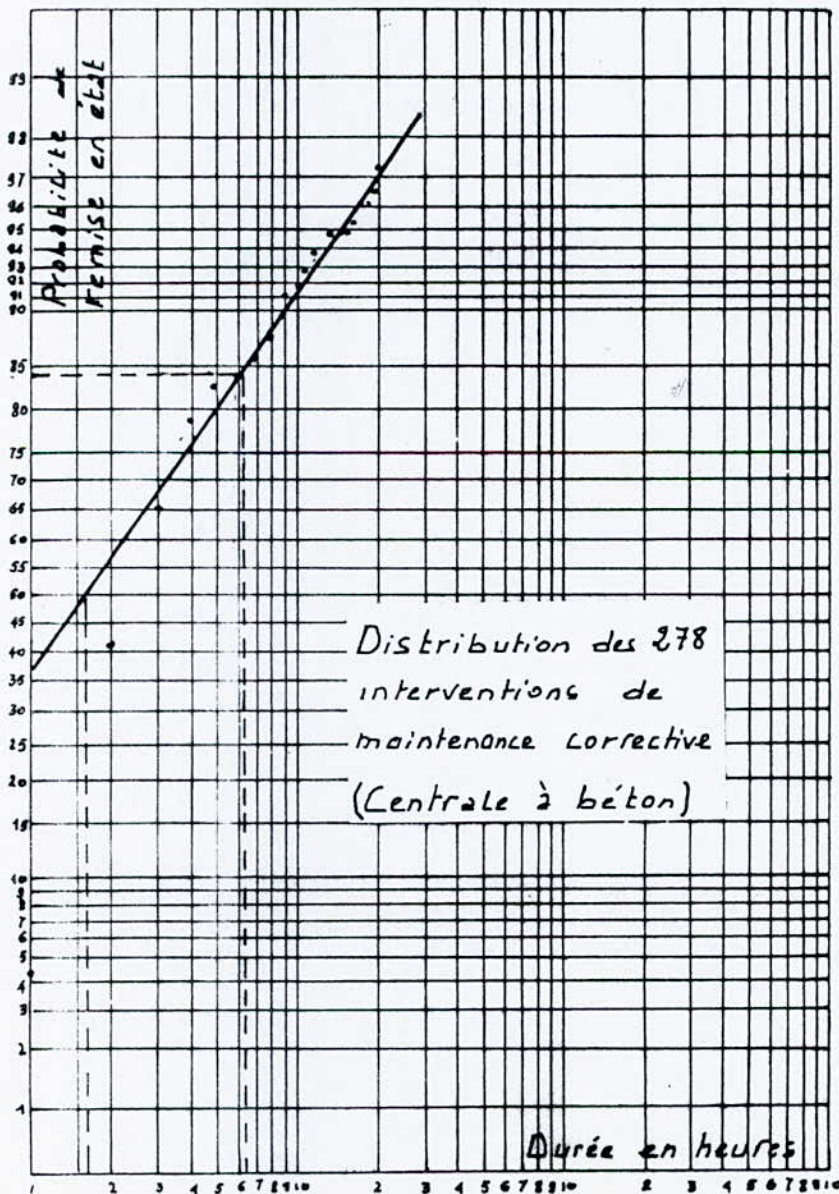
La M T T R $M_c = t_{0.5} * e^{\frac{\hat{\sigma}^2}{12}} = 4.00 \text{ heures}$

fonction de répartition $M(t)$ et
 fonction de distribution $g(t)$
 des durées d'interventions
 (centrale à béton)

nombre d'interventions
 $M(t)$



durée en heures



PONT ROULANT

Répartition des durées d'interventions

Classes en heures	Nombre d'interventions	Nombre d'interventions cumulé	% du nombre d'interventions cumulé
0 - 1	9	9	5.14
1 - 2	48	57	32.57
2 - 3	27	84	48.00
3 - 4	20	104	59.43
4 - 5	12	116	66.29
5 - 6	08	124	70.86
6 - 7	11	135	77.14
7 - 8	03	138	78.86
8 - 9	05	143	81.71
9 - 10	04	147	84.00
10 - 11	0	147	84.00
11 - 12	0	147	84.00
12 - 13	02	149	85.14
13 - 14	02	151	86.29
14 - 15	02	153	87.43
15 - 16	0	153	87.43
16 - 17	04	157	89.71
17 - 18	01	158	90.29
18 - 19	01	159	90.86
19 - 20	03	162	92.57
< 20	13	175	100.00

Les interventions étaient effectuées sur les ponts roulants, la période d'observation s'étendait de la date de mise en service jusqu'au 31/03/89.

De la distribution des 175 interventions de maintenance corrective, on tire :

$$t_{0.10} = 1.1 \text{ heures}$$

$$t_{0.5} = 3.3 \text{ heures}$$

$$t_{0.84} = 10 \text{ heures}$$

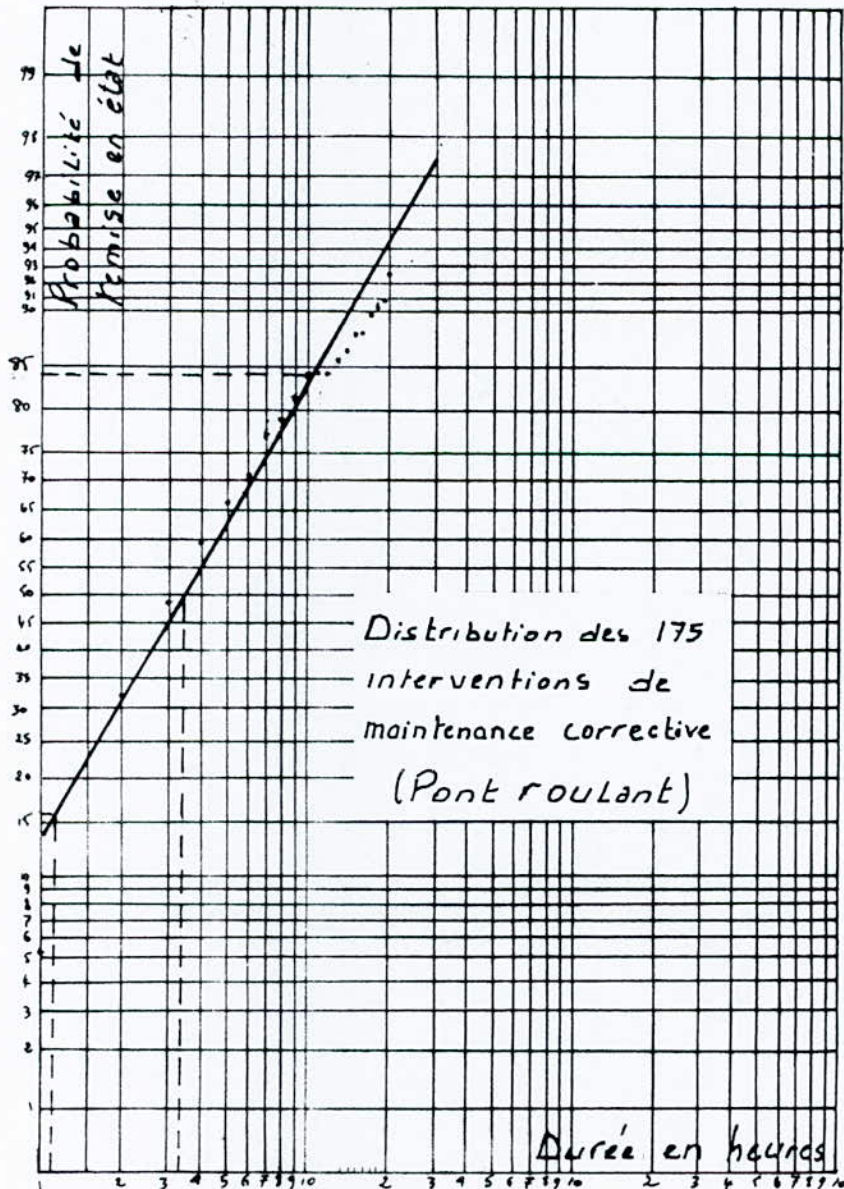
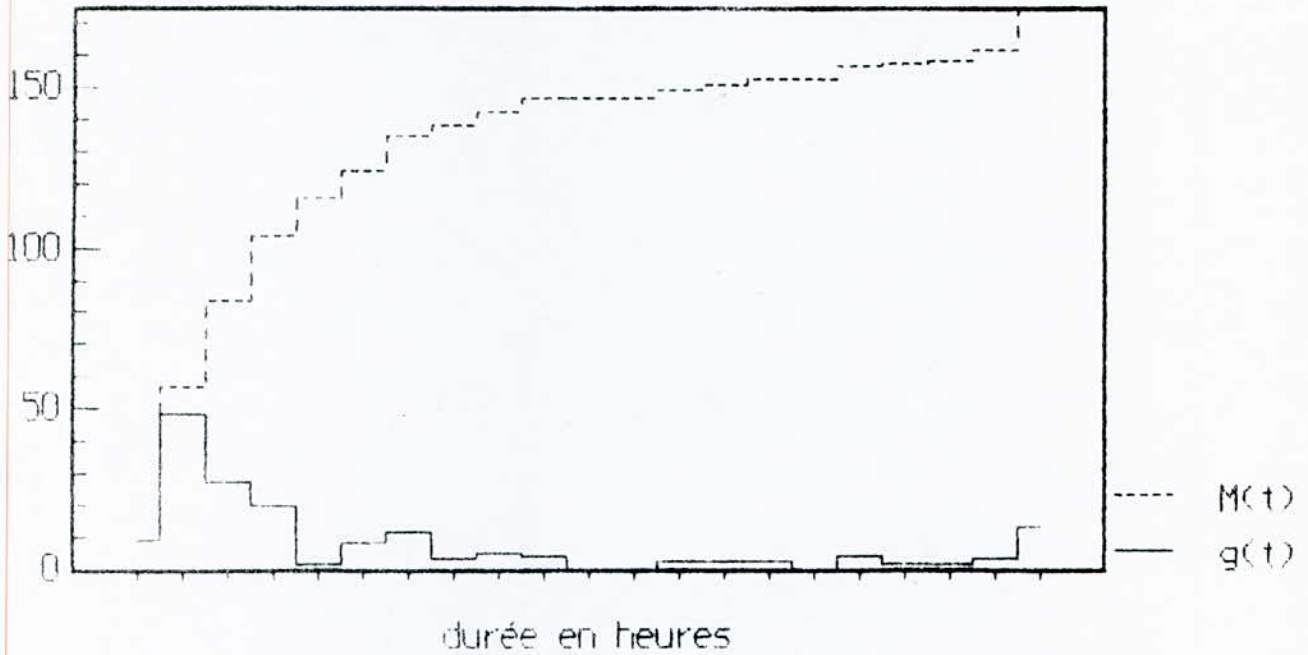
La valeur médiane $\mu = \ln t_{0.5} = 1.19 \text{ heures}$

L'écart type $\hat{\sigma} = \frac{1}{2} * \ln \frac{t_{0.84}}{t_{0.10}} = 1.10 \text{ heures}$

LA M T T R $M_C = t_{0.5} * \hat{\sigma}^2 / 2 = 6.04 \text{ HEURES}$

fonction de répartition $M(t)$ et
 fonction de distribution $g(t)$
 des durées d'interventions
 (pont roulant)

nombre d'interventions
 $M(t)$



BOUTONNEUSE

Répartition des durées d'interventions

Classes en heures	Nombre d'interventions	Nombre d'interventions cumulé	% du nombre d'interventions cumulé
0 - 1	40	40	32.25
1 - 2	55	95	76.61
2 - 3	14	109	87.90
3 - 4	06	115	92.74
4 - 5	05	120	96.77
5 - 6	03	123	99.19
6 - 7	0	123	99.19
7 - 8	0	123	99.19
< 8	01	124	100.00

Les interventions étaient effectuées sur la boutonneuse ,la période d'observation s'étendait de la date de mise en service jusqu'au 31/03/89

De la distribution des 124 interventions de maintenance corrective, on tire :

$$t_{0.5} = 1.37 \text{ heures}$$

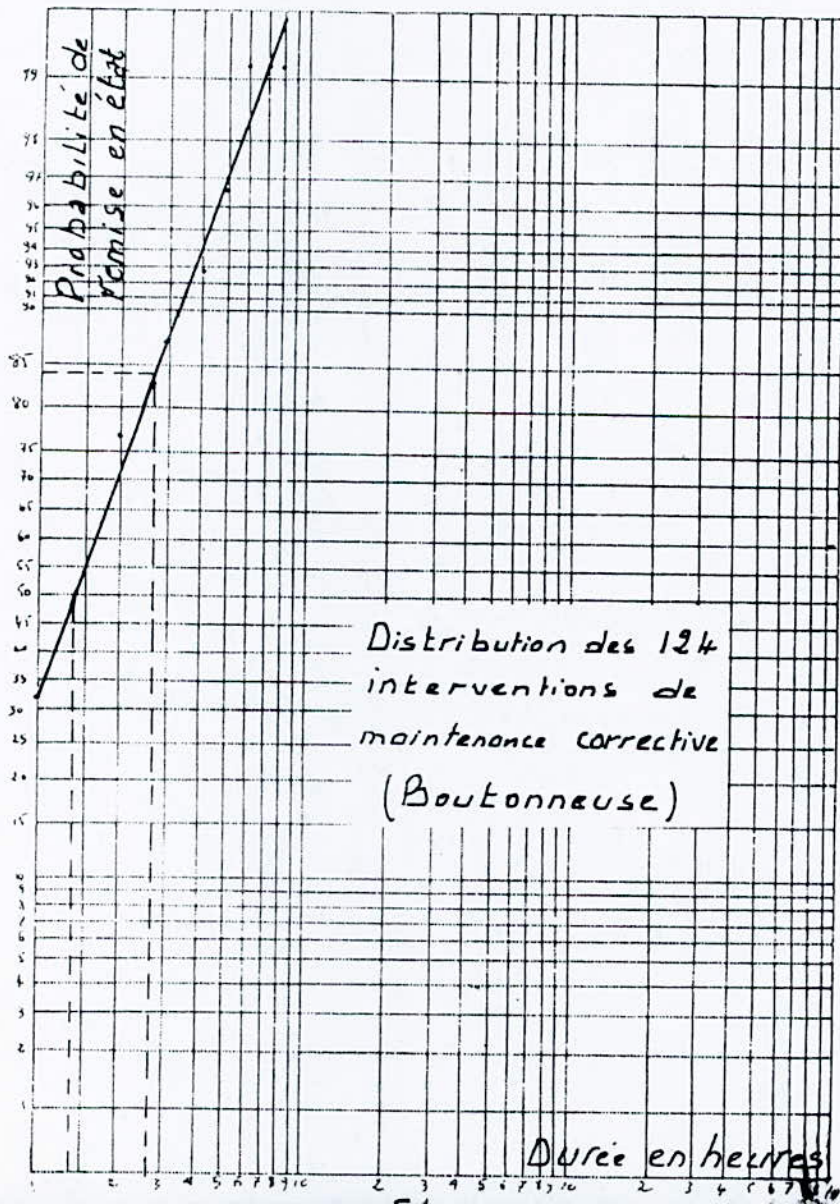
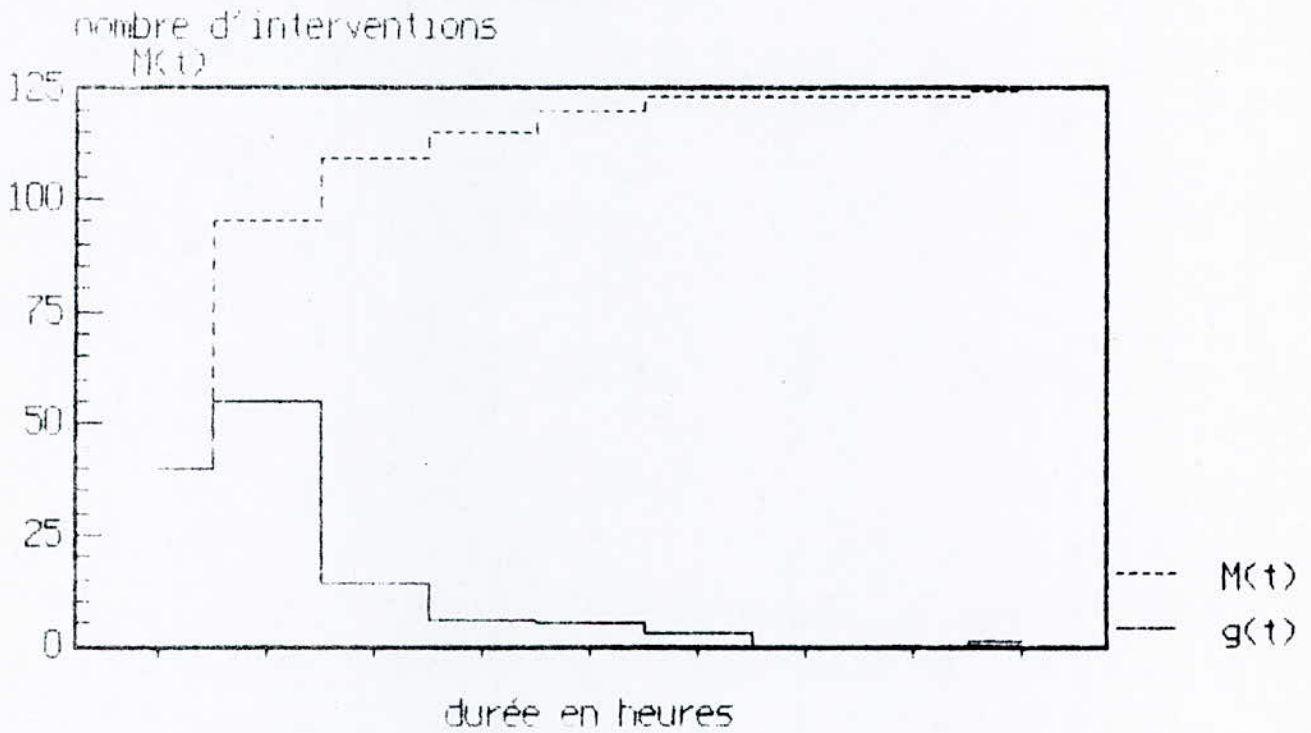
$$t_{0.94} = 2.57 \text{ heures}$$

