

N° d'ordre:

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Industrie et de l'Energie

Institut National des Industries Manufacturières Boumerdès

THESE

3557-02-02

présentée à l'I.N.I.M. pour obtenir le diplôme de

MAGISTER EN GENIE INDUSTRIEL

OPTION: TECHNOLOGIE TEXTILE

Par

Salima Latifa TALEB

Sujet

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE AUX FLEXIONS
REPETEES DES FIBRES DE COTON LORS DE LEUR TRAITEMENT
TECHNOLOGIQUE POUR L'OBTENTION D'UN FIL PEIGNE.**

Soutenu le 18 SEPT 1995
devant la commission d'examen

A.149

Président

M. ZAOUI M. S.

DE Maître de conférence

Rapporteur

M. LAIMECHE R.

DNT Chargé de cours

Examineurs

M. ZELMAT M.

DE Maître de conférence

M. CHEMANI B.

PHD Chargé de cours

M. MOHAMMEDI S.A.

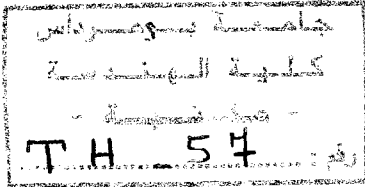
PHD Chargé de cours

N° d'ordre:

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Industrie et de l'Energie

Institut National des Industries Manufacturières Boumerdès



THESE

3557-01

présentée à l'I.N.I.M. pour obtenir le diplôme de

MAGISTER EN GENIE INDUSTRIEL

OPTION: TECHNOLOGIE TEXTILE

Par

Salima Latifa TALEB

Sujet

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE AUX FLEXIONS
REPETEES DES FIBRES DE COTON LORS DE LEUR TRAITEMENT
TECHNOLOGIQUE POUR L'OBTENTION D'UN FIL PEIGNE.**

Soutenu le.....1995
devant la commission d'examen

1-149

Président

M. ZAOUI M. S.

DE Maître de conférence

Rapporteur

M. LAIMECHE R.

DNT Chargé de cours

Examineurs

M. ZELMAT M.

DE Maître de conférence

M. CHEMANI B.

PHD Chargé de cours

M. MOHAMMEDI S.A.

PHD Chargé de cours

REMERCIEMENTS

Les travaux ayant fait l'objet de cette étude ont été réalisés :

- * au laboratoire de matières textiles de l'Institut National des Industries Manufacturières de Boumerdes,
- * à la filature du complexe textile de Draa-Ben-Khedda,
- * au laboratoire physico-mécanique du complexe textile de Seddou,
- * au laboratoire textile de l' E. N. E. D. I. M. de Boumerdes,

Dans tous ces lieux, nous avons été accueillis, encouragés et aidés particulièrement par l'encadrement de la direction technique, auquel nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance.

Cette étude a été dirigée par Messieurs A. TCHOUGOUNOV, Maître de Conférence et R. LAIMECHE. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour leurs encouragements et leurs conseils qui m'ont permis de mener cette thèse à son terme.

Que Monsieur M. S. ZAOUÏ, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Messieurs M. ZELMAT, B. CHEMANI, S. A. MOHAMMEDI, m'ont fait le grand honneur d'examiner mon travail. Qu'ils trouvent ici mes remerciements les plus sincères.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur Y. OUSLIMANI, Directeur de notre Institut pour les aides à tous les niveaux qu'il a bien voulu m'apporter et faciliter le bon déroulement de mon travail.

Il m'est agréable de remercier tout particulièrement Messieurs M. MAÏZA, M. AHMED NACER B. ZERGOUAD, et Mlle A. AKAR pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée et pour le climat d'amitié qu'ils ont su créer autour de moi.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à monsieur A. IGUEDAD pour l'aide et le soutien qu'il m'a apportés.

Je remercie également Mme N. OUSLIMANI pour la documentation précieuse mise à ma disposition.

Enfin, je ne saurais conclure sans exprimer mes sincères remerciements à toutes les amies et toutes les personnes de l'Institut m'ayant aidées de près ou de loin à la finalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE PROCESSUS DE FILATURE	4
1.1. But de la filature	4
1.2. Fonctions du processus de filature	4
1.3. Classification du processus de filature	5
1.4. Processus de base: coton cardé	6
1.5. Peignage et processus de fibres courtes peignées	9
CHAPITRE II. COMPORTEMENT DU MATERIAU	13
2.1. Endurance des fils à l'extension multiple	13
2.2. Estimation de l'endurance	13
2.3. Analyse statistique de la fatigue du matériau	14
2.4. Résultats des fibres soumises aux flexions répétées	16
2.5. Analyse du comportement du ruban étiré	17
2.5.1. Analyse des forces de pinçage	17
2.5.2. Analyse de l'extension du ruban étiré	17
2.6. Solidité du fil et résistance à des efforts répétés	18
2.7. Relation entre la solidité du fil et sa résistance aux efforts répétés	19
2.8. Conclusion de l'analyse	21
CHAPITRE III. SOLLICITATIONS EN FLEXION	22
3.1. Flexion des fibres ondulées	22
3.2. Détermination des paramètres en flexion des fibres ondulées	27
3.3. Flexion de la fibre autour d'un cylindre	31
CHAPITRE IV. GENERALITES SUR LA QUALITE	33
4.1. Qualité d'un bien dans le temps	33
4.2. Définition de la fiabilité	33
4.3. Qualité et fiabilité	34
4.4. Aspect mathématique	34
4.4.1. Concept de probabilité	35
4.4.2. Paramètres d'étude	36
4.4.2.1. Défaillance	37
4.4.2.2. Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF)	37
4.4.2.3. Calcul de la fiabilité	38
4.5. Distribution logarithmique normale	39
4.6. Autres types de distribution	40

CHAPITRE V. EXPERIMENTATION	42
5.1. But	42
5.2. Techniques de mesures	42
5.3. Essais à la fatigue	44
5.3.1. Conditions d'expérimentations	44
5.3.2. Analyse à la fatigue	45
5.3.3. Essais de dynamométrie	47
5.4. Résultats et discussions	48
5.4.1. Sollicitations en flexion	48
5.4.2. Estimation de la loi de distribution	50
5.4.3. Détermination de l'indice de solidité	58
5.4.4. Famille de courbes d'endurance	65
CHAPITRE VI. DYNAMOMETRIE DES FIBRES ENDUREES	72
6.1. Essais dynamométriques	72
6.1.1. Méthode d'essais	72
6.1.2. Résultats	72
6.1.3. Commentaire	73
6.1.3.1. Charge à la rupture	73
6.1.3.2. Allongement relatif	75
6.1.4. Conclusion	76
6.2. La cinétique d'endommagement des fibres	77
6.2.1. Charge à la rupture	77
6.2.2. Allongement relatif	80
6.3. Evolution des caractéristiques demi-cycliques en fonction de l'endurance des mélanges	83
6.3.1. Essais à la fatigue	84
6.3.2. Résultats et discussion	85
6.3.2.1. Charge à la rupture	86
6.3.2.2. Allongement à la rupture	86
6.4. Cinétique d'endommagement des mélanges	86
CONCLUSION	89
BIBLIOGRAPHIE	91
ANNEXES	