La valeur médiane $\mu = \ln t_{0.5} = 0.31$

L'écart type $\hat{\sigma} = \ln \frac{t_{0.94}}{t_{0.5}} = 0.63$

La M T T R $M_c = t_{0.5} * e^{\hat{\sigma}^2 / 2} = 1.67 \text{ heures}$

fonction de répartition $M(t)$ et
 fonction de distribution $g(t)$
 des durées d'interventions
 (boutonneuse)



DISTRIBUTEUR BETON

Répartition des durées d'interventions

Classes en heures	Nombre d'interventions	Nombre d'interventions cumulé	% du nombre d'interventions cumulé
0 - 1	23	23	12.04
1 - 2	74	97	50.79
2 - 3	33	130	68.06
3 - 4	16	146	76.44
4 - 5	12	158	82.72
5 - 6	07	165	86.39
6 - 7	08	173	90.58
7 - 8	07	180	94.24
8 - 9	02	182	95.29
9 - 10	01	183	95.81
10 - 11	03	186	97.38
11 - 12	0	186	97.38
12 - 13	02	188	98.43
13 - 14	01	189	98.95
14 - 15	0	189	98.95
15 - 16	0	189	98.95
16 - 17	0	189	98.95
17 - 18	02	191	100.00

Les interventions étaient effectuées sur le distributeur béton, la période d'observation s'étendait de la date de mise en service jusqu'au 31/03/89.

De la distribution des 191 interventions de maintenance corrective, on tire :

$$t_{0.46} = 1.13 \text{ heures}$$

$$t_{0.60} = 2.42 \text{ heures}$$

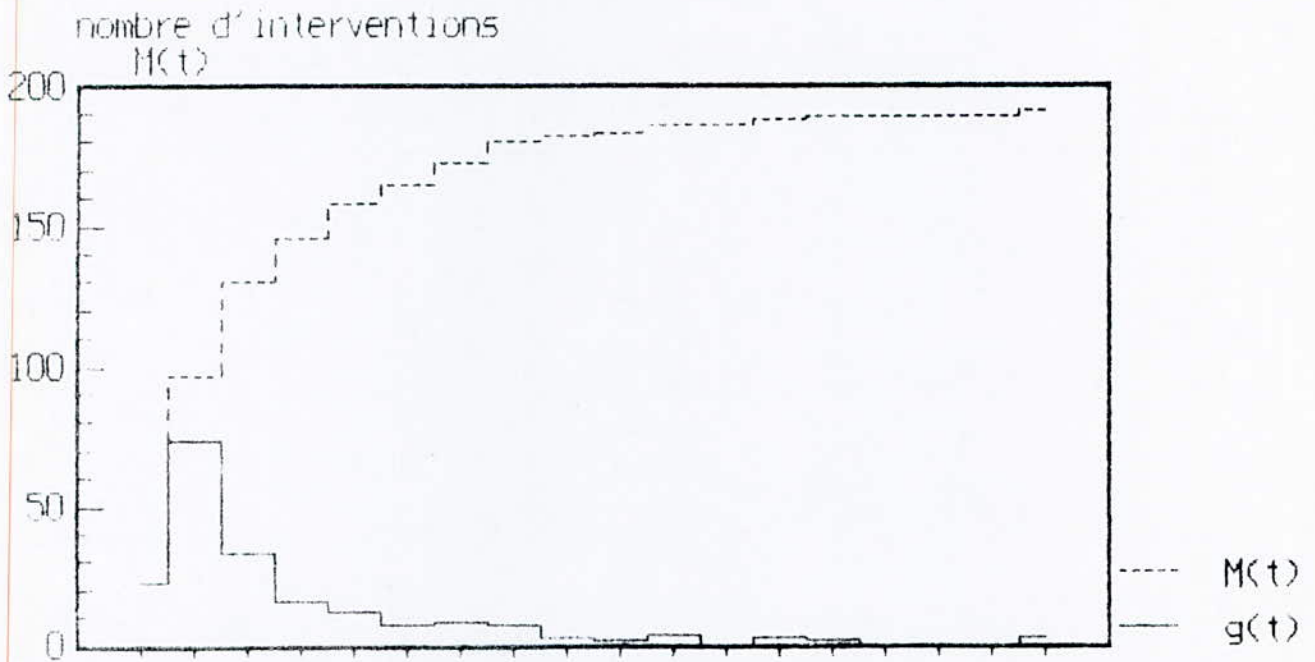
$$t_{0.94} = 5.18 \text{ heures}$$

La valeur médiane $\mu = \text{Ln } t_{0.5} = 0.88 \text{ heures}$

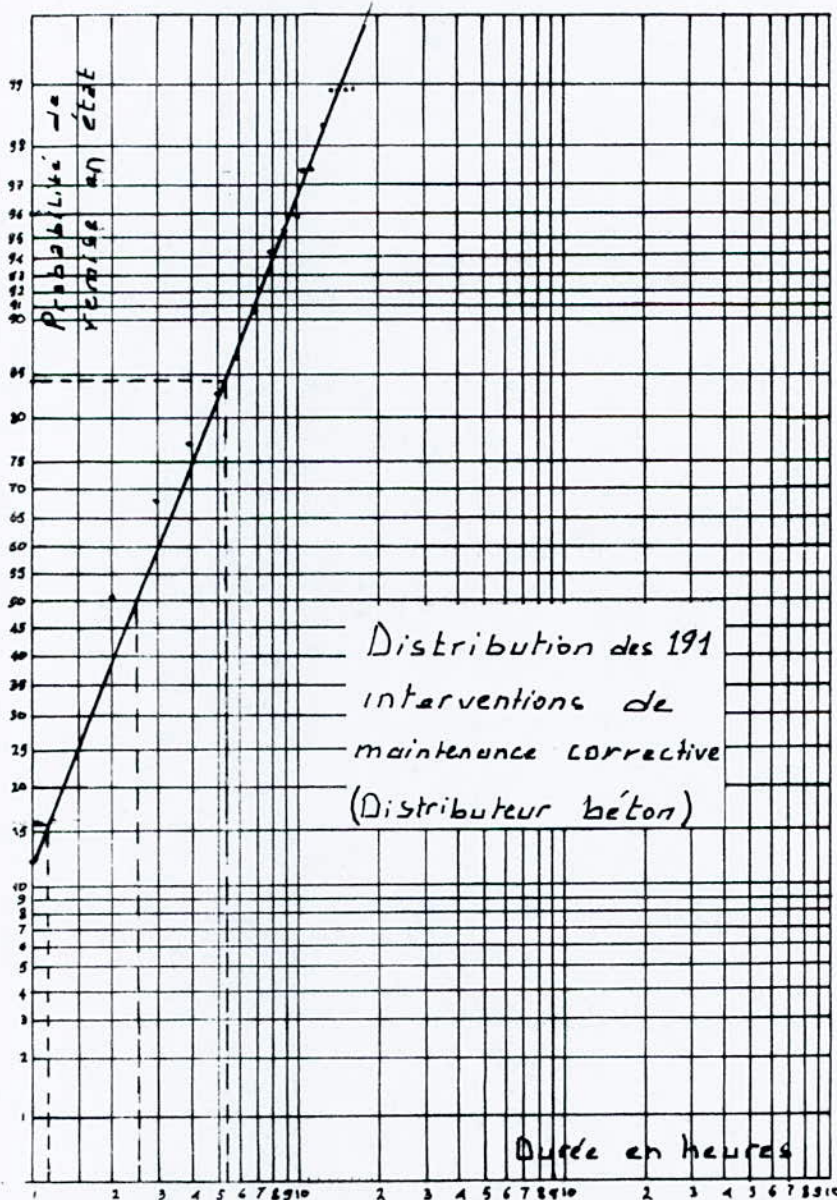
L'écart type $\hat{\sigma} = \frac{1}{2} \text{Ln} \frac{t_{0.84}}{t_{0.16}} = 0.76 \text{ heures}$

La M T T R $M_c = t_{0.5} * e^{\hat{\sigma}^2 / 2} = 3.23 \text{ heures}$

fonction de répartition $M(t)$ et
 fonction de distribution $g(t)$
 des durées d'interventions
 (distributeur béton)



durée en heures



CISAILLE

Répartition des durées d'interventions

Classes en heures	Nombre d'intervention	Nombre d'interventions cumulé	% du nombre d'interventions cumulé
0 - 1	29	29	23.20
1 - 2	46	75	60.00
2 - 3	28	103	82.40
3 - 4	05	108	86.40
4 - 5	06	114	91.20
5 - 6	01	115	92.00
6 - 7	03	118	94.40
7 - 8	01	119	95.20
8 - 9	01	120	96.00
9 - 10	0	120	96.00
10 - 11	01	121	96.80
11 - 12	0	121	96.80
12 - 13	01	122	97.60
13 - 14	0	122	97.60
14 - 15	01	123	98.40
15 - 16	0	123	98.40
16 - 17	0	123	98.40
17 - 18	0	123	98.40
18 - 19	0	123	98.40
19 - 20	02	125	100.00

Les interventions étaient effectuées sur la cisaille, la période d'observation s'étendait de la date de mise en service jusqu'au 31/03/89.

De la distribution des 125 interventions de maintenance corrective, on tire :

$$t_{0.5} = 1.1 \text{ heures}$$

$$t_{0.94} = 3.7 \text{ heures}$$

La valeur médiane $\mu = \ln t_{0.5} = 0.09$

L'écart type $\hat{\sigma} = \ln \frac{t_{0.94}}{t_{0.5}} = 1.21 \text{ heures}$

La M T T R $M_c = t_{0.5} \cdot e^{\hat{\sigma}^2 / 2} = 2.28 \text{ heures}$

fonction de répartition $M(t)$ et
 fonction de distribution $g(t)$
 des durées d'interventions
 (cisaille)

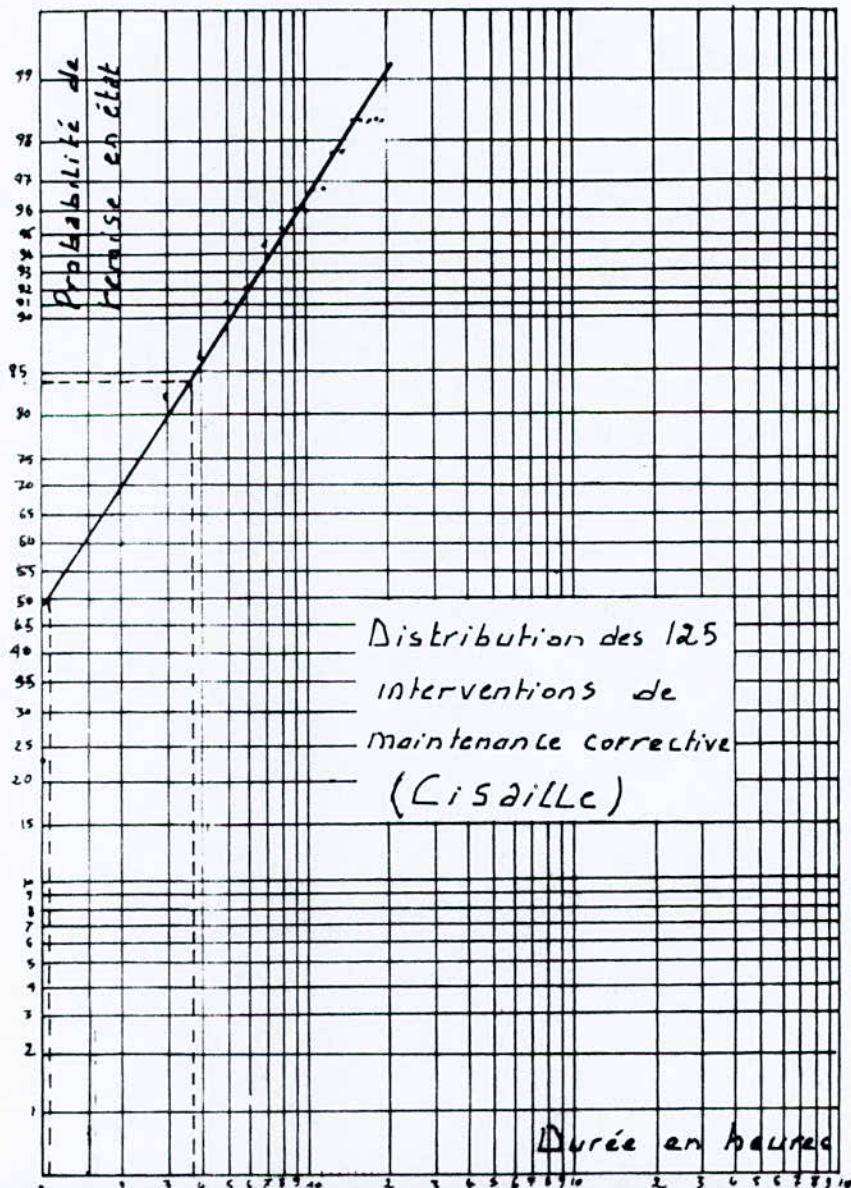
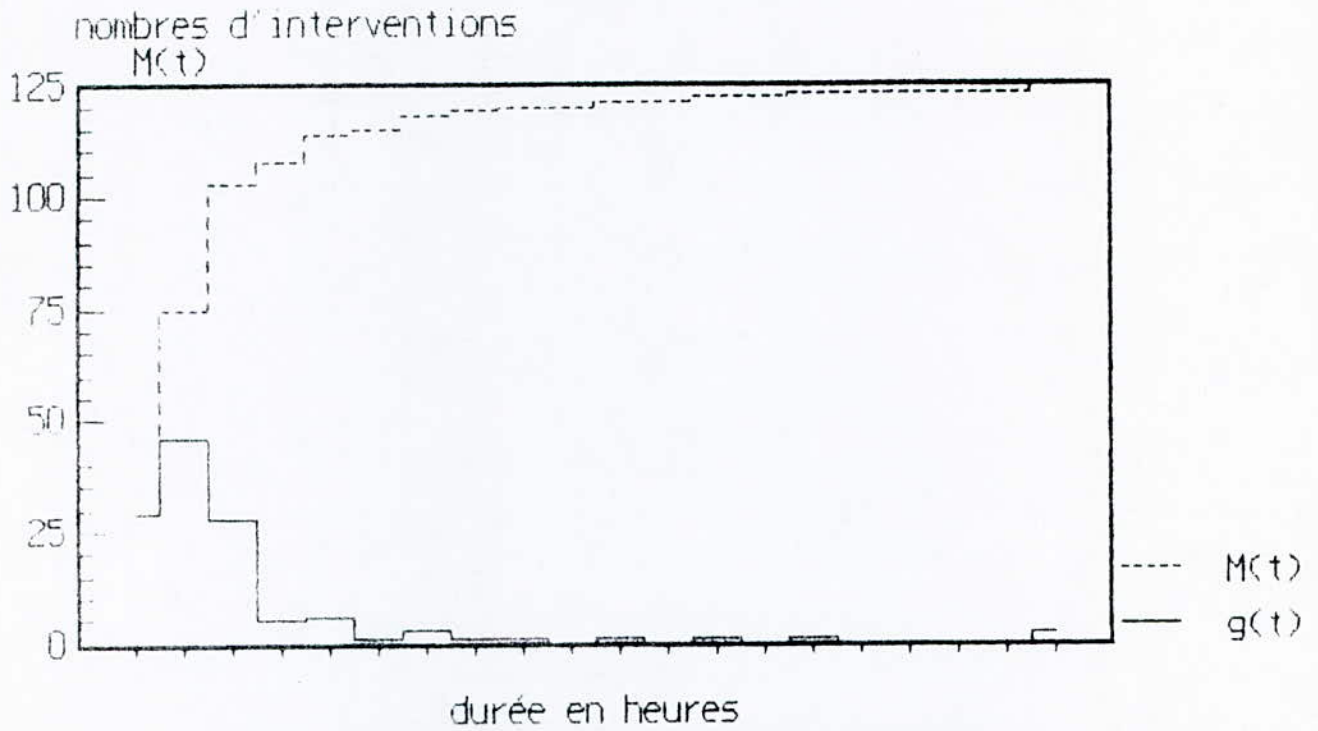