NOTATIONS UTILISEES

A	Aire de la section de la fibre
E_0	Allongement relatif à la rupture d'un produit non enduré
E_r	Allongement relatif à la rupture d'un produit enduré
E	Module de Young
d	Diamètre de la section transversale du matériau
F_R	Force d'étirage
$F(t)$	Probabilité de défaillance
$f(t)$	Densité de probabilité de défaillance
G	Module de cisaillement
h	Dimension radiale de la fibre, épaisseur de la couche de la matière fibreuse
H_0	Irregularité
I_z	Module d'inertie centrale de la section par rapport à l'axe Z
K	Coefficient caractérisant la différence entre le coefficient de torsion et celui critique
L_{fb}	Longueur de la fibre
M	Moment fléchissant
m_i	Fréquence du nombre de cycles d'endurance
n	Nombre d'essais
P	Probabilité
Q_0	Charge à la rupture initiale
Q_r	Charge à la rupture du produit enduré
$R(t)$	Fiabilité
r	Rayon de courbure de la fibre
T	Titre
x	Nombre de cycles d'endurance
z	Nombre de cycles à l'échelle logarithmique
α	Coefficient de torsion critique, seuil de confiance

α^*	Risque de défaillance
β	Paramètre de forme
ε	Déformation unitaire
ε_r	Déformation relative
γ	Paramètre de position
η	Paramètre d'échelle
φ	Angle de flexion
$\lambda_{(t)}$	Taux de défaillance
$\lambda_{(x)}$	Indice de solidité
μ	Moment conventionnel
ρ	Rayon du cylindre
σ	Ecart-type
ω	Facteur numérique
∂	Contrainte de flexion

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Un vêtement, quel qu'il soit, doit être agréable à porter, présenter un aspect seyant et assurer un certain usage. Il est soumis à des sollicitations multiples auxquelles il doit résister. L'ordre à adopter dans l'énumération de différentes qualités des matières textiles est certainement discutable. L'aisance, qui constitue l'un des composants du confort dépend fortement des propriétés mécaniques telles que la souplesse et l'élasticité. La valeur d'usage est liée étroitement à la conservation des qualités initiales. Ainsi, la notion du temps et l'étude de la tenue à la fatigue contribuent à la définition de la qualité du textile en général.

En laissant de côté la bibliographie, très importante sur les caractéristiques des fibres et en nous basant uniquement sur les propriétés relatives à la flexion, nous ne pouvons négliger l'incidence de ce paramètre sur certaines propriétés des tissus à savoir la flexibilité, le drapé, l'infroissabilité, etc. [1].

D'après certains auteurs [2,3], pour des applications textiles, le comportement des fibres à la flexion est aussi important que celui à la traction.

Parmi les caractéristiques des fibres, on suggère en général que, la résistance à la traction soit un indice de qualité nécessaire mais pas suffisant pour mieux refléter le comportement mécanique d'une fibre. De ce fait, on doit tenir compte de deux autres indices tels que la solidité et la souplesse [4]. Par exemple, les fibres de lin, qui ont une ténacité élevée, ne peuvent pas supporter les flexions répétées à cause de leur rigidité et de leur faible résistance à la fatigue. Par contre, les fibres de soie, très flexibles, ont une élasticité modérée et sont très solides. Par conséquent, elles peuvent supporter un grand nombre de cycles de flexions répétées avant la rupture. Par ailleurs, il est connu que la laine est caractérisée par une bonne résistance à la flexion malgré sa résistance à la traction relativement faible [5].

La plupart des matières textiles présente une limite de fatigue au bout de laquelle, un nombre important de cycles peut être appliqué. Par conséquent, la rupture à cette limite d'endurance montre une valeur plus significative de la solidité.

Cependant, on doit souligner qu'en général l'application cumulative des contraintes peut être la cause de la défaillance de la fibre, même lorsque chaque contrainte individuelle réside dans la limite élastique.

Pour caractériser ce comportement à la fatigue, l'utilisation des valeurs de la moyenne de durée de vie est loin d'être suffisante, à cause de leurs grandes variations. L'inadéquation de l'utilisation de ces valeurs a été discutée [6].

A cet effet, nous avons entrepris notre travail, réparti en plusieurs chapitres et ce, comme suit:

- chapitre I, généralités sur la filature en faisant ressortir les étapes principales sur lesquelles est basée notre analyse.**
- chapitre II, il consiste à l'étude du comportement des matériaux fibreux ayant subi des traitements technologiques pour aboutir à un fil.**
- chapitre III, ce chapitre complète le précédent notamment dans le domaine de la flexion. Aussi, nous retrouvons dans cette partie, les paramètres qui caractérisent la fibre assujettie à la flexion.**
- chapitre IV, il fait l'objet des généralités sur la qualité et d'une consolidation de notre partie bibliographique. En outre, nous retrouvons le support mathématique utilisé pour le traitement des résultats.**

Quant à la partie expérimentale, elle se compose de deux chapitres:

- chapitre V, dans cette partie, nous avons décrit la méthodologie et l'appareillage utilisés. L'ensemble des résultats relatifs à la fatigue du coton brut et ses demi-produits ainsi que leur traitement y sont présentés.**
- chapitre VI, nous retrouvons l'analyse de la tenue à la fatigue ainsi que la dynamométrie des fibres après leur sollicitation à la flexion répétée. Quant aux mélanges (coton/polyester), ils sont exposés aux mêmes analyses mais à l'état brut.**

OBJET DE L'ETUDE

Plusieurs chercheurs [6 à 12], ont étudié le comportement de différentes fibres et étoffes soumises aussi bien aux flexions répétées qu'à une fatigue élastique cyclique. Une étude a déjà été réalisée sur la rhéologie et le mécanisme de rupture des fibres textiles [12]. Cependant, peu d'informations ont été publiées sur la fatigue à la flexion des fibres de coton brut. Par contre, aucune révélation n'a été portée sur les fibres ayant subi des transformations au niveau de la chaîne technologique, pour l'obtention d'un fil peigné.

A cause de la non-uniformité de la structure et la diversité des fibres , celles-ci se rompent à différents niveaux de contrainte. En conséquence, les valeurs individuelles seront normalement dispersées à travers une assez large gamme de flexion. Cette dispersion est assez considérable pour les fibres naturelles comme le coton.

Néanmoins, dans les études sur les propriétés de fatigue, on accepte généralement qu'une dispersion considérable soit partie intégrante du comportement de ce phénomène [13]. Ce qui est probablement dû à un grand nombre de facteurs incontrôlables qui peuvent affecter tout type de fibres de coton [14].

Dans ce contexte, l'aspect de l'interprétation statistique des résultats est important étant donné que le phénomène de fatigue peut suivre différents types de distributions [12,13] et [15 à 17].

A travers ce passage en revue, une étude à la tenue à la fatigue de ce matériau souple s'avère d'un grand apport pour les utilisateurs et plus particulièrement pour les textiliens en vue d'améliorer la qualité de leurs produits et ce à moindre coût.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE PROCESSUS DE FILATURE

CHAPITRE I

1. GENERALITES SUR LE PROCESSUS DE FILATURE

1.1. BUT DE LA FILATURE

Le processus de filature a pour but de transformer une masse fibreuse désordonnée, non homogène et chargée d'impuretés en un produit hautement structuré appelé "filé". Ce dernier est considéré comme une structure textile:

- linéaire et continue,
- composite (à base de fibres différentes ou identiques),
- propre, c'est à dire dépourvue d'impuretés naturelles ou accidentelles,
- régulière dans ses propriétés physiques. La propriété la plus importante étant le titre (masse linéique) qui conditionne directement l'aspect et indirectement la valeur commerciale du filé.

Il n'est pas possible de réaliser cette transformation de la bourre fibreuse en fil en une seule opération. Il résulte que le processus de filature est un processus par étape, autrement dit un processus séquentiel.