TABLEAU RECAPITULATIF DE L ETUDE DE MAINTENABILITE

Equipements	Valeur Médiane (heures)	Ecart Type (heures)	Moyenne des Temps Techniques de Reparation (heures)
Centrale à béton	0.47	1.35	4.00
Pont roulant	1.19	1.10	6.04
Boutonneuse	0.31	0.63	1.67
Distributeur béton	0.88	0.76	3.23
Cisaille	0.09	1.21	2.28

Commentaires et recommandations :

La durée d'intervention , n'a pas de sens que par référence à la définition des moyens mis en oeuvre tels que procédure logistique, personnel ...

Dans notre cas les moyennes des temps techniques de réparation des équipements varient de 1h 40 mn à 6h 2mn .

Ainsi, nous remarquons que la MTR du pont roulant est relativement supérieure à celles des autres équipements : et cela peut s'expliquer par le fait que les agents du service entretien axent leurs capacités sur les équipements qui provoquent un arrêt de la chaîne de production , contrairement aux pannes des ponts roulants qui provoquent un ralentissement de la chaîne , vue la disponibilité des 6 ponts roulants .

Les résultats obtenus, peuvent servir de référence lors d'une étude de réorganisation de la maintenance dans l'unité .

Pour améliorer la maintenabilité liée à l'utilisateur , nous suggérons deux méthodes d'aide au diagnostic qui permettent de minimiser, les temps perdus lors d'une défaillance .

- La méthode d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités sur l'ensemble (AMDEC)

- Méthode d'analyse de pannes de MAXER .

Une étude détaillée de ces méthodes est présentée dans [1 2] :

DISPONIBILITE

La contribution de la fiabilité et de la maintenabilité permet d'assurer la disponibilité nécessaire de l'équipement .

La formule de base de la disponibilité est exprimée par le ratio suivant :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Le tableau ci-dessous montre l'évaluation de la disponibilité pour chaque équipement étudié .

équipement	MTBF (heures)	MTTR (heures)	D
Centrale à béton	35.2	4.00	0.89
Pont roulant	296	6.04	0.98
Boutonneuse	232	1.67	0.99
Distributeur béton	95.12	3.23	0.96
Cisaillie	195.2	2.28	0.98

Commentaires et suggestions :

La disponibilité des équipements stratégiques de l'unité varie entre 0.89 et 0.99 .

Ces disponibilités intrinsèques , d'une part confirment les résultats obtenus dans l'analyse de fiabilité , à savoir les équipements sont en pleine période de maturité, d'autres parts montrent que les MTTR ne sont pas considérables devant les MTBF . ceci étant , nous pouvons conclure que la maintenance corrective est effectuée dans les délais acceptables .

Pour les équipements pénalisants comme le cas de la centrale à béton, il s'avère indispensable de la suivre de près pour orienter les actions de maintenance sur les organes sensibles .

L'absence des temps d'immobilisations sur les historiques des pannes, ne nous a pas permis d'évaluer , par le calcul des disponibilités opérationnelles , le support logistique de l'unité , comme l'ordonnancement, La gestion des stocks et les moyens mis en oeuvre .

Cependant nous suggérons aux agents du service méthodes de relever ces temps d'arrêts dus à l'indisponibilité des techniciens, des outils ou des pièces de rechange et de même connaître les coûts engendrés par ces temps morts. Ces données une fois acquises permettront d'analyser et d'améliorer la structure de la maintenance au niveau de l'unité .

ETUDE DE FIABILITE DES ORGANES DES EQUIPEMENTS

En collaboration avec les agents du service methodes et entretien, et en tenant compte des historiques des pannes, nous avons sélectionnés les organes jugés fragiles des équipements étudiés, pour analyser leurs pannes quantitativement par une étude de Fiabilité.

=====

≡BLINDAGE DE FOND (CENTRALE à BETON)≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
93	1	0.07447	0.860	0.140	0.065	1.04E-02
104	2	0.18085	0.735	0.265	0.084	1.90E-02
105	3	0.28723	0.721	0.279	0.008	2.00E-02
112	4	0.39362	0.609	0.391	0.003	2.83E-02
115	5	0.50000	0.556	0.444	0.056	3.26E-02
127	6	0.60638	0.331	0.669	0.063	5.58E-02
128	7	0.71277	0.312	0.688	0.025	5.82E-02
129	8	0.81915	0.294	0.706	0.113	6.07E-02
133	9	0.92553	0.226	0.774	0.151	7.16E-02

MTBF =	931	HEURES
σ =	170	HEURES

η	125
β	6.4
n	9
X	0.931
Y	0.17
γ	0

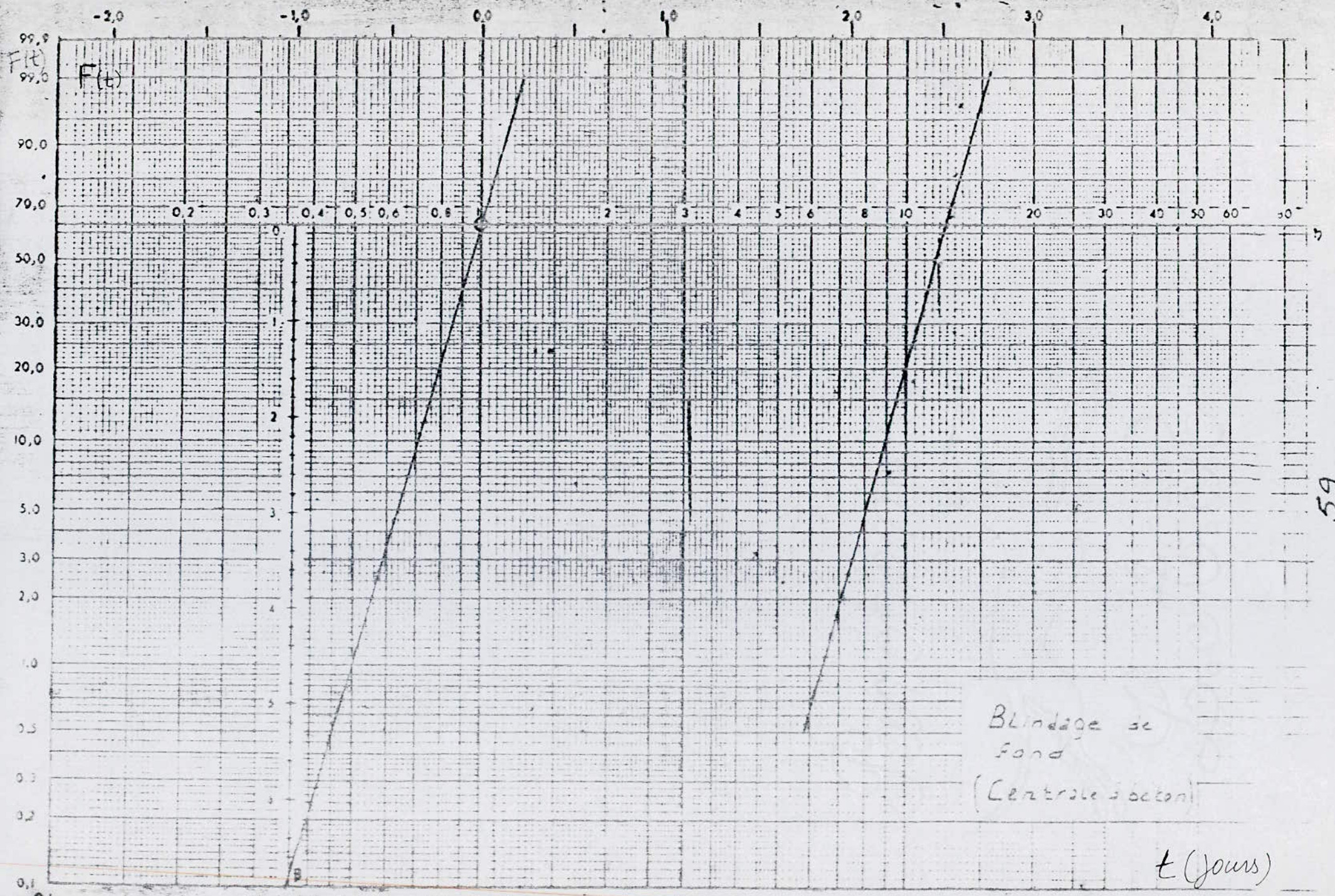
Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5 \%$

D n, $\alpha = 0.432$

MAX | Fest - F(t) | = 0.1515 < 0.432

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
au seuil de $\alpha = 5 \%$



59

Blindage de
Fond
(Centrale à béton)

t (jours)

=====

≡ PLAQUETTES DE FREIN DE LEVAGE (PONT ROULANT) ≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
31	1	0.04023	0.947	0.053	0.013	2.65E-03
59	2	0.09770	0.866	0.134	0.036	3.65E-03
61	3	0.15517	0.860	0.140	0.015	3.72E-03
80	4	0.21264	0.797	0.203	0.010	4.26E-03
97	5	0.27011	0.739	0.261	0.009	4.69E-03
100	6	0.32759	0.728	0.272	0.056	4.76E-03
115	7	0.38506	0.676	0.324	0.061	5.10E-03
146	8	0.44253	0.571	0.429	0.014	5.75E-03
168	9	0.50000	0.501	0.499	0.001	6.17E-03
189	10	0.55747	0.439	0.561	0.004	6.54E-03
205	11	0.61494	0.394	0.606	0.009	6.81E-03
231	12	0.67241	0.328	0.672	0.001	7.23E-03
273	13	0.72989	0.239	0.761	0.031	7.86E-03
314	14	0.78736	0.171	0.829	0.041	8.43E-03
341	15	0.84483	0.136	0.864	0.019	8.79E-03
378	16	0.90230	0.097	0.903	0.001	9.25E-03
490	17	0.95977	0.032	0.968	0.008	1.05E-02

MTBF = 3105.288 HEURES
 σ = 2108.376 HEURES

n	215
β	1.5
T.ECH	17
X	0.9027
Y	0.6129
δ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\lambda = 5\%$
 $D n, \lambda = 0.318$
 MAX |Fest - F(t)| = 0.0613 < 0.318
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5\%$

=====

≡ CABLE DE LEVAGE (PONT ROULANT) ≡

=====

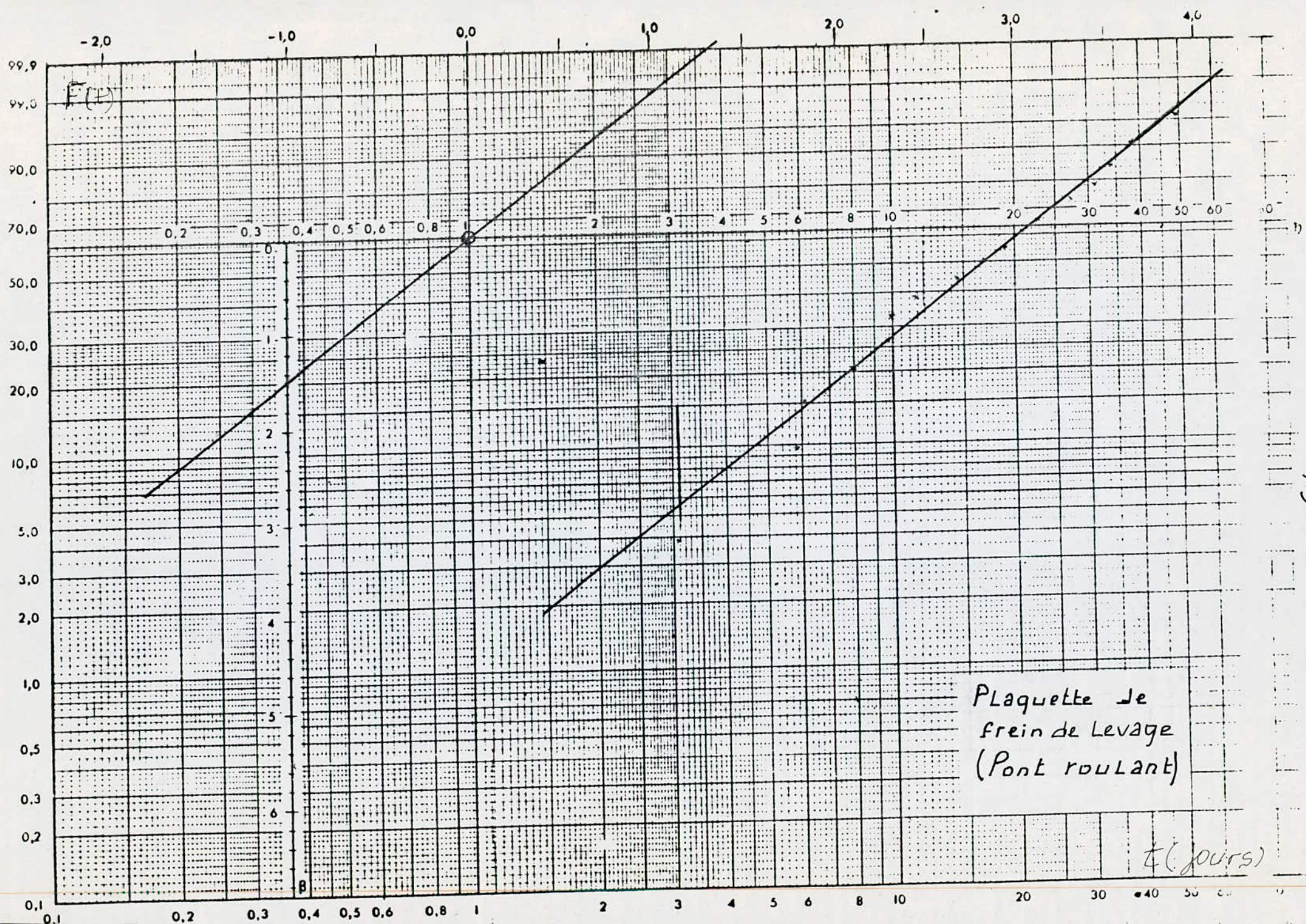
t(jour)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
33	1	0.067308	0.882	0.118	0.051	0.00534
40	2	0.163462	0.848	0.152	0.012	0.00577
43	3	0.259615	0.833	0.167	0.093	0.00594
80	4	0.355769	0.647	0.353	0.003	0.00761
106	5	0.451923	0.525	0.475	0.023	0.00852
121	6	0.548077	0.460	0.540	0.008	0.00898
137	7	0.644231	0.397	0.603	0.041	0.00944
180	8	0.740385	0.258	0.742	0.001	0.01053
185	9	0.836538	0.245	0.755	0.082	0.01064
331	10	0.932692	0.042	0.958	0.026	0.01343