1.2. FONCTIONS DU PROCESSUS DE FILATURE

Dans le processus de filature classique ou conventionnelle, les fonctions suivantes devront être réalisées:

- a. ouvraison-épuración de la bourre,
- b. démélage-individualisation des fibres qui sont fortement compactées dans les balles (présentation habituelle de la matière première fibreuse),
- c. parallélisation par étirage (orientation axiale),
- d. régularisation du titre (masse linéique) par doublage (figure 1),

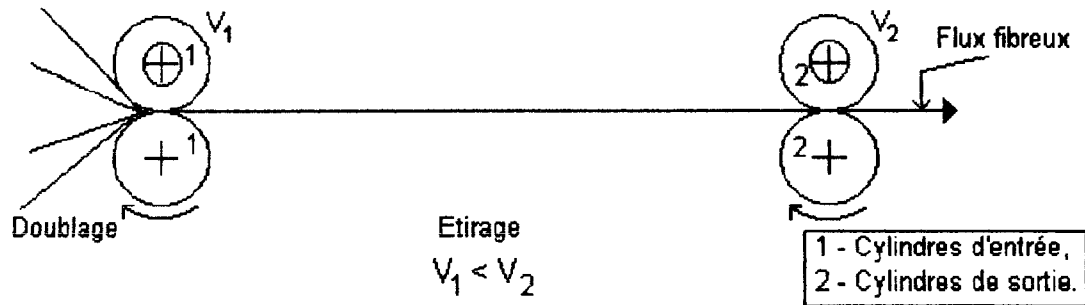
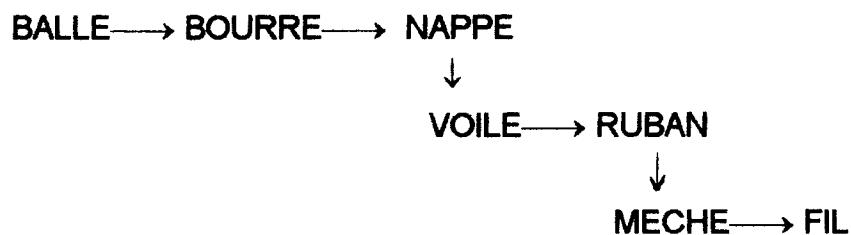


Figure 1: Schéma de régularisation de la masse linéique.

e. Homogénéisation et mélange du produit par doublage,

f. Affinage progressif du titre durant lequel on franchit successivement les étapes suivantes:



g. Renforcement mécanique par torsion aux stades finaux (mèche et fil).

Quant au processus de filature non conventionnel, plusieurs passages sont supprimés. En général, du ruban étiré de fibres, on entame la consolidation en vue de l'obtention du fil (open-end et jet d'air). Toutefois dans ce cas, les fibres subissent un traitement mécanique important en flexion, traction, torsion.

I.3. CLASSIFICATION DES PROCESSUS DE FILATURE

Deux modes de classification sont possibles, selon que l'on considère le produit final (filé) ou le produit initial (fibres) du processus:

a) Classification en fonction de la matière première:

- Processus de filature pour fibres courtes (processus cotonnier),
- Processus de filature pour fibres longues (processus lainier, linier et dérivés).

Les principes de filatures sont identiques, mais les réalisations technologiques sont sensiblement différentes de façon à adapter les propriétés morphologiques et mécaniques de la bourre fibreuse.

b) Classification en fonction du filé, selon les cas présentés, on distinguera dans le domaine:

- des fibres courtes: processus cardé, peigné et non conventionnels
- des fibres longues: processus cardé, peigné, semi-peigné et non conventionnels.

A cela, on peut insérer une autre classification qui met en relief le mécanisme de consolidation des fibres:

c) Selon le mécanisme utilisé pour consolider les fibres:

Cette classification peut être présentée [18] selon le tableau I.

I.4. PROCESSUS DE BASE: COTON CARDE [19]

Les étapes de ce type de processus sont résumées dans le tableau II.

Eventuellement, ce processus convient parfaitement pour la réalisation des fils de titres gros ou moyens de qualité moyenne et à une limite de filabilité se situant aux alentours de 15 tex (Nm 67).

Actuellement des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de l'automatisation du processus pour l'amélioration de la productivité des machines et de la qualité des produits (contrôle one-line du processus). Toutefois, la productivité du processus cardé est limitée par les deux derniers maillons de la chaîne, à savoir le banc-à-broches et le continu à filer dont l'automatisation est surtout coûteuse et les performances sur le plan de vitesse sont arrivées à un palier technologique d'où réside l'intérêt des processus de filature non conventionnels tel que l'open-end.

Ces processus non conventionnels permettent donc une augmentation de la production de 5 à 10 fois voir plus par rapport au continu à filer tout en supprimant les deux étapes en amont et en aval de cette machine à savoir le banc à broches et le bobinoir.

TABLEAU I: Aperçu sur quelques potentiels de procédés de filature.

Paramètres	Procédés				
	Anneau-curseur	Open-End à Rotor	Open-End à Friction	Broche creuse	Jet d'air
Alimentation	Mèche	Ruban	Ruban	Ruban	Ruban
Affinage	train d'étirage à cylindre	Briseur	Briseur	train d'étirage à cylindre	train d'étirage à cylindre
Application de torsion	Broche à anneau-curseur	Rotor	Tambours perforés	Bobine de guipage	Jet d'air rotatif
Potentiel de torsion (1000t/min)	12 à 18	80 à 100	200 à 300	25 à 35	150 à 300
Alimentation poids (ktex) ou (Nm)	0,20 à 1,00 1 à 5	0,33 à 0,20 3 à 5	0,33 à 0,20 3 à 5	-	0,5 à 0,2 2 à 5
Finesse délivrée (tex)	100 à 5	100 à 16,5	100 à 20	100 à 25	25 à 7
Nombre de fibres à la section (mini.-maxi.)	70 à 300	110 à 350	100 à 500	30 à 300	90 à 200
Torsion (t/m)	500 à 670	500 à 735	500 à 935	500 à 670	500 à 700
Production (m/min)	30 au maxi.	150 à 200	130 à 300	150 à 300	150 à 300

fil de continu à filer

fil OE à rotor

fil OE "à friction"

fil de filature à jet d'air

fil guipé de filaments

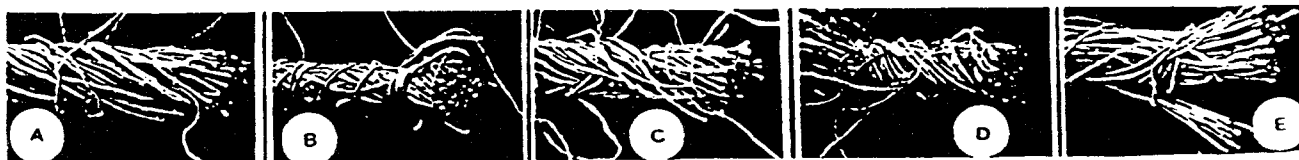


TABLEAU II: Etapes du processus de filature cardé.

ETAPES DE FABRICATION	ASPECT DE LA MATIERE	MACHINES
<p>Ouvraison-Epuration</p> <p>Les fibres jusqu'alors fortement comprimées dans les balles sont "ouvertes" et débarrassées mécaniquement et pneumatiquement de la majeure partie des impuretés solides. On réalise aussi un mélange en bourre.</p>	<p>Balles pressées</p> <p>↓</p> <p>Flocons</p>	<p>-Eplucheuse ou</p> <p>-Brise-balle</p> <p>-Ouvreuse</p> <p>-Doseuse</p> <p>-Mélangeuse</p>
<p>Cardage</p> <p>Démêlage et individualisation des fibres au moyen d'organes munis de pointes fines. Epuration complémentaire et obtention d'un ruban continu.</p>	<p>Flocons (nappe)</p> <p>↓</p> <p>Voile</p> <p>↓</p> <p>Ruban de cardé</p>	<p>-Carde</p>
<p>Etirage</p> <p>Parallélisation des fibres et affinage par étirage (laminage à cylindres). Régularisation et mélange par doublage.</p>	<p>↓</p> <p>Ruban d'étirage</p>	<p>-Banc d'étirage</p>
<p>Affinage</p> <p>Affinage par étirage accompagné de torsion (augmentation de la cohésion inter-fibres).</p>	<p>↓</p> <p>Mèche</p>	<p>-Banc à broches</p>
<p>Filage</p> <p>Affinage et torsion définitifs. Mise sur bobine (cops).</p>	<p>↓</p> <p>Filé</p>	<p>-Continu à filer</p>

Cependant la structure du fil obtenu ne répond pas encore à la totalité des exigences d'une clientèle intéressée par des fils fins (titre < 16 tex ou Nm > 60), solides et présentant une excellente régularité d'aspect. Ces nouveaux procédés de filature rapide correspondent à des créneaux d'utilisation relativement étroits par rapport au procédé classique du continu à filer, machine dont les performances, au plan de la régularité structurale, de la limite de filabilité et des procédés mécaniques, n'ont pu être égalées à ce jour.

1.5. PEIGNAGE ET PROCESSUS DE FIBRES COURTES PEIGNEES [20]

Le consommateur du textile, de mieux en mieux informé, est devenu plus exigeant au plan de la qualité des produits textiles et notamment du fil, matériaux de base, destinés à la confection des textiles surfaciques conventionnels (tissus, tricotés).

Par ailleurs, la concurrence internationale est devenue également de plus en plus importante, d'où la nécessité pour le filateur, soucieux de la compétitivité de son entreprise, de rechercher et de s'orienter vers la meilleure liaison: fabrication des produits très élaborés à forte valeur ajoutée. Ceci explique l'intérêt pour le processus "peigné" aussi bien dans le domaine des fibres courtes que celui des fibres longues. Celui-ci est dérivé du processus cardé dans lequel on insère une étape supplémentaire appelée peignage qui consiste à éliminer mécaniquement les fibres courtes (dont la valeur est fixée par le filateur et appelée base de triage). La partie fibreuse éliminée est appelée blouse par opposition à la partie longue dénommée peignée. Les taux usuels en filature de fibres courtes se situent entre 15 à 25 %.

Cette opération de peignage permet d'améliorer considérablement la qualité du produit final au plan de:

1. **Régularité massique (exprimée sous forme de coefficient de variation CV et mesurée au moyen du régularimètre électronique à capteurs capacitifs Uster et Superba.**
2. **Propreté: élimination des boutons qui ne peuvent pas être extraits totalement en grosse préparation et en cardage.**
3. **Limite de filabilité: celle-ci peut atteindre une valeur de 5 à 10 tex.**
4. **Aspect pileux: ce qui est dû au meilleur parallélisme des fibres et à l'élimination des impuretés diverses et neps.**
5. **Amélioration des propriétés mécaniques: ténacité, allongement à la rupture et capacité de travail. Celle-ci est liée à la meilleure cohésion interfibres (fibres plus longues et parallèles).**

Néanmoins, le processus peigné conduit à un prix de revient plus élevé que celui du processus cardé. Ceci découle de la :

- Perte de blousse dont la valeur commerciale est inférieure à celle du coton brut,
- nécessité d'utiliser des qualités de cotons plus longs et plus fins, autrement dit plus coûteux,
- réduction de la vitesse de certaines machines de production afin de ne pas endommager les fibres et de garder intacte leur qualité mécanique initiale (ouvreuse, carde, banc d'étirage...),
- nécessite d'allonger le processus par rapport au système cardé et ceci pour deux raisons:

a) En filature des fibres courtes, il n'est pas possible de peigner directement le ruban cardé étant donné que sa cohésion interfibres est trop faible et que le parallélisme est insuffisant. Il est donc nécessaire de former, à partir des rubans cardés, une nappe de 60 à 80 Ktex dont les fibres devront être parallélisées avant le peignage car la peigneuse risque de provoquer la rupture des crochets fibreux se présentant dans la nappe alimentaire.

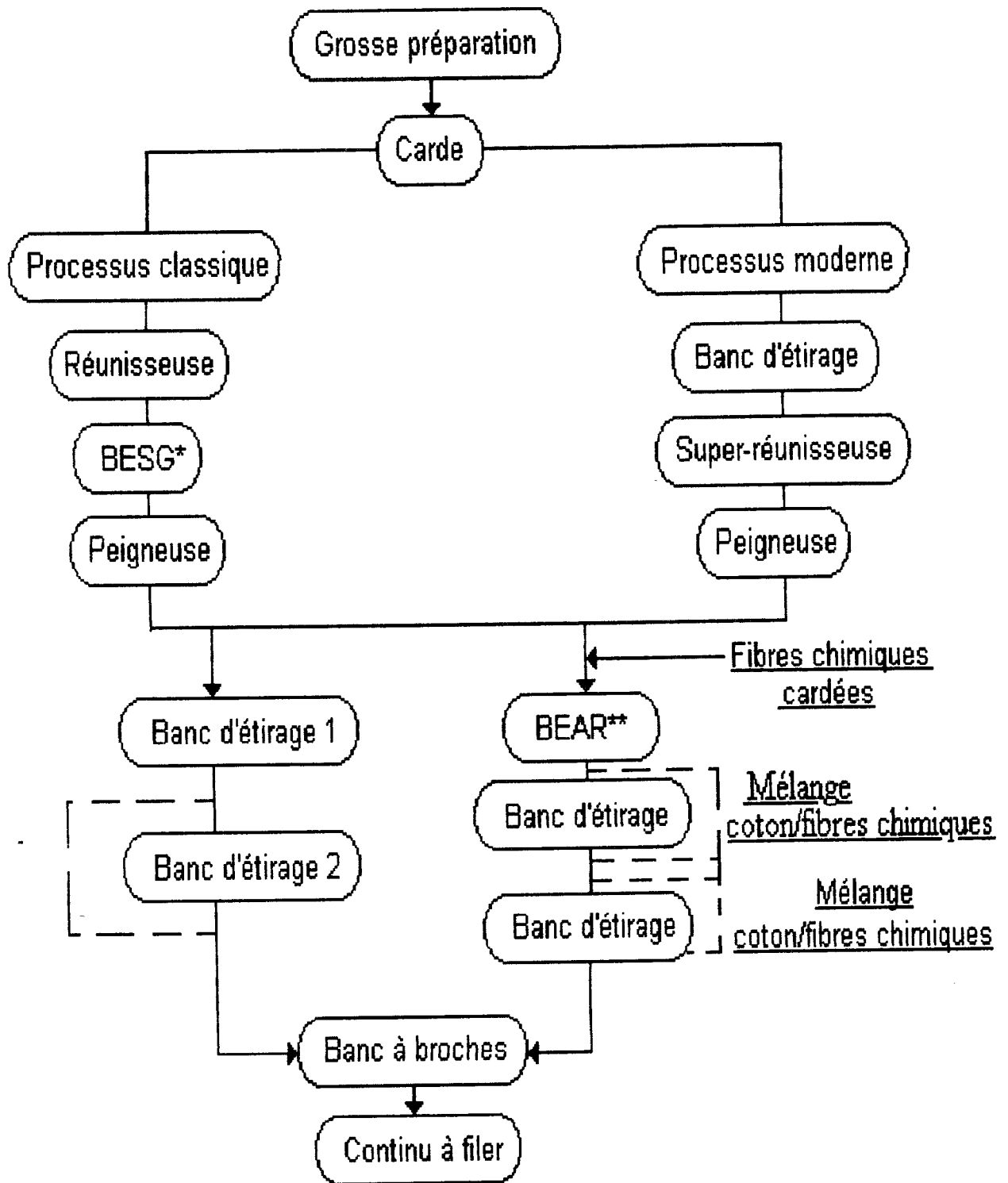
De ce fait, il faut prévoir une étape intermédiaire, avant le peignage, appelée "préparation au peignage". Au cours de cette opération, on forme la nappe, par doublage des rubans cardés, qui servira à l'alimentation de la peigneuse.