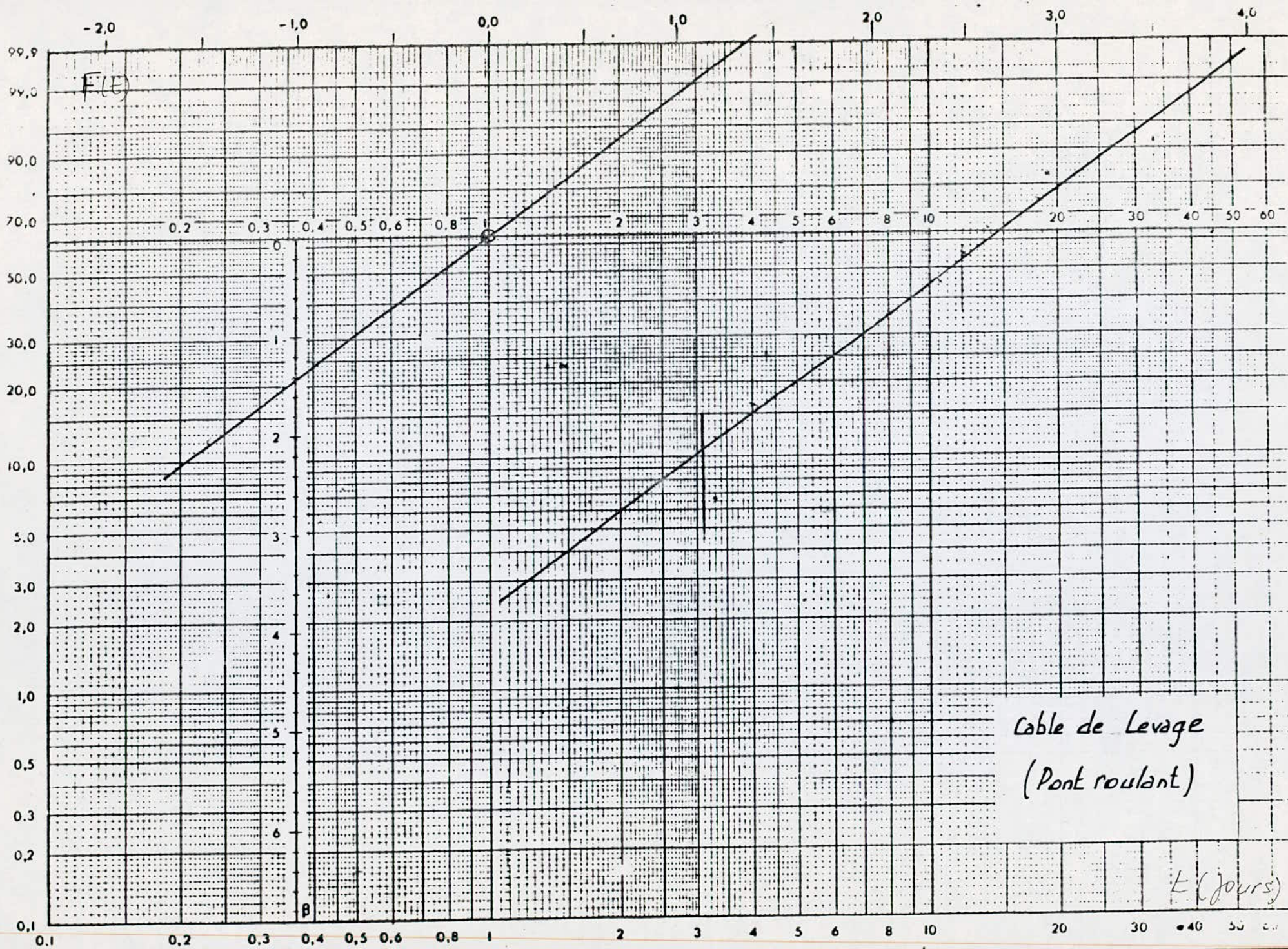
MTBF = 2114.448 HEURES
 σ = 1530.272 HEURES

n	145
β	1.4
n	10
X	0.9114
Y	0.6596
δ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\lambda = 5\%$
 $D n, \lambda = 0.41$
 MAX |Fest - F(t)| = 0.0929 < 0.41
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5\%$





Cable de Levage
(Pont roulant)

E (jours)

62

=====

≡ MOTO REDUCTEUR TRANSLATION (PONT ROULANT) ≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
30	1	0.05645	0.942	0.058	0.002	3.30E-03
57	2	0.13710	0.841	0.159	0.022	5.01E-03
70	3	0.21774	0.784	0.216	0.002	5.73E-03
79	4	0.29839	0.743	0.257	0.042	6.20E-03
92	5	0.37903	0.683	0.317	0.062	6.84E-03
102	6	0.45968	0.636	0.364	0.096	7.32E-03
122	7	0.54032	0.545	0.455	0.085	8.22E-03
143	8	0.62097	0.454	0.546	0.075	9.11E-03
220	9	0.70161	0.200	0.800	0.098	1.21E-02
228	10	0.78226	0.182	0.818	0.036	1.23E-02
240	11	0.86290	0.156	0.844	0.019	1.28E-02
359	12	0.94355	0.027	0.973	0.029	1.66E-02

MTBF	=	2360.69	HEURES
σ	=	1468.9	HEURES

η		165
β		1.65
n		12
X		0.8942
Y		0.5564
δ		0

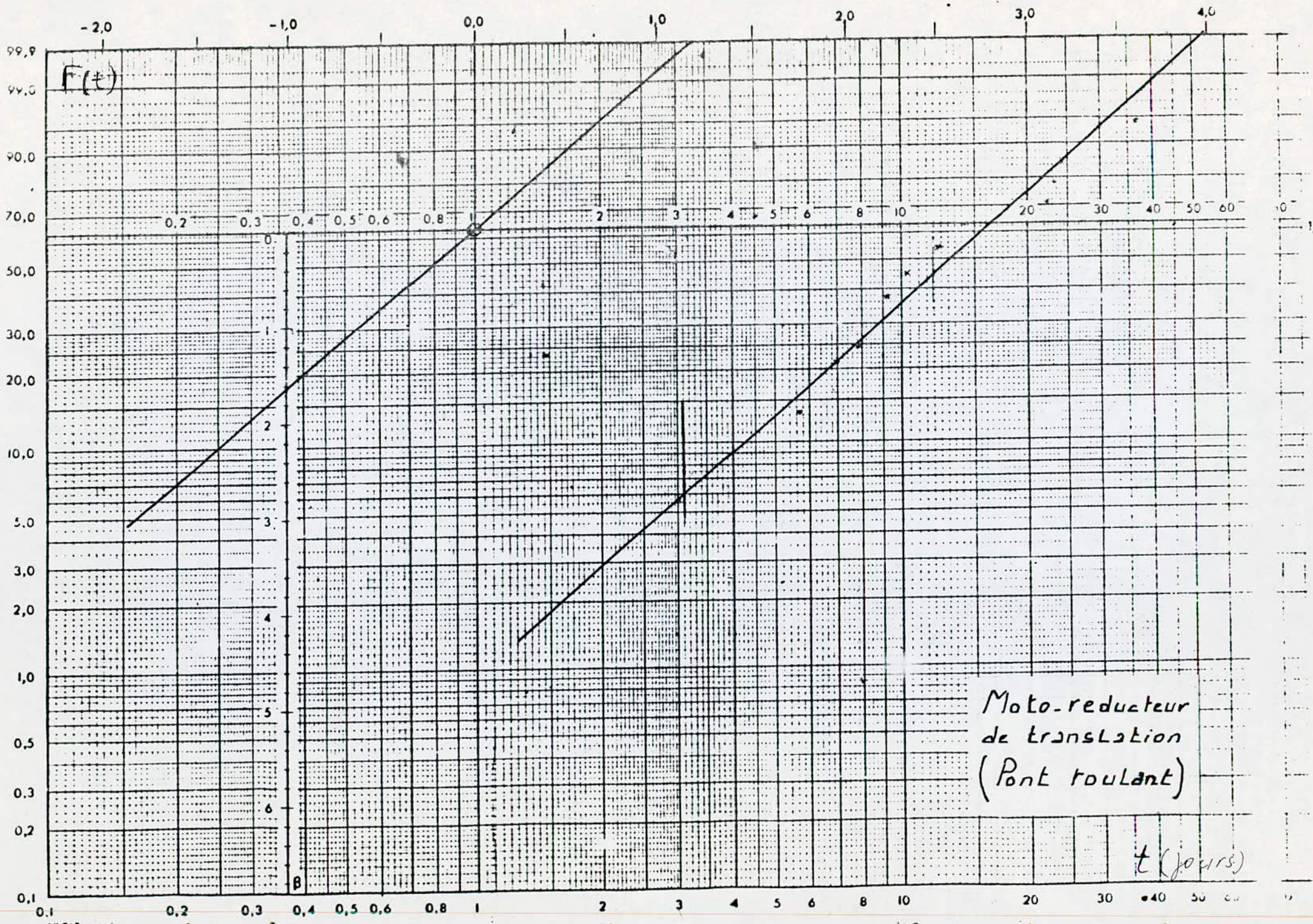
Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5 \%$

$D_{n,\alpha} = 0.375$

$\text{MAX } | \text{Fest} - F(t) | = 0.098 < 0.375$

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
au seuil de $\alpha = 5 \%$



Moto-reducteur
de translation
(Pont roulant)

t (years)

64

=====

 = MARTEAU (BOUTONNEUSE) =

 =====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
7	1	0.04348	0.932	0.068	0.024	1.30E-02
10	2	0.08696	0.894	0.106	0.019	1.45E-02
11	3	0.13043	0.881	0.119	0.012	1.49E-02
12	4	0.17391	0.868	0.132	0.042	1.53E-02
15	5	0.21739	0.828	0.172	0.045	1.64E-02
16	6	0.26087	0.814	0.186	0.075	1.67E-02
20	7	0.30435	0.760	0.240	0.064	1.79E-02
28	8	0.34783	0.653	0.347	0.001	1.98E-02
31	9	0.39130	0.615	0.385	0.006	2.04E-02
33	10	0.43478	0.590	0.410	0.025	2.08E-02
36	11	0.47826	0.554	0.446	0.032	2.13E-02
46	12	0.52174	0.444	0.556	0.034	2.29E-02
47	13	0.56522	0.434	0.566	0.001	2.31E-02
51	14	0.60870	0.395	0.605	0.004	2.37E-02
54	15	0.65217	0.368	0.632	0.020	2.41E-02
59	16	0.69565	0.326	0.674	0.021	2.47E-02
66	17	0.73913	0.273	0.727	0.012	2.56E-02
79	18	0.78261	0.194	0.806	0.023	2.70E-02
91	19	0.82609	0.139	0.861	0.035	2.82E-02
130	20	0.86957	0.044	0.956	0.087	3.13E-02
153	21	0.91304	0.021	0.979	0.066	3.29E-02
259	22	0.95652	0.000	1.000	0.043	3.85E-02

MTBF = 797.9904 HEURES
 σ = 618.9696 HEURES

η	54
β	1.3
n	22
X	0.9236
Y	0.7164
γ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5\%$
 $D_{n,\alpha} = 0.284$
 $\text{MAX} | \text{Fest} - F(t) | = 0.0869 < 0.284$
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental au seuil de $\alpha = 5\%$

=====

 = GUIDE MACHOIRE (BOUTONNEUSE) =

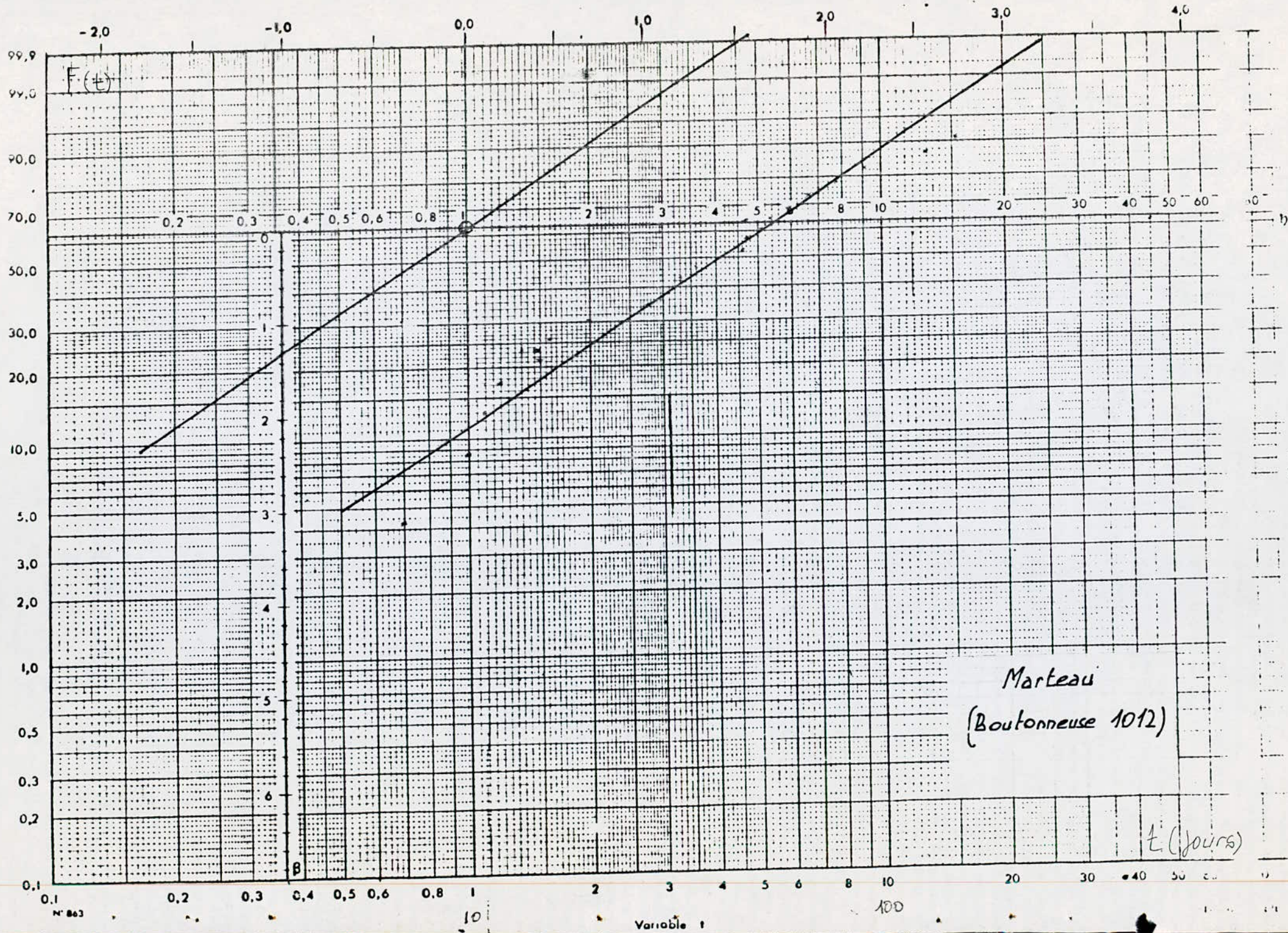
 =====

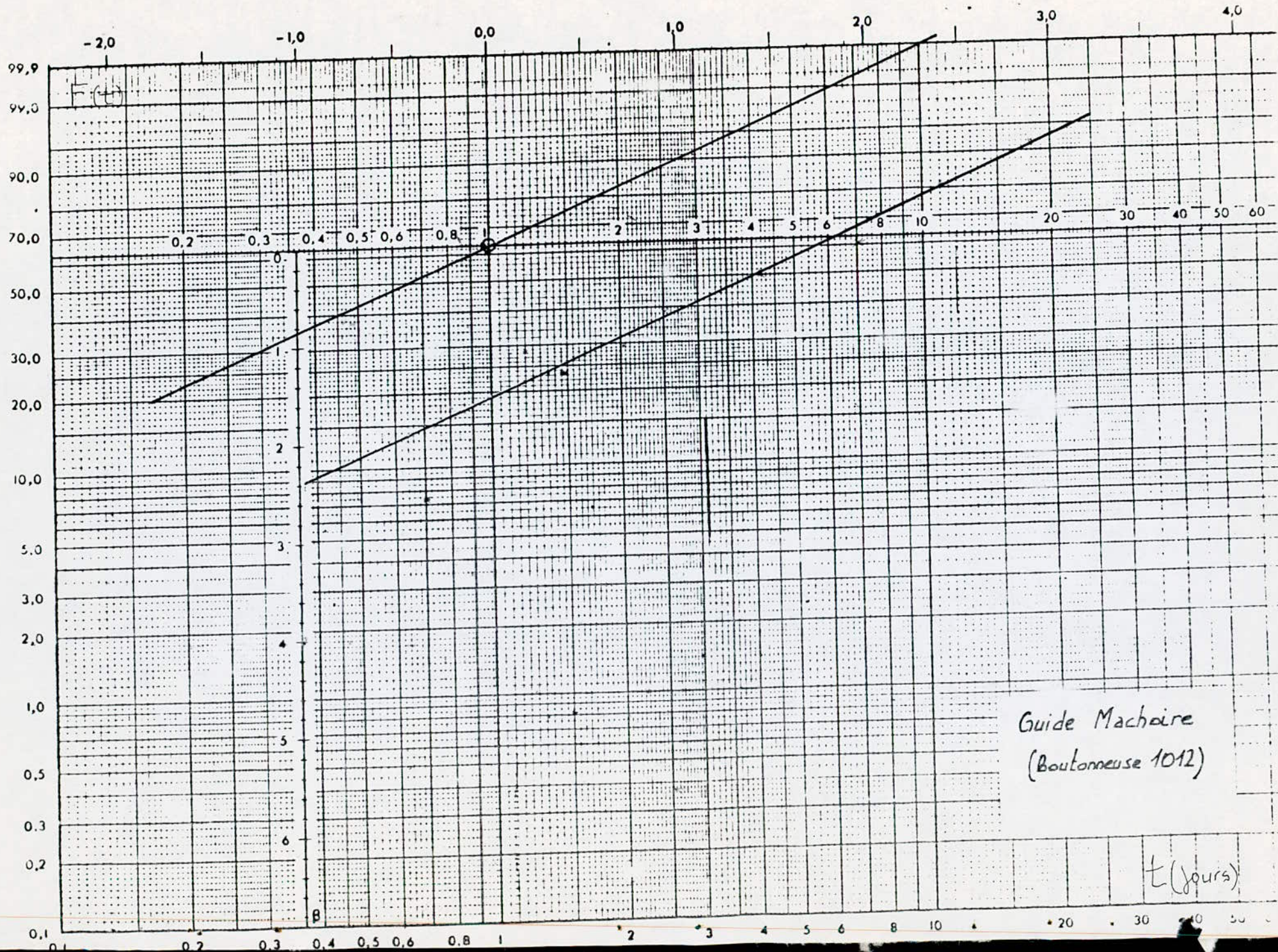
t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
7	1	0.074468	0.857	0.143	0.069	0.0187592
8	2	0.180851	0.841	0.159	0.022	0.0183872
12	3	0.287234	0.783	0.217	0.071	0.0173022
25	4	0.393617	0.634	0.366	0.028	0.0154985
42	5	0.500000	0.492	0.508	0.008	0.0143381
70	6	0.606383	0.335	0.665	0.059	0.0132805
79	7	0.712766	0.298	0.702	0.010	0.0130417
111	8	0.819149	0.198	0.802	0.017	0.0123931
183	9	0.925532	0.084	0.916	0.010	0.0114977

MTBF = 1096.704 HEURES
 σ = 1295.683 HEURES

η	63
β	0.85
n	9
X	1.088
Y	1.2854
γ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV
 $\alpha = 5\%$
 $D_{n,\alpha} = 0.432$
 $\text{MAX} | \text{Fest} - F(t) | = 0.0705 < 0.432$
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental au seuil de $\alpha = 5\%$





=====

≡ MACHOIRE (BOUTONNEUSE) ≡

=====

t(jour)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
6	1	0.04167	0.960	0.040	0.002	3.07E-02
8	2	0.08333	0.896	0.104	0.020	2.98E-02
10	3	0.12500	0.841	0.159	0.034	2.91E-02
12	4	0.16667	0.791	0.209	0.043	2.86E-02
13	5	0.20833	0.767	0.233	0.024	2.84E-02
15	6	0.25000	0.723	0.277	0.027	2.80E-02
16	7	0.29167	0.703	0.297	0.006	2.78E-02
18	8	0.33333	0.664	0.336	0.003	2.75E-02
19	9	0.37500	0.645	0.355	0.020	2.73E-02
20	10	0.41667	0.627	0.373	0.044	2.72E-02
26	11	0.45833	0.532	0.468	0.010	2.65E-02
27	12	0.50000	0.518	0.482	0.018	2.64E-02
28	13	0.54167	0.504	0.496	0.046	2.63E-02
33	14	0.58333	0.441	0.559	0.025	2.59E-02
39	15	0.62500	0.377	0.623	0.002	2.54E-02
54	16	0.66667	0.258	0.742	0.075	2.46E-02
55	17	0.70833	0.252	0.748	0.040	2.46E-02
57	18	0.75000	0.240	0.760	0.010	2.45E-02
60	19	0.79167	0.223	0.777	0.014	2.44E-02
63	20	0.83333	0.207	0.793	0.040	2.42E-02
112	21	0.87500	0.065	0.935	0.060	2.29E-02
186	22	0.91667	0.012	0.988	0.071	2.18E-02
305	23	0.95833	0.001	0.999	0.041	2.07E-02

MTBF	= 669.23	HEURES
σ	= 655.82	HEURES

η	35
β	0.9
n	23
X	1.0522
Y	1.1711
γ	5

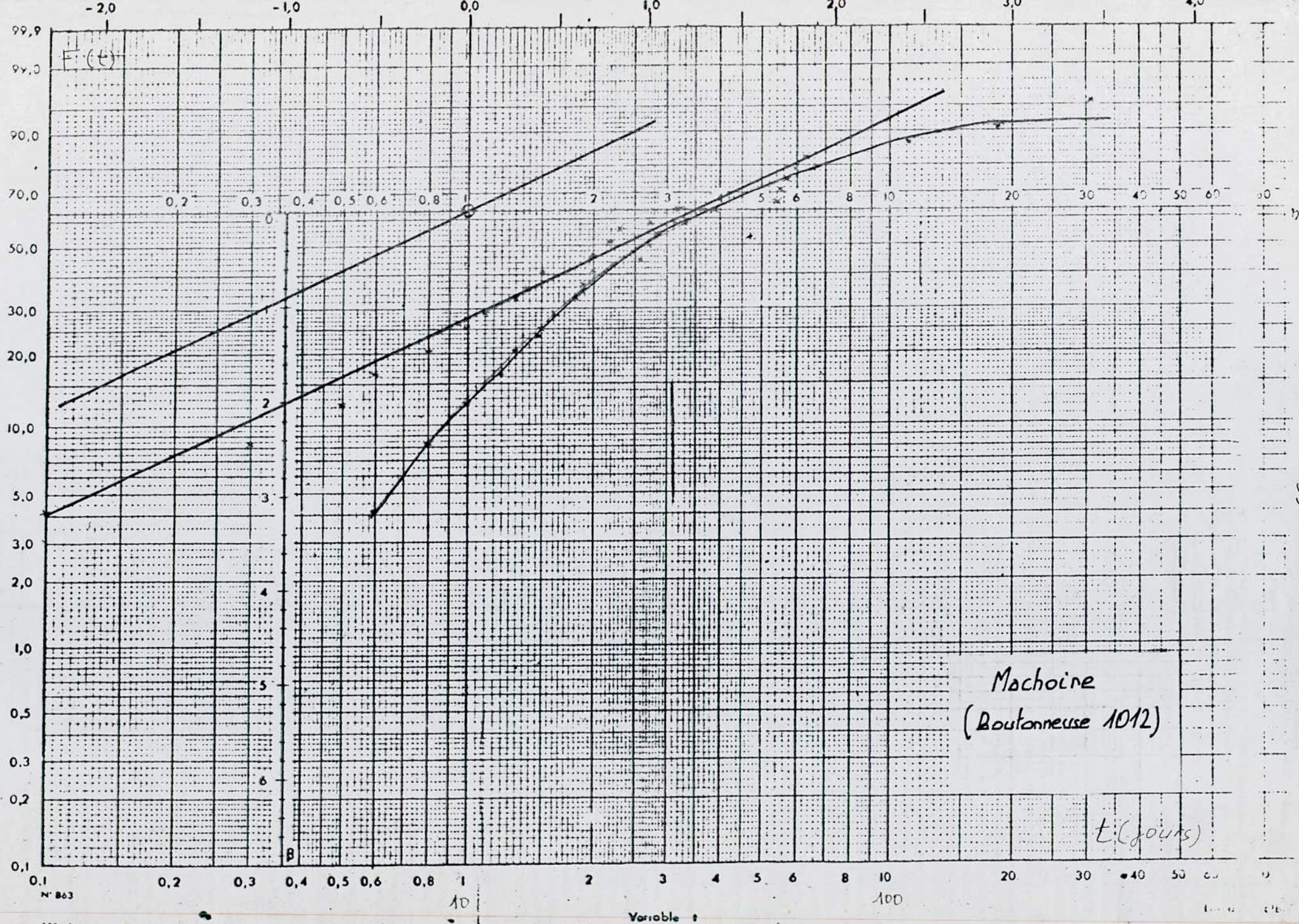
Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5 \%$

$D_{n,\alpha} = 0.279$

MAX | Fest - F(t) | = 0.075 < 0.279

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
au seuil de $\alpha = 5 \%$



=====
 = ROULEMENT GALET LATERAL (DISTRIBUTEUR BETON) =
 =====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
26	1	0.04545	0.960	0.040	0.006	4.05E-02
28	2	0.11039	0.911	0.089	0.022	4.11E-02
33	3	0.17532	0.782	0.218	0.042	4.25E-02
34	4	0.24026	0.757	0.243	0.003	4.27E-02
37	5	0.30519	0.683	0.317	0.012	4.34E-02
41	6	0.37013	0.590	0.410	0.039	4.43E-02
42	7	0.43506	0.569	0.431	0.004	4.46E-02
43	8	0.50000	0.548	0.452	0.048	4.48E-02
46	9	0.56494	0.488	0.512	0.053	4.54E-02
48	10	0.62987	0.451	0.549	0.081	4.58E-02
56	11	0.69481	0.325	0.675	0.019	4.72E-02
96	12	0.75974	0.051	0.949	0.189	5.26E-02
103	13	0.82468	0.036	0.964	0.139	5.33E-02
132	14	0.88961	0.008	0.992	0.103	5.60E-02
145	15	0.95455	0.004	0.996	0.042	5.71E-02

MTBF	= 410.2424	HEURES
σ	= 182.6304	HEURES

η	29
β	1.2
n	15
X	0.9407
Y	0.7872
δ	24

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

 $\alpha = 5 \%$
 $D_{n,\alpha} = 0.338$
 $\text{MAX } | \text{Fest} - F(t) | = 0.1894 < 0.338$
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5 \%$

=====
 = MOTEUR ELECTRIQUE (DISTRIBUTEUR BETON) =
 =====

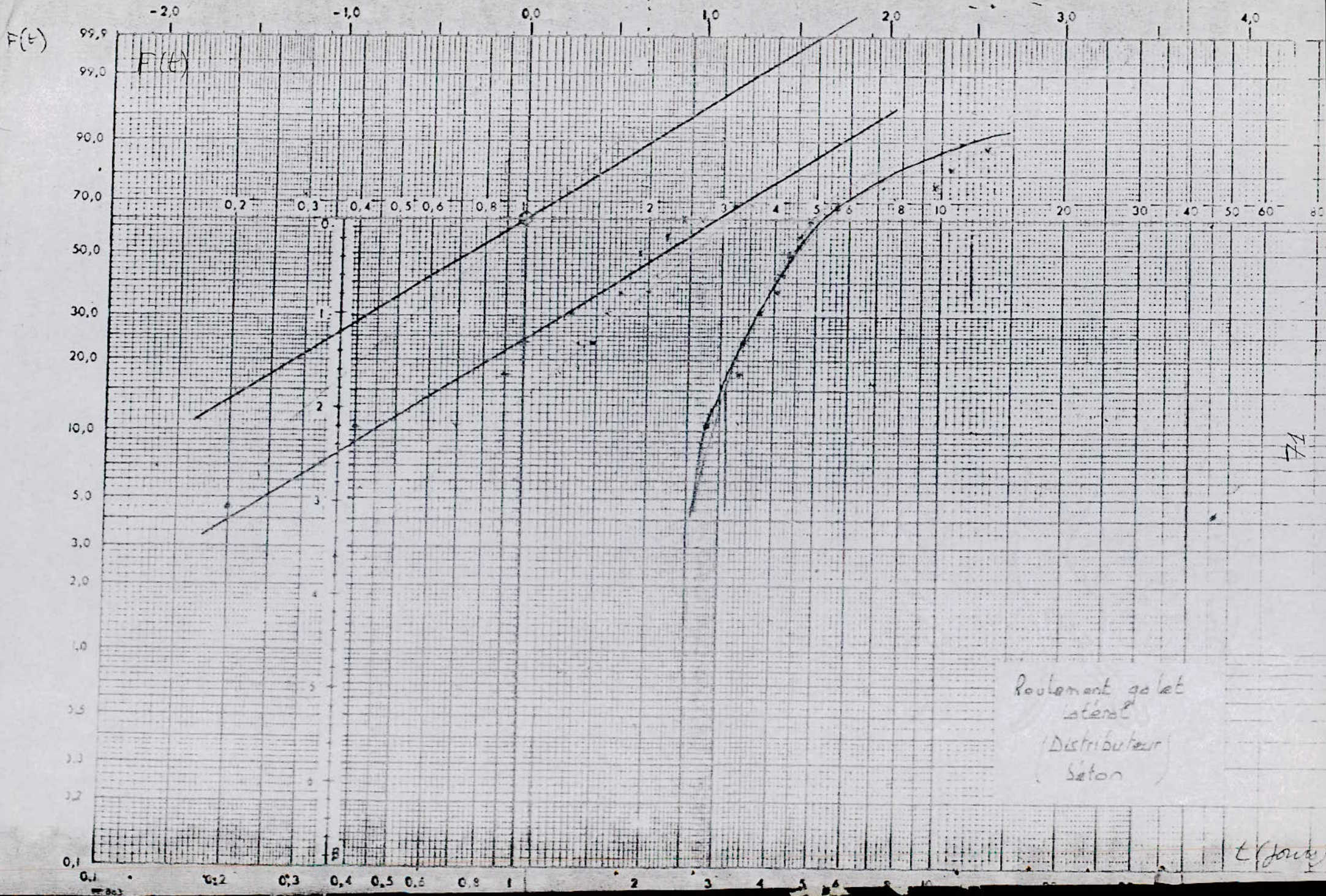
t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
32	1	0.109375	0.853	0.147	0.037	0.00520
40	2	0.265625	0.819	0.181	0.084	0.00526
98	3	0.421875	0.599	0.401	0.020	0.00550
145	4	0.578125	0.461	0.539	0.039	0.00561
281	5	0.734375	0.212	0.788	0.054	0.00580
395	6	0.890625	0.109	0.891	0.001	0.00590

MTBF	= 1451.584	HEURES
σ	= 1382.912	HEURES

η	185
β	1.05
n	6
X	0.9808
Y	0.9344
δ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