b) L'opération de peignage est une opération cyclique au cours de laquelle des franges fibreuses successives sont arrachées à la nappe alimentaire, peignées puis superposées dans le sens longitudinal pour former un voile continu qui sera condensé sous forme de ruban. Cette superposition des franges fibreuses successives appelées SOUDURE revêt un caractère périodique; il en résulte que le ruban sortant de la peigneuse présentera, à côté de la composante aléatoire de l'irrégularité, une composante périodique imputable à la soudure. Cette dernière ne pourra être éliminée que par doublage qui sera effectué lors de la régularisation au post-peignage; cette étape qui se situe avant le banc-à-broches comporte 1 à 3 passages de bancs d'étirage classiques. Les premiers passages pourront être autorégulateurs afin de pouvoir assurer une bonne régularité à long terme.

En résumé, le processus de coton peigné comporte les étapes suivantes:

- ouvrison, épuration (semblable au processus cardé),**
- cardage,**
- préparation au peignage (parallélisation des fibres, ouverture des crochets et formation de la nappe),**
- peignage,**
- régularisation au post-peignage (doublage et étirage), éventuellement mélange en rubans avec des fibres chimiques cardées,**
- affinage (transformation du ruban en mèche sur le banc-à-broches),**
- filage (transformation de la mèche en filé) (figure 2).**

Il apparaît que dans le cas du peignage, les fibres sont plus sollicitées par rapport aux autres procédés de filature. De ce fait, il serait intéressant de procéder à une analyse du comportement de ce matériau (fibres) en sollicitations composées.



*BESG: Banc d'étirage à surface gauche.

**BEAR: Banc d'étirage autorégulateur.

Figure 2: Schéma du processus de filature peignée [21].

CHAPITRE II

COMPORTEMENT DU MATERIAU

CHAPITRE II

2. COMPORTEMENT DU MATERIAU

2.1. ENDURANCE DES FILES A L'EXTENSION MULTIPLE

A partir des essais de solidité et de déformation à la rupture des fils, on a déduit que ces indices ne sont pas suffisants pour apprécier ou déprécier la qualité de ces matériaux textiles. A cet effet, pour une estimation plus complète des propriétés mécaniques des fils, un facteur d'endurance aux actions multiples à l'extension, a été proposé [22].

Le même auteur a prouvé qu'un fil ayant une caractéristique réduite à la rupture, présente une endurance exclusivement importante et réciproquement. Ce phénomène présente une importance primordiale surtout au niveau des casses de fil au tissage. En outre, il a démontré qu'il n'y a pas de relation entre l'endurance des fils à l'extension multiple et la charge de rupture.

2.2. ESTIMATION DE L'ENDURANCE

Il est admis que n'importe quel produit textile en phase de fabrication doit être contrôlé aussi bien en solidité statique qu'en solidité dynamique.

L'évaluation de la solidité statique ne présente aucune difficulté, en revanche, l'étude du comportement des articles en état dynamique est relativement complexe. En général, l'endurance constitue l'une des caractéristiques de base de la solidité dynamique, phénomène que revêt chaque matériau.

Afin d'estimer l'endurance des fils complexes, on utilise le diagramme de contrainte maximale développée d'un fil textile pendant l'extension multiple [23]. Pour des essais de la rayonne de viscose et du polyester, l'utilisation de l'extensomètre, à différents régimes de charge statique pour une même déformation initiale est recommandée. La grandeur de la charge varie suivant un cycle sinusoïdal avec une fréquence de 8,33 Hertz et une charge préliminaire de 5 cN/tex. A partir de ceci, on déduit un modèle mathématique qui caractérise la dépendance de l'endurance des fils complexes de la charge statique. Ainsi, on recommande cette méthode de diagramme de contrainte maximale pour tout projet de fabrication des articles textiles, afin de prévoir les caractéristiques de fatigue de leurs fils complexes.

2.3. ANALYSE STATISTIQUE DE LA FATIGUE DU MATERIAU

L'endommagement local de structure d'une matière textile, à la suite de l'application des efforts ou de déformations multiples, est appelé fatigue dynamique. Pour la plupart des matières textiles, la fatigue est caractérisée par la formule suivante [24]:

$$n = \left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)^b \quad (1)$$

$$\text{ou } n\sigma^t = B \Rightarrow n = \frac{B}{\sigma^t} \quad (2)$$

où: n - nombre de cycles jusqu'à rupture,
 σ - valeur de contrainte cyclique,
 b, σ_0, t et B - constantes.

Pour ce type d'analyse, on utilise un pulsateur PK.3 [25] dont les caractéristiques sont:

- fréquence d'extension: 220 cycles /mn,
- charge statique: 47 gf,
- déformation cyclique: 4 mm,
- longueur d'échantillon: 500 mm (écartement entre les pinces).

Après avoir exécuté un nombre défini de cycles d'extension multiple, on contrôle la charge de rupture de ce fil à l'aide d'un dynamomètre PM.3 [25] (avec un nombre d'essais égal à 100 pour chaque variante). La répartition des résultats de solidité de ce produit, est analysée ensuite à l'aide du papier fonctionnel de la loi normale [26, 27] (figure 3).

Les résultats expérimentaux obtenus sont approximatisés par la loi de distribution normale et coïncident avec un certain degré de confiance.

A partir de cette étape, on programme l'extension multiple ainsi qu'un contrôle systématique pour chaque échantillon [28]. Les résultats de cette partie sont présentés sur la figure 4.