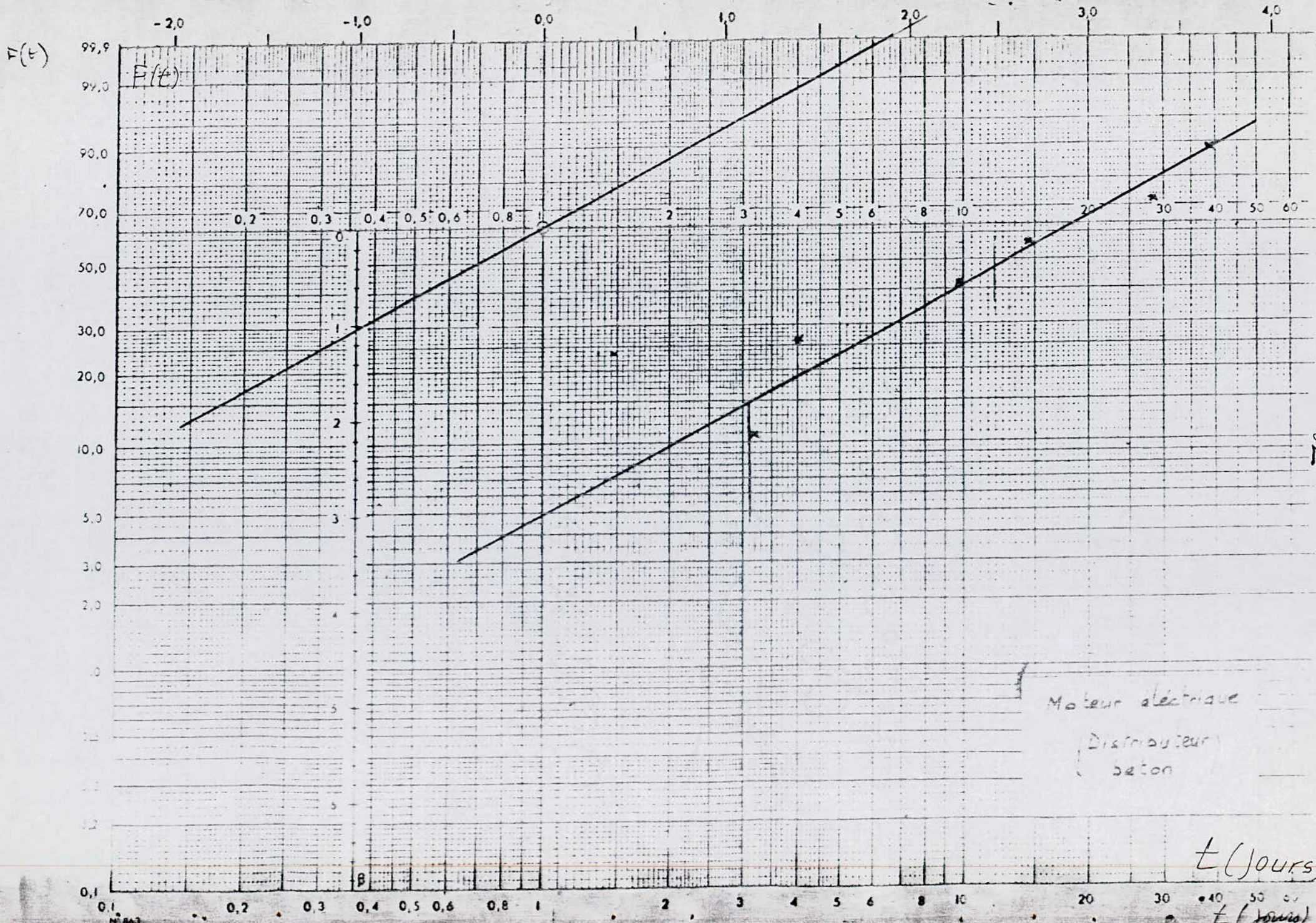
 $\alpha = 5 \%$
 $D_{n,\alpha} = 0.521$
 $\text{MAX } | \text{Fest} - F(t) | = 0.0841 < 0.521$
 Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5 \%$



Roulement galet
latéral
(Distributeur)
Seton

t (jours)

71



=====

≡ CIRCUIT HYDRAULIQUE (DISTRIBUTEUR BETON) ≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
57	1	0.07447	0.932	0.068	0.006	2.79E-03
70	2	0.18085	0.894	0.106	0.075	3.61E-03
100	3	0.28723	0.778	0.222	0.066	5.64E-03
165	4	0.39362	0.462	0.538	0.145	1.05E-02
172	5	0.50000	0.428	0.572	0.072	1.11E-02
199	6	0.60638	0.308	0.692	0.086	1.33E-02
208	7	0.71277	0.272	0.728	0.015	1.41E-02
211	8	0.81915	0.261	0.739	0.080	1.43E-02
284	9	0.92553	0.073	0.927	0.002	2.08E-02

MTBF	=	1310.91	HEURES
σ	=	616.716	HEURES

η	185
β	2.25
n	9
X	0.88575
Y	0.4167
χ	0

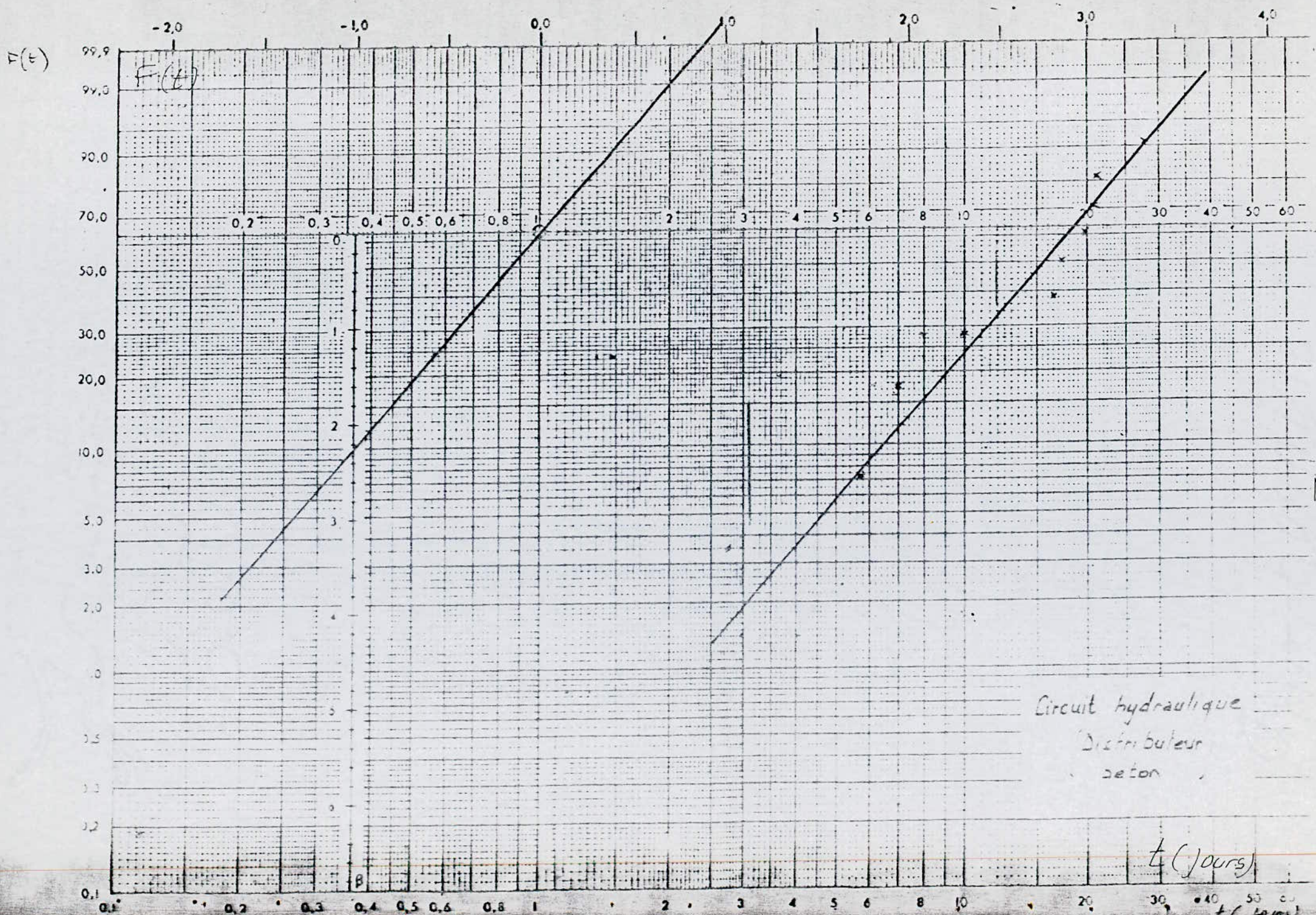
Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5 \%$

$D_{n,\alpha} = 0.432$

$\text{MAX } | \text{Fest} - F(t) | = 0.1448 < 0.432$

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
au seuil de $\alpha = 5 \%$



Circuit hydraulique
Distributeur
selon

t (jours)

74

=====

≡ ROULEMENT GALET DE PRESSION (CISAILLE) ≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
46	1	0.06731	0.877	0.123	0.056	3.42E-03
56	2	0.16346	0.847	0.153	0.010	3.56E-03
66	3	0.25962	0.817	0.183	0.076	3.68E-03
114	4	0.35577	0.677	0.323	0.033	4.10E-03
165	5	0.45192	0.545	0.455	0.003	4.42E-03
206	6	0.54808	0.453	0.547	0.001	4.62E-03
221	7	0.64423	0.422	0.578	0.066	4.68E-03
280	8	0.74038	0.318	0.682	0.058	4.91E-03
361	9	0.83654	0.211	0.789	0.048	5.17E-03
421	10	0.93269	0.154	0.846	0.087	5.33E-03

MTBF = 3762.8 HEURES
 σ = 3148.8 HEURES

η	250
β	1.2
n	10
X	0.9407
Y	0.7872
δ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5\%$

$D_{n,\alpha} = 0.410$

$\text{MAX } |Fest - F(t)| = 0.087 < 0.410$

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5\%$

=====

≡MOTO-REDUCTEUR (CISAILLE)≡

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
36	1	0.074468	0.936	0.064	0.010	0.003506
58	2	0.180851	0.848	0.152	0.029	0.005386
89	3	0.287234	0.690	0.310	0.023	0.007918
117	4	0.393617	0.536	0.464	0.070	0.010129
122	5	0.5	0.509	0.491	0.009	0.010517
149	6	0.606383	0.373	0.627	0.021	0.012591
154	7	0.712766	0.349	0.651	0.062	0.012970
220	8	0.819149	0.126	0.874	0.055	0.017880
310	9	0.925532	0.019	0.981	0.056	0.024345

MTBF = 2129.76 HEURES
 σ = 1165.92 HEURES

η	150
β	1.9
n	9
X	0.8874
Y	0.4858
δ	0

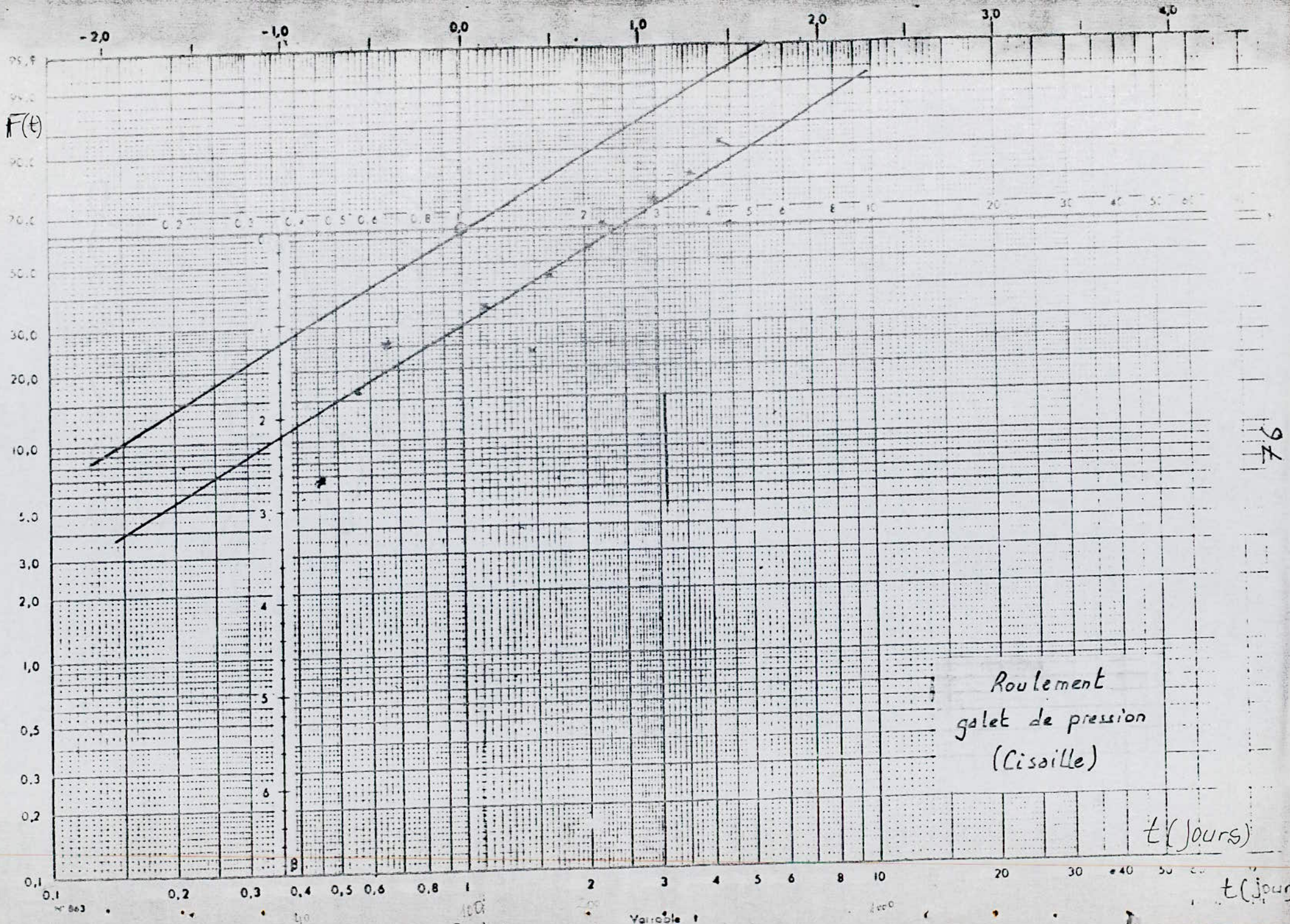
Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

$\alpha = 5\%$

$D_{n,\alpha} = 0.432$

$\text{MAX } |Fest - F(t)| = 0.0704 < 0.432$

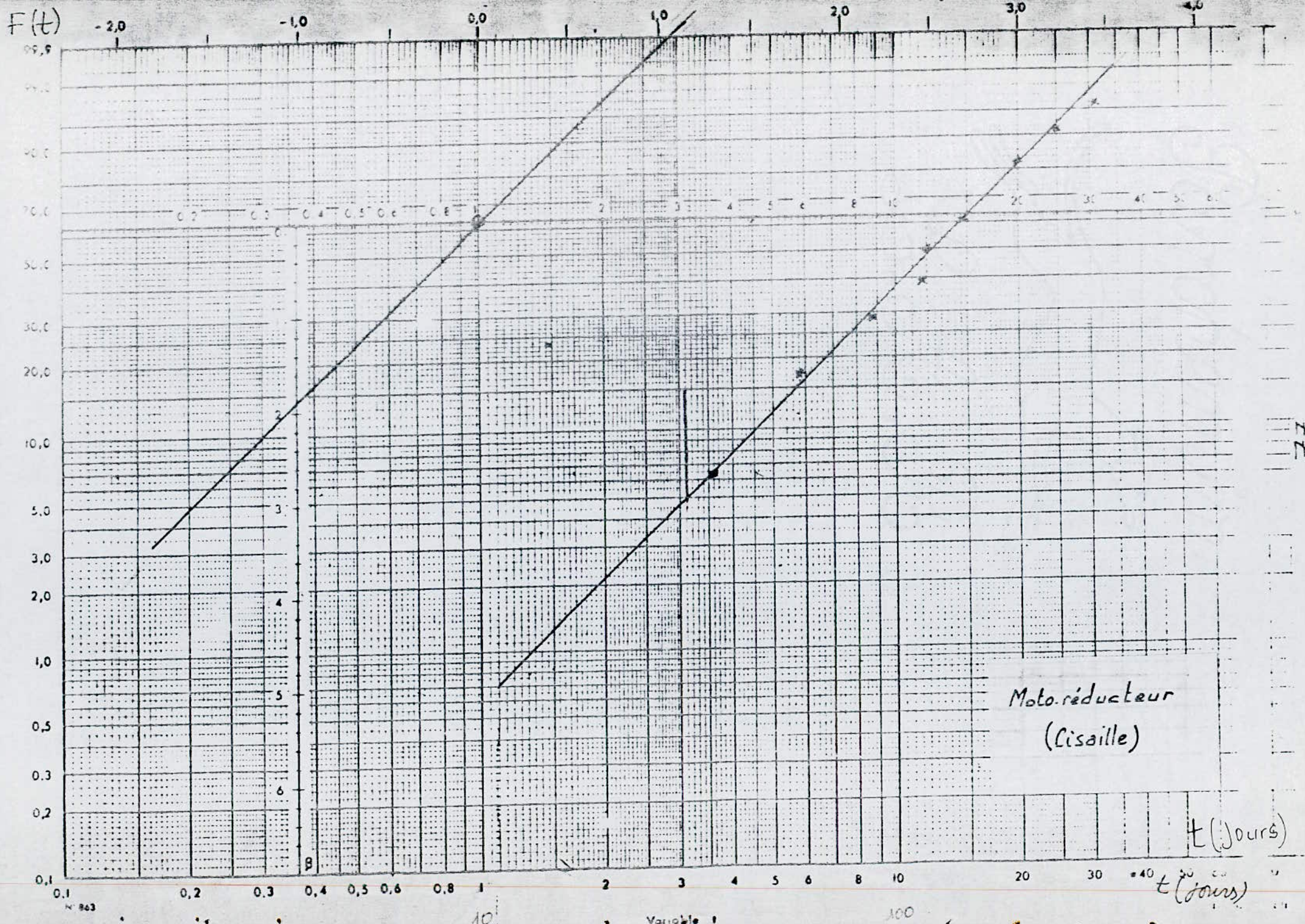
Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5\%$



76

t(jour)

Variable t



Moto-réducteur
(cisaille)

t (jours)

t (jours)

77

=====

GALET (CISAILLE)

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
22	1	0.04268	0.958	0.042	0.000	1.37E-02
29	2	0.10366	0.873	0.127	0.023	1.29E-02
33	3	0.16463	0.830	0.170	0.006	1.27E-02
38	4	0.22561	0.779	0.221	0.005	1.25E-02
42	5	0.28659	0.742	0.258	0.028	1.23E-02
56	6	0.34756	0.625	0.375	0.027	1.21E-02
68	7	0.40854	0.542	0.458	0.050	1.19E-02
81	8	0.46951	0.465	0.535	0.066	1.17E-02
87	9	0.53049	0.433	0.567	0.037	1.17E-02
98	10	0.59146	0.381	0.619	0.028	1.16E-02
133	11	0.65244	0.255	0.745	0.093	1.14E-02
155	12	0.71341	0.198	0.802	0.088	1.13E-02
169	13	0.77439	0.170	0.830	0.056	1.12E-02
198	14	0.83537	0.123	0.877	0.042	1.11E-02
206	15	0.89634	0.112	0.888	0.008	1.11E-02
269	16	0.95732	0.056	0.944	0.013	1.10E-02

MTBF = 1646.7008 HEURES
 α = 1413.9424 HEURES

λ	82
β	0.95
n	16
X	1.0234
Y	1.0777
δ	19

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

α = 5 %

D n, α = 0.328

MAX | Fest - F(t) | = 0.0928 < 0.328

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de α = 5 %

=====

MACHOIRE (CISAILLE)

=====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
19	1	0.083333	0.915	0.085	0.001	0.0046512
22	2	0.202381	0.903	0.097	0.105	0.0046512
113	3	0.321429	0.591	0.409	0.087	0.0046512
117	4	0.440476	0.580	0.420	0.021	0.0046512
125	5	0.559524	0.559	0.441	0.119	0.0046512
231	6	0.678571	0.341	0.659	0.020	0.0046512
441	7	0.797619	0.129	0.871	0.074	0.0046512
840	8	0.916667	0.020	0.980	0.063	0.0046512

MTBF = 3440 HEURES
 α = 3440 HEURES

λ	215
β	1
n	8
X	1
Y	1
δ	0

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

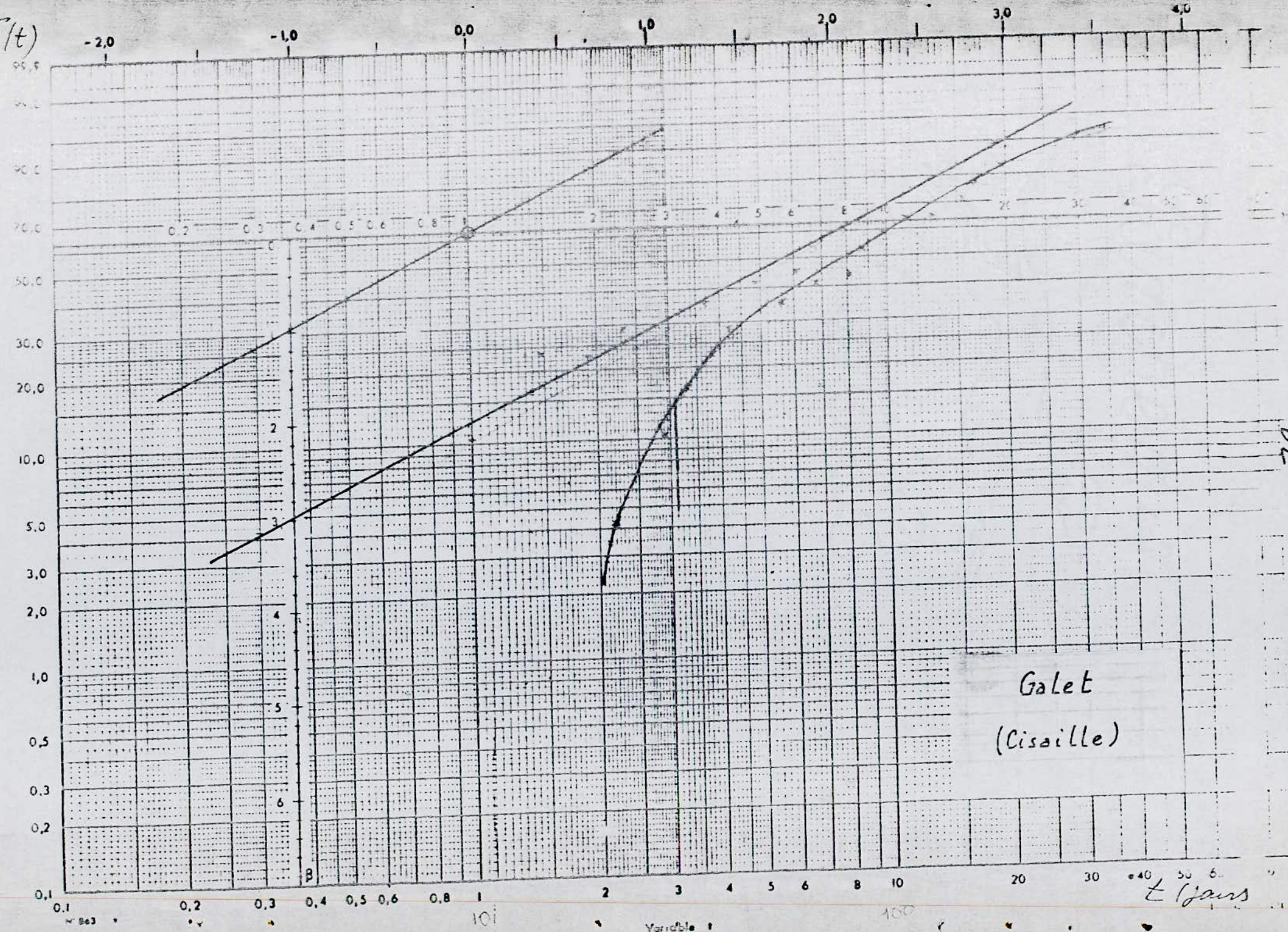
α = 5 %

D n, α = 0.457

MAX | Fest - F(t) | = 0.1186 < 0.457

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de α = 5 %

$F(t)$

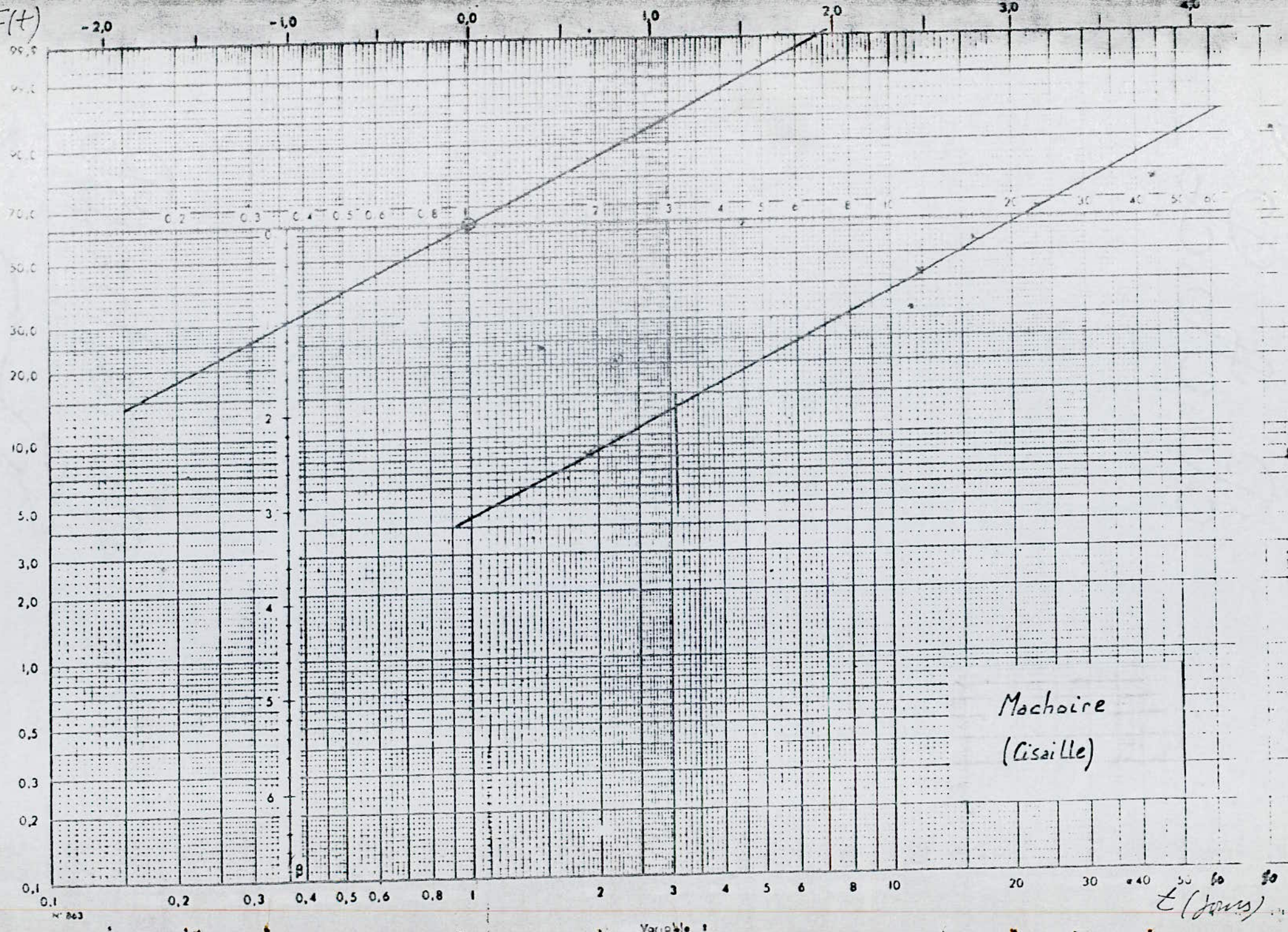


Galet
(Cisaille)

t (jours)

79

F(t)



Machoire
(cisaille)

80

=====

 =TUBE DE GUIDAGE (CISAILLE)=

 =====

t(j)	RANG	Fest	R(t)	1-R(t)	Fest-F(t)	LDA(t)
91	1	0.09459	0.900	0.100	0.005	3.55E-03
144	2	0.22973	0.697	0.303	0.073	3.09E-03
145	3	0.36486	0.695	0.305	0.060	3.08E-03
213	4	0.50000	0.548	0.452	0.048	2.75E-03
365	5	0.63514	0.359	0.641	0.006	2.34E-03
739	6	0.77027	0.158	0.842	0.071	1.89E-03
1190	7	0.90541	0.070	0.930	0.024	1.64E-03

MTBF	=	6849.52	HEURES
α	=	8145.28	HEURES

λ	275
β	0.7
n	7
X	1.2658
Y	1.8512
δ	80

Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

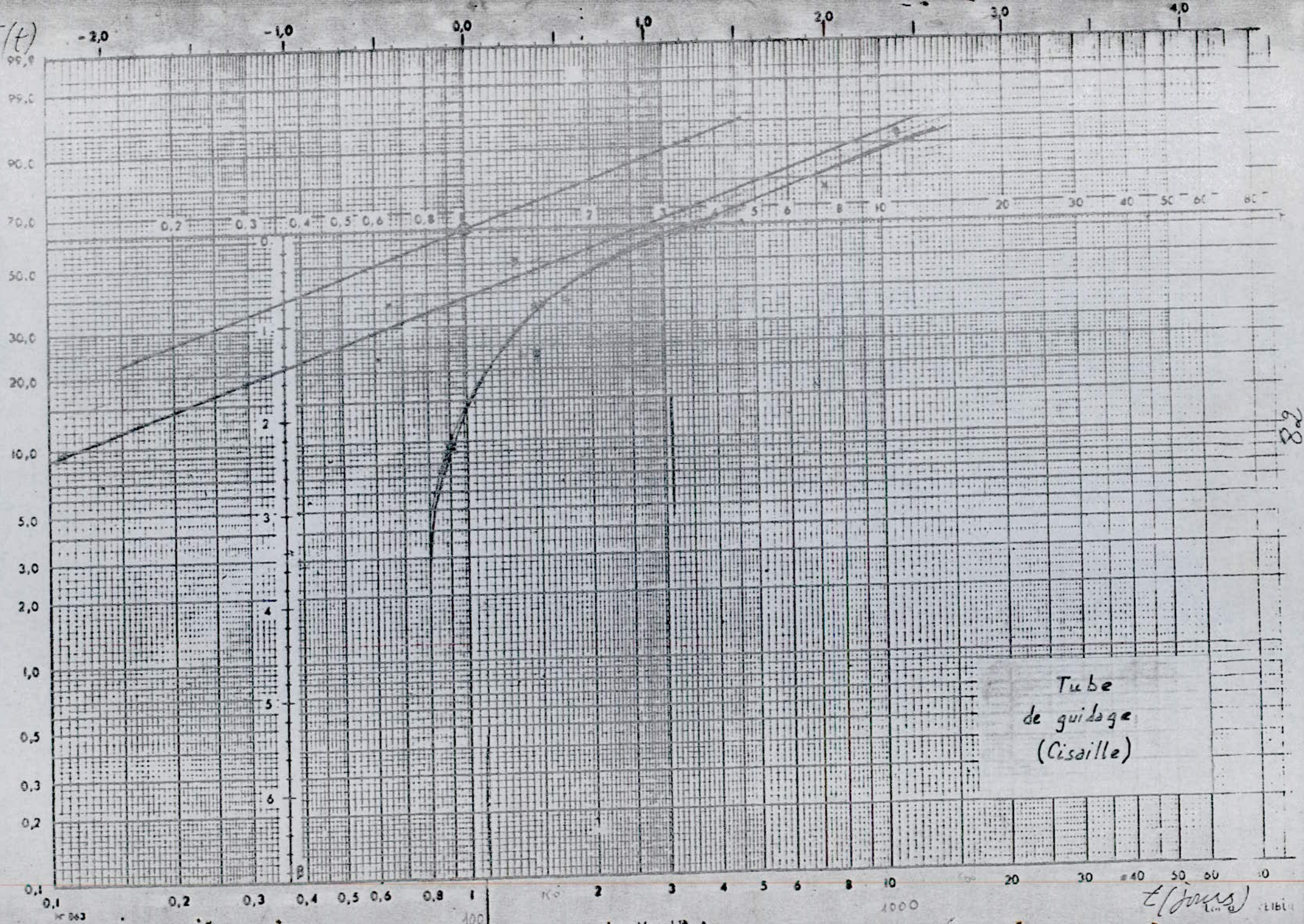
$\alpha = 5\%$

$D_{n,\alpha} = 0.486$

$\text{MAX } | \text{Fest} - F(t) | = 0.0729 < 0.486$

Le modèle théorique ajuste le modèle expérimental
 au seuil de $\alpha = 5\%$

F(t)



nr 063

100

Variable 1

1000

t (jours)