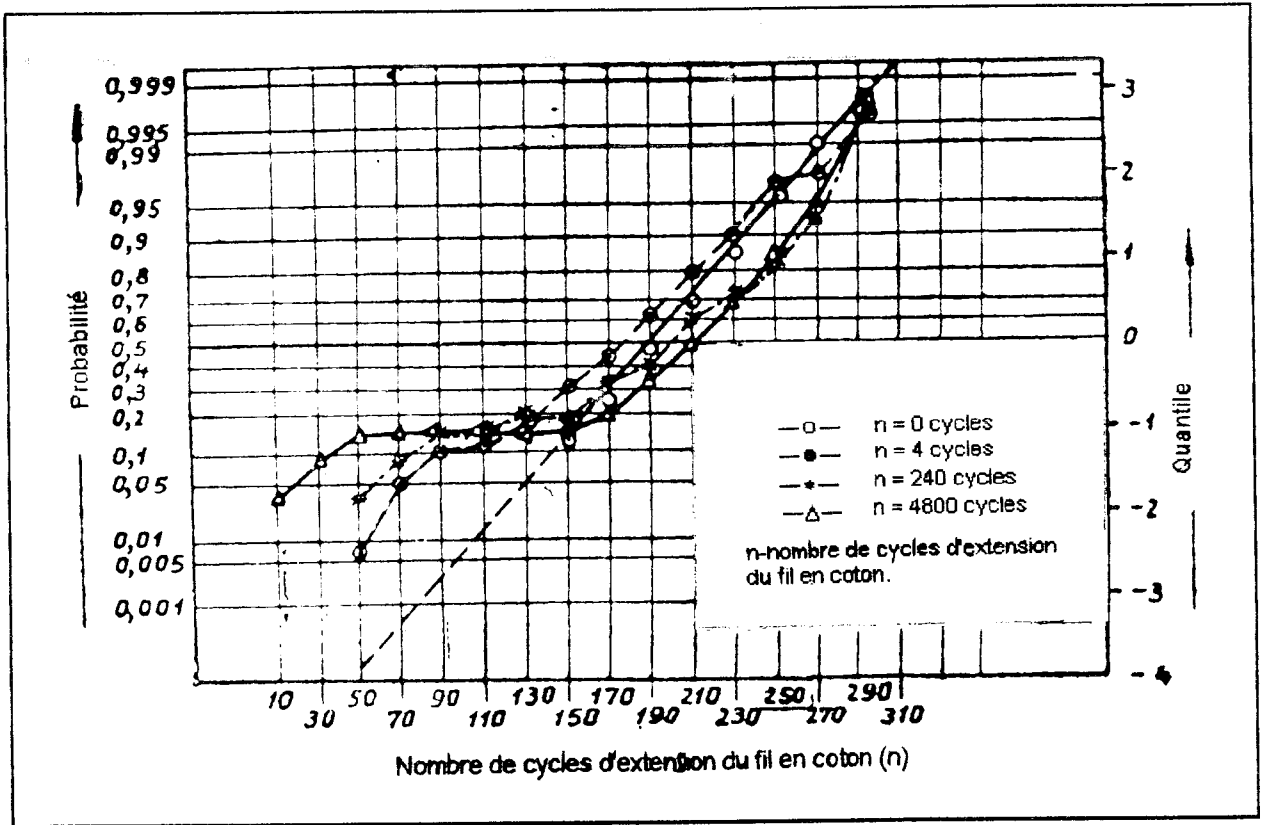


Figure 3: Répartition des nombres de cycles d'un fil.

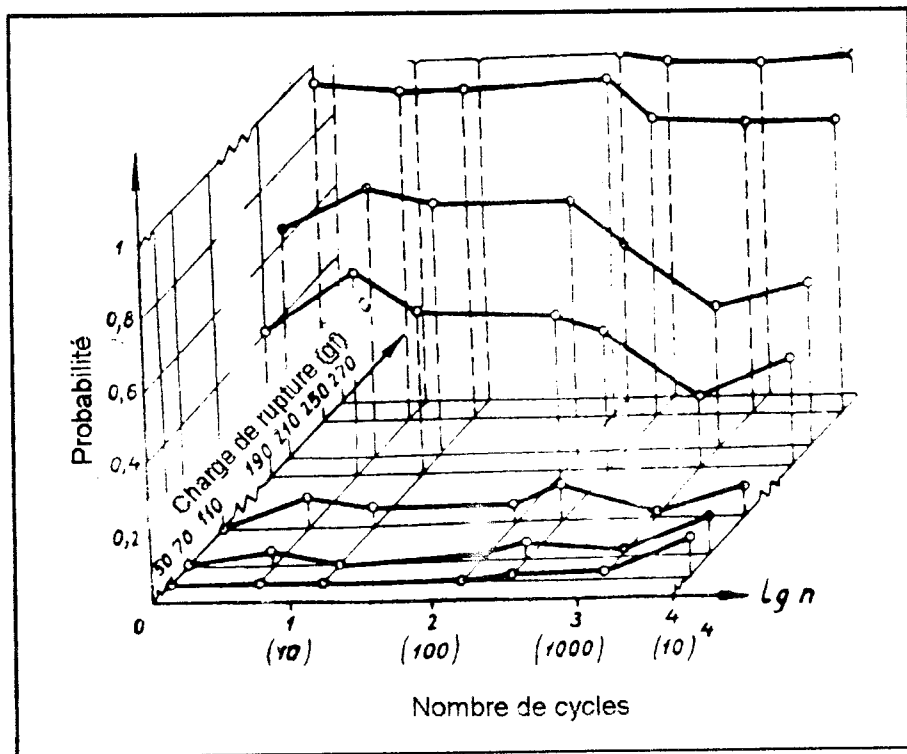


Figure 4: L'extension multiple pour différentes probabilités.

2.4. RESULTATS DES FIBRES SOUMISES AUX FLEXIONS REPETEES [29]

Ces résultats ont été obtenus à l'aide d'un appareil Hongrois "SINUS" sous les conditions suivantes:

- Rayon de courbure: 0,2 mm,
- Angle de flexion: $\pm 90^\circ$,
- Fréquence d'oscillation: 130 cycles/min,
- Charge préliminaire: 0,3 Pr (charge de rupture moyenne),
- Nombre d'essais: 50.

TABLEAU III. Résultats de différentes fibres soumises aux flexions répétées.

Fibres	Titre (mTex)	Charge statique (cN)	Nombre de cycles moyen $\times 10^3$	Ecart type $\times 10^3$	Coefficient de variation (%)	Asymétrie	Aplatissement
Coton moyenne-soie	170	1,5	43,60	44,1	101,2	1,03	0,59
Rayonne de viscose	170	1,5	4,70	4,03	85,7	1,77	3,50
Triacétate	280	1,0	0,25	0,32	128	1,94	2,80
Acrylique	380	3,0	7,00	4,50	63,8	0,76	0,36
Chlorofibres (chlorine)	330	2,5	0,95	1,42	149,5	2,28	5,07
Polyéthylène	170	1,5	4,72	4,03	85,7	1,77	3,50

Avant les essais et selon la norme GOST 10681- 75, ces fibres ont été conditionnées. Comme résultats à la fatigue, on a pris le nombre de doubles flexions à la rupture et pour une charge statique fixe. En outre, le traitement des résultats a été réalisé par leur groupement en classes, selon les recommandations suivantes [29]:

$$k \approx 1 + 3,4 \log n \quad (3)$$

où: k - le nombre de classes,
n - le nombre d'essais.

Au cours du traitement de ces résultats, on a utilisé la loi logarithmique normale. Pour mieux exprimer le mécanisme de rupture à la fatigue, cette loi correspondant au modèle mathématique le plus probable, est recommandée [29].

2.5. ANALYSE DU COMPORTEMENT DU RUBAN ETIRE

Au cours des transformations technologiques des fibres en ruban étiré, celles-ci sont soumises à différents types de sollicitations. Comme l'étirage constitue l'une des opérations essentielles de cette étape, deux types de forces y découlent: les premières sont nécessaires au pinçage des fibres et les secondes, déduites systématiquement de ce phénomène, caractérisent l'extension.

2.5.1. Analyse des forces de pinçage

Lors de l'analyse du mouvement des fibres au niveau de l'étirage, on a proposé la formule suivante [30]:

$$T_R > F_R \quad (4)$$

où: T_R - force de résistance à l'étirage.

F_R - force d'étirage.

A la suite des études et analyses théoriques sur la contrainte qui se manifeste au cours du processus d'étirage, on a déduit la formule suivante [30]:

$$\sigma_p = \frac{K_p (h_0 - h)}{h} \quad (5)$$

où: σ_p - contrainte subie par la matière fibreuse,

K_p - coefficient caractérisant les propriétés mécaniques du produit,

h_0 - épaisseur de la couche de la matière fibreuse avant l'étirage,

h - épaisseur de la couche de cette même matière après l'étirage.

2.5.2. Analyse de l'extension du ruban étiré

Tenant compte des caractéristiques mécaniques des fibres, des résultats théoriques et pratiques furent révélés intéressants sur les investigations du comportement du ruban étiré à l'extension [31].