LIBI

≡ TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ETUDE DE FIABILITE DES ELEMENTS ≡

TYPE DE MACHINE	NOM DE L'ELEMENT ETUDIE	PARAMETRE DE FORME	PARAMETRE D'ECHELLE JOUR	PARAMETRE DE POSITION JOUR	M T B F (HEURES)	R(MTBF)
CENTRALE à BETON	Blindage de fond	6.40	125	0	931.0000	0.531
PONT ROLLANT	Plaquette de frein	1.50	215	0	3105.2880	0.424
	Câble de levage	1.40	145	0	2114.4480	0.415
	Moto reducteur transl	1.65	165	0	2360.6900	0.435
BOUTONNEUSE	Marteau	1.30	54	0	797.9904	0.405
	Guide machoire	0.85	63	0	1096.7040	0.341
	Machoire	0.90	35	5	669.2300	0.351
DISTRIBUTEUR BETON	Roulement galet latéral	1.20	29	24	410.2424	0.394
	Moteur électrique	1.05	185	0	1451.5840	0.375
	Circuit hydraulique	2.25	185	0	1310.9100	0.467
CISAILLE	Roulement galet pression	1.20	250	0	3762.8000	0.394
	Moto réducteur	1.90	150	0	2129.7600	0.450
	Galet	0.95	82	19	1646.7008	0.359
	Machoire	1.00	215	0	3440.0000	0.367
	Tube de guidage	0.70	275	80	6849.4400	0.307

Commentaires :

Il en ressort de ce qui a été étudié sur la fiabilité des éléments que :

9 éléments sur les 15 étudiés ont un paramètre de forme $\beta > 1$, donc ils travaillent à l'usure, correspondant à la troisième tranche de la courbe en baignoire.

2 éléments ont un taux de défaillance constant ($\beta = 1$) correspondant à la deuxième tranche de la courbe en baignoire.

4 éléments se trouvent à la première tranche de la courbe en baignoire (période de jeunesse).

Les MTSF et les fonctions de fiabilité, ainsi trouvées, vont servir de base pour le choix adéquat de la politique de maintenance.

POLITIQUE DE MAINTENANCE

1- ANALYSE TECHNIQUE :

L'application du modèle de WEIBULL nous permet de choisir le type de maintenance à appliquer pour chaque organe étudié .

Une maintenance préventive est appliquée aux organes qui travaillent à l'usure .

Pour les autres organes, il est plus économique d'attendre la défaillance , donc il faut appliquer la maintenance curative pour les organes suivants :

- Moteur électrique (distributeur béton)
- Machoire (cisaille)
- Machoire (boutonneuse)
- Guide machoire (boutonneuse)
- Tube de guidage (cisaille)
- Galet (cisaille)

ELABORATION DES GAMMES D INTERVENTION EN MAINTENANCE PREVENTIVE

La mise en œuvre d' un système préventive pour les éléments qui travaillent à l'usure ($\beta > 1$) doit passer par un plan d'établissement des gammes d'entretien, dans le but de réduire le nombre de pannes .

Soit la fonction de fiabilité $R(t) = e^{-\left[\frac{t - \gamma}{\eta}\right]^\beta}$, on en déduit :

$$t = \gamma + \eta \text{Ln} \left[\frac{1}{R(t)} \right]^{(1/\beta)}, \text{ qui est la formule de base pour}$$

déterminer le temps t d'intervention en maintenance préventive, permettant de garantir un bon fonctionnement de l'élément à une fiabilité $R(t)$ par exemple de " 0.95 "; tolérant à une probabilité de pannes de 5% .

Exemples d'application pour les éléments étudiés :

Les visites et l'entretien préventif se feront pour :

- Centrais à béton :
 - * blindage de fond : tous les 78 jours
- Pont roulant :
 - * moto-réducteur de translation : tous les 27 jours
 - * plaquette de frein de levage : tous les 29 jours
 - * câble de levage : tous les 17 jours
- Boutonneuse :
 - * marteau : tous les 5 jours

- Distributeur béton :
 - * circuit hydraulique : tous les 49 jours
 - * roulement galet latéral : tous les 26 jours
- Cisaille:
 - * moto-réducteur : tous les 31 jours
 - * roulement galet de pression : tous les 21 jours

Les éléments doivent être examinés selon les périodicités déterminées, celles-ci peuvent être modifier à mesure que vieillit le matériel .

Les visites d'inspection doivent être préparées et portées sur un planning puis contrôlées après exécution .

Les inspections sont annoncées au personnel de production, car elles nécessitent parfois des arrêts et des démontages partielles.

1- ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

L'indisponibilité des coûts des défaillances des équipements sur les historiques des pannes, ne nous a pas permis d'aborder l'aspect économique des remplacements des organes étudiés .

Mais à titre indicatif, nous avons pris le câble de levage comme exemple pour montrer la procédure de détermination de la période optimale de remplacement dans le cas de la maintenance préventive systématique .

Les données nécessaires pour cette analyse sont :

$$K(t) = e^{-\left(\frac{t}{145}\right)^{1.40}}$$

$$- MTBF = 132.15 \text{ jours}$$

* Coût avant panne

coût du câble = 1770 DA
coût de main d'oeuvre = 200 DA

$$C_p = 1970 \text{ DA}$$

* Coût après panne

coût du câble = 1770 DA
coût de main d'oeuvre = 250 DA
coûts entraînés par la panne \approx 2045.39 DA

(ce dernier coût représente le prix de vente du support électrique rebuté lors de la rupture du câble)

$$C_d \approx 4065.39$$

$$C_p < C_d$$

Il est plus économique de faire un remplacement systématique si

$$C_2(\theta) < C_1$$

$$C_1 = \frac{C_p + C_d}{MTBF} = 45.07 \text{ DA/jour}$$

La valeur du coût $C_2(\theta)$ est évalué en faisant varier le temps θ d'un pas r .

$$C_2(\theta) = \frac{1970 + 4065.39 (1 - R(\theta))}{T_\theta}$$

$$T_\theta = \int_0^\theta R(t) dt, \text{ comme } R(t) \text{ est une fonction non croissante}$$

du temps, on peut opérer par une intégration numérique par la méthode des trapèzes (voir annexe 2)

les résultats donnés par Le logiciel MULTIPLAN 3.0 montre que le

minimum de $C_2(\theta)$ qui est égale à 45.00 correspond à $\theta_0 = 200$ jours

On en conclut, θ_0 est le meilleure temps pour un remplacement

systématique

CONCLUSION

Dans le présent mémoire, nous avons essayé de faire une analyse quantitative des défaillances des équipements stratégiques de l'unité de KHEMIS-EL-KHECHNA et par suite préconiser une politique de maintenance conforme aux résultats obtenus .

Pour cela, nous avons procédé à :

- * Une collecte de données effectuée sur les historiques de pannes des équipements .

- * Une classification des équipements stratégiques, pour dégager ceux qui doivent être suivis en priorité .

- * Une analyse globale des équipements ainsi classifiés , en procédant à une étude de FIABILITE , suivie d'une étude de MAINTENABILITE qui nous a permis d'estimer les MTBF (moyenne des temps de bon fonctionnement) et les MTTR (moyenne des temps techniques de réparation) de chaque équipement . Ces caractéristiques auront servi de base pour le calcul de disponibilité . Par conséquent , nous avons suggéré quelques méthodes permettant de mieux appréhender les risques de défaillances, et de les éviter en mettant en place une maintenance préventive plus efficace et des diagnostics de pannes plus rapides.

- * une étude de fiabilité appliquée aux organes et composants jugés fragiles, qui nous a permis de choisir une méthode de maintenance adaptée à chaque élément étudié , à savoir une maintenance préventive ou corrective .

Dans le même esprit , nous pensons que les services méthodes et entretien devraient généraliser l'utilisation des concepts de maintenance décrits dans ce mémoire, en vue d'une meilleure utilisation des capacités de production , et d'une amélioration continue de la maintenance au niveau de l'unité .

D'autre part, et comme complément à cette étude, il serait sans doute intéressant de réaliser une étude économique par l'analyse des coûts de la maintenance. Cette étude servira à l'établissement d'un budget annuel de maintenance , au suivi des dépenses et éventuellement à la décision de renouvellement des équipements .

ANNEXES

ANNEXE 1

DIFFERENTS MODELES DE DISPONIBILITES OPERATIONNELLES

Les modèles peuvent prendre en compte les moyennes estimées, mais également les cumuls de temps, dans ce cas nous parlerons d'indicateurs de disponibilité.

- D = $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ c'est la formule de base

- D = $\frac{MTBF}{MTBF + MTA}$ c'est la formule de disponibilité globale d'un process MTA : moyennes des temps d'arrêt

- D = $\frac{MTBM}{MTBM + MMT}$ cas de la prise en compte des actions préventives
 $MTBM = \frac{1}{\lambda + \rho}$: moyenne des temps entre actions de maintenance
 avec $\lambda + \rho = \frac{1}{\int_0^T R(t)}$
 MMT : moyenne des temps d'interventions préventives et correctives
 ρ : taux d'arrivée des actions de maintenance préventive

- D = $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$ avec MTL : moyennes des temps logistiques (transport ,...)

- D = $\frac{MTBF + RT}{MTBF + RT + MDT}$ avec RT : " ready time " : temps moyen pendant le quel le système est prêt à fonctionner mais en attente

MDT : moyenne des temps opératifs MMT + logistiques MTL + administratifs MTA

ANNEXE 2

METHODES DES TRAPEZES

La règle des trapèzes est l'une des méthodes d'intégration numérique, qui consiste à chercher approximativement la valeur de l'intégrale d'une fonction (difficile à résoudre analytiquement)

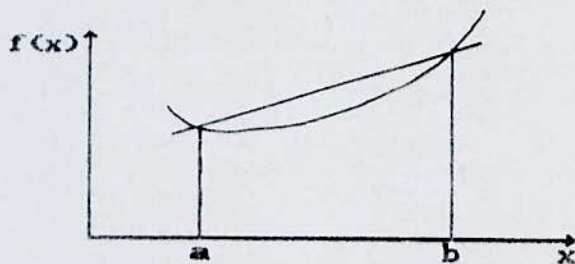
Dans cette méthode, la fonction est approximée par un ensemble de segments de droite. La région à intégrer est divisée en sections uniformément espacées. La largeur de la section, h , est :

$$h = \frac{b - a}{n}$$

où n est le nombre de sections, a et b les limites d'intégration.

Pour $n = 1$

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{h}{2} (f(a) + f(b))$$



Dans le cas le plus général, la surface divisée en n sections ($i = 1, \dots, n$)

La formule d'intégration par la méthode des trapèzes est :

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{h}{2} \left[\frac{f(a)}{2} + f(1) + f(2) + \dots + \frac{f(b)}{2} \right]$$

Annexe 3

TABLEAU DES VALEURS DE x et y

Calcul des paramètres
Loi de Weibull

$$MTBF = \gamma + \eta x$$

$$\sigma = \eta y$$

$$x = \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

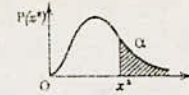
$$y = \sqrt{\Gamma^2 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]^2}$$

β	x	v	β	x	y	β	x	v
0,20	120,0000	1901,2	1,50	0,9027	0,6129	4	0,9061	0,2513
0,25	24,0000	199,36	1,55	0,8991	0,5925	4,1	0,9077	0,2490
0,30	9,2605	50,078	1,60	0,8966	0,5737	4,2	0,9089	0,2440
0,35	5,0291	19,976	1,65	0,8942	0,5561	4,3	0,9102	0,2392
0,40	3,3234	10,438	1,70	0,8922	0,5402	4,4	0,9114	0,2345
0,45	2,4786	6,4601	1,75	0,8906	0,5252	4,5	0,9126	0,2301
0,50	2,0000	4,4721	1,80	0,8893	0,5112	4,6	0,9137	0,2258
0,55	1,7024	3,3453	1,85	0,8882	0,4981	4,7	0,9149	0,2217
0,60	1,5046	2,6451	1,90	0,8874	0,4858	4,8	0,9160	0,2178
0,65	1,3663	2,1789	1,95	0,8867	0,4742	4,9	0,9171	0,2110
0,70	1,2658	1,8512	2	0,8862	0,4633	5	0,9182	0,2103
0,75	1,1906	1,6108	2,1	0,8857	0,4431	5,1	0,9192	0,2068
0,80	1,1330	1,4282	2,2	0,8856	0,4249	5,2	0,9202	0,2031
0,85	1,0890	1,2854	2,3	0,8859	0,4085	5,3	0,9213	0,2001
0,90	1,0522	1,1711	2,4	0,8865	0,3935	5,4	0,9222	0,1969
0,95	1,0234	1,0777	2,5	0,8873	0,3797	5,5	0,9232	0,1938
1,00	1,0000	1,0000	2,6	0,8882	0,3670	5,6	0,9241	0,1908
1,05	0,9808	0,9344	2,7	0,8893	0,3552	5,7	0,9251	0,1879
1,10	0,9649	0,8783	2,8	0,8905	0,3443	5,8	0,9260	0,1851
1,15	0,9517	0,8297	2,9	0,8917	0,3341	5,9	0,9269	0,1824
1,20	0,9407	0,7872	3	0,8930	0,3245	6	0,9277	0,1798
1,25	0,9314	0,7498	3,1	0,8943	0,3156	6,1	0,9286	0,1772
1,30	0,9236	0,7164	3,2	0,8957	0,3072	6,2	0,9294	0,1747
1,35	0,9170	0,6866	3,3	0,8970	0,2993	6,3	0,9302	0,1723
1,40	0,9114	0,6596	3,4	0,8984	0,2918	6,4	0,9310	0,1700
1,45	0,9067	0,6352	3,5	0,8997	0,2847	6,5	0,9318	0,1677
			3,6	0,9011	0,2780	6,6	0,9325	0,1655
			3,7	0,9025	0,2716	6,7	0,9333	0,1633
			3,8	0,9038	0,2656	6,8	0,9340	0,1612
			3,9	0,9051	0,2598	6,9	0,9347	0,1592

Annexe 4 - Loi Kolmogorov-Smirnov

INTERVALLES DE CONFIANCE DE F(x)
(Valeurs critiques pour le test de Kolmogorov-Smirnov)

N	Niveau significatif α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,21	0,22	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,20	0,22	0,24	0,29
35	1,18	0,19	0,21	0,23	0,27
> 35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Annexe 5 - Loi de khi-deux (χ^2)Valeurs de χ^2 ayant la probabilité α d'être dépassées

$\alpha \backslash v$	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,010	0,005	0,001
1		0,000 2	0,001 0	0,003 9	0,015 8	0,064 2	0,148	0,455	1,07	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2	0,010 0	0,020 1	0,050 6	0,103	0,211	0,446	0,713	1,39	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3	0,071 7	0,115	0,216	0,352	0,584	1,01	1,42	2,37	3,67	4,64	6,25	7,82	9,35	11,3	12,8	16,3
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,59	11,1	13,3	14,9	18,5
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27	9,34	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15	10,3	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03	11,3	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	8,63	9,93	12,3	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8	13,3	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7	14,3	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6	15,3	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5	21,6	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
19	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7	23,9	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8
20	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
21	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9	26,2	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8
22	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
23	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0	28,4	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7
24	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2
25	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,2	30,7	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6
26	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
27	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3	32,9	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5
28	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
29	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	22,5	24,6	28,3	32,5	35,1	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3
30	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7

Observation. — Lorsque $v > 30$ on peut admettre que la quantité $\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2v} - 1$ suit une loi normale réduite.