Pour cette étude, le ruban de masse linéique de 3,3 Ktex est composé de fibres de longueur moyenne soie. A l'aide d'un dynamomètre pour faisceau, on a bien examiné la cohésion des fibres à l'intérieur du ruban. En conséquence, il en ressort une parfaite coïncidence entre la théorie et la pratique.

Après ce passage en revue, il serait souhaitable de poursuivre des investigations dans le domaine des sollicitations cycliques. Aussi, de ces hypothèses, le comportement de ce matériau fibreux à transformer, permettra de donner une orientation à son utilisation ultérieure, telle que la poursuite du processus technologique ou son emploi à d'autres fins.

2.6. SOLIDITE DU FIL ET RESISTANCE A DES EFFORTS REPETES [32]

La solidité du fil est caractérisée par la charge qui provoque sa rupture. Elle dépend de: la longueur, l'épaisseur, la solidité des fibres qui le composent et du taux de torsion. Si les fibres sont longues, leur surface de contact augmentera et par conséquent, les forces qui les retiennent ensemble deviendront plus importantes. Plus les fibres sont fines, plus leur quantité augmente dans la section du fil et plus grande sera sa résistance. Enfin, plus les fibres sont résistantes, plus grande doit être aussi la force nécessaire à leurs ruptures. Par conséquent, elles peuvent supporter un effort à la torsion plus grand. De ce fait, un taux de torsion plus élevé donne un fil plus solide. Toutefois, un surtordage provoque le phénomène de vrillage.

Aussi, Le fil s'allonge sous l'effet de la charge. L'allongement limite au moment de la rupture, est appelé allongement à la rupture; il représente une deuxième caractéristique importante du fil.

Les recherches poursuivies, au cours de ses dernières années, ont permis de montrer que, outre la solidité à la rupture, une grande importance est donnée à la résistance aux efforts répétés (flexions, allongements).

Lors de la transformation ultérieure du fil (par exemple en tissage), les fils sont soumis à des efforts de flexions et d'allongements répétés. Après chaque effort subi, tout petit soit-il, le fil s'allonge. Cet allongement ne disparaît que partiellement après que l'effort ait cessé d'être exercé. Cela signifie qu'un allongement répété aboutit à un allongement permanent qui provoque finalement la rupture à la fatigue. Il importe donc de connaître la résistance à la fatigue du fil, c'est à dire le nombre de flexions ou d'allongements qu'il peut supporter avant de se rompre.

La fréquence des casses de fil, par exemple sur ensouple en tissage, dépend d'une façon générale de la capacité de celui-ci à supporter les efforts répétés. La résistance du fil dans ce cas dépend, à chaque sollicitation, de l'allongement permanent, de la tension initiale du fil et de la fréquence de travail (nombre de cycles). Ainsi, la relation, qui découle de la résistance du fil aux efforts répétés et de l'allongement, est présentée sur la figure 5 [32].

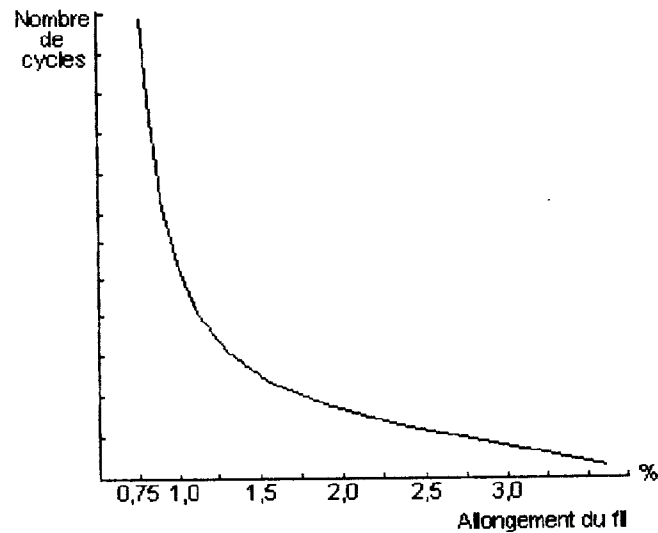


Figure 5: Relation entre la résistance du fil aux efforts répétés et l'allongement.

Cette figure nous permet de voir que, à mesure que l'allongement diminue, la résistance aux efforts répétés croît rapidement; plus grande est cette valeur, moins de casses de fils se manifestent au tissage.

2.7. RELATION ENTRE LA SOLIDITE DU FIL ET SA RESISTANCE AUX EFFORTS REPETES

Si le fil casse, les fibres ne se rompent pas toutes à la fois. Certaines d'entre elles glissent le long des autres lorsque la force de frottement devient insuffisante. On peut donc en conclure que, pour augmenter la solidité du fil, il convient d'augmenter les frottements entre elles. Par conséquent la solidité, est directement proportionnelle à: l'épaisseur du fil, la longueur des fibres, au coefficient de frottement et au taux de torsion.

A la suite de la torsion, certaines fibres se disposent soit à la surface, soit au voisinage de l'axe central du fil, tandis que d'autres fibres migrent vers l'intérieur (ou en sens inverse): phénomène de migration des fibres [33]. Suivant leurs emplacements, une partie d'une même fibre subit des efforts différents (la partie extérieure est plus fortement sollicitée que la partie intérieure). Le taux de torsion détermine la résistance du fil à l'usure; autrement dit, sa capacité de supporter des efforts de flexions et d'allongements répétés.

Plus grand est l'allongement relatif du fil, mieux est sa résistance aux différentes sollicitations. Par conséquent, sa structure initiale sera plus longuement conservée.

En outre, la résistance est également fonction des paramètres du filage et de l'état mécanique de l'équipement.

Les propriétés des fibres et celles du fil sont représentées par les relations suivantes [34]:

$$R = \left(\frac{P}{T_{fb}}\right) \left(1 - 0,0375 H_0 - \frac{2,65}{\sqrt{\frac{T}{T_{fb}}}}\right) \left(1 - \frac{5}{L_{fb}}\right) K \eta \quad (6)$$

où: R - ténacité du fil en cN/Tex,

P - charge de rupture moyenne d'une fibre de coton en cN,

T - titre en Tex du fil,

T_{fb} - titre en Tex de la fibre,

H_0 - l'irrégularité du fil en fonction du système de filage adopté en (%),

η - coefficient qui dépend de l'état mécanique de l'équipement,

K - coefficient caractérisant la différence entre le coefficient de torsion appliqué et celui critique.

Toutefois, il est à considérer certaines conditions dans lesquelles se trouve le matériau, parmi celles-ci, on cite la teneur en humidité.

Quant au coefficient de torsion critique α , on utilise la relation suivante [34]:

$$\alpha = \frac{(1120 - 70P)P}{L_{fb}} + \frac{56,92}{\sqrt{T}} \quad (7)$$

où: L_{fb} - longueur de la fibre.

2.8. CONCLUSION DE L'ANALYSE

Selon cet ensemble de modélisation, nous pouvons déduire qu'il ne caractérise pas l'influence des différentes actions technologiques sur les fibres au cours de leurs traitements.

Par ailleurs, la charge de rupture des fibres examinées, avant et après le processus technologique, ne permet pas d'estimer leur tenue à la fatigue.

Par conséquent, la charge de rupture reste un caractère insuffisant pour montrer la solidité des fils obtenus, du fait qu'elle ne tient pas compte des différentes déformations aussi bien élastiques que plastiques.

De ce fait, il est nécessaire d'étudier la fatigue des fibres à chaque étape du traitement. Ceci nous permet d'estimer le degré d'endommagement des fibres à différents seuils de probabilité.

CHAPITRE III

SOLLICITATIONS EN FLEXION

CHAPITRE III

3. SOLLICITATIONS EN FLEXION

3.1. FLEXION DES FIBRES ONDULEES

En textile, les fibres sont soumises à différents types de sollicitations: traction, compression, torsion, flexion, etc...

Dans notre étude, nous considérons le cas de la flexion et pour cela nous supposons que la droite des centres de gravité des sections de la fibre, appelée fibrille moyenne, est une courbe plane et que les sections ont un axe de symétrie [35] dans ce plan. La fibre est soumise à l'action des forces s'exerçant dans le plan de symétrie de sorte que la flexion se produit dans ce plan.

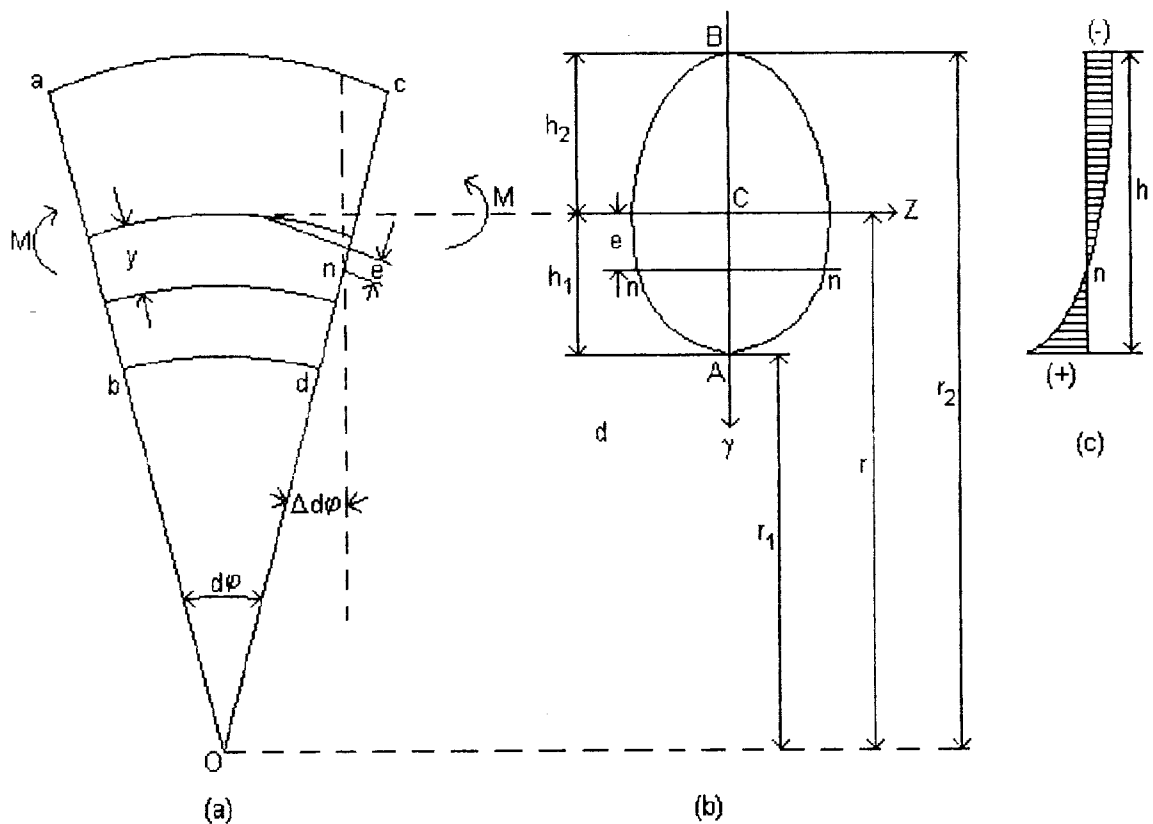


Figure 6: Schéma de sollicitation d'une fibre textile.

Considérons d'abord le cas d'une fibre de section constante, soumise à la flexion pure produite par les couples M que l'on applique aux extrémités (figure 6). La répartition des contraintes s'obtient, en donnant la même hypothèse que dans le cas des fibres rectilignes; c'est à dire que les sections transversales initialement planes et normales à la fibrille moyenne restent ainsi après la flexion [36].

Soient ab et cd deux sections très voisines de la fibre (figure 6a) et soit $d\phi$ le petit angle que font entre elles ces deux sections avant la flexion. En raison de cette dernière, la section cd tourne par rapport à ab autour de l'axe neutre nn , d'un petit angle $\Delta d\phi$. Cet angle et le moment correspondant M sont positifs si la courbure initiale de la fibre diminue au cours de la flexion. Du fait de cette rotation, les fibrilles longitudinales de la face convexe sont tendues.

Soit y la distance de la fibrille à l'axe central perpendiculaire au plan de flexion, on considère cette distance positive dans le sens du centre de courbure de la fibrille moyenne de la fibre, et soit e la distance de l'axe neutre nn au centre de gravité C , on constate que l'extension d'une fibrille quelconque, pendant la flexion, est: " $(y-e)\Delta d\phi$ ". L'allongement unitaire en fonction de $\Delta d\phi$ est donné par la relation suivante:

$$\varepsilon = \frac{(y - e)\Delta d\phi}{(r - y)d\phi} \quad (8)$$

où: r - rayon de courbure de la fibrille moyenne de la fibre (figure 6b),
 $(r-y)d\phi$ - longueur initiale des fibrilles entre les sections très voisines ab et cd ,
 $(y-e)\Delta d\phi$ - extension d'une fibre quelconque pendant la flexion.

Supposons qu'il n'y ait pas de pression latérale [37] entre les fibrilles longitudinales à une distance y de l'axe central et suivant la normale à la section, la contrainte de flexion est:

$$\sigma = \frac{E(y - e)\Delta d\phi}{(r - y)d\phi} \quad (9)$$

On constate que la répartition des contraintes n'est plus linéaire comme dans le cas des fibres rectilignes, mais qu'elle obéit à une loi hyperbolique comme l'indique la figure 6c. Du fait que la somme des forces normales, réparties sur la section, est nulle dans le cas de flexion pure, on conclut que l'axe neutre se déplace du centre de gravité de la section vers le centre de courbure de la fibrille moyenne .

Quant à la contrainte, elle est de type à deux inconnues: la distance "e" de l'axe neutre nn au centre de gravité C (figure 6b) et l'angle de rotation " $\Delta d\varphi$ ". Pour déterminer ces valeurs, nous utilisons les deux équations de la statique qui établissent que la somme des forces normales réparties sur une section est nulle et que le moment des forces est égal au moment extérieur M. Ces équations sont:

$$\int_{y_0}^{y^1} \sigma dA = \frac{E \Delta d\varphi}{d\varphi} \int_{y_0}^{y^1} \frac{(y - e) dA}{r - y} = 0 \quad (10)$$

$$\int_{y_0}^{y^1} \sigma y dA = \frac{E \Delta d\varphi}{d\varphi} \int_{y_0}^{y^1} \frac{(y - e) y dA}{r - y} = M \quad (11)$$

De l'équations (10), on déduit:

$$\int_{y_0}^{y^1} \frac{y dA}{r - y} - e \int_{y_0}^{y^1} \frac{dA}{r - y} = 0 \quad (12)$$

La première intégrale a la dimension d'une aire et s'exprime par:

$$\int_{y_0}^{y^1} \frac{y dA}{r - y} = mA \quad (13)$$

où: m - est une constante qu'il faut déterminer dans chaque type de section particulière par intégration de l'équation (13).

Quant à la valeur mA , elle représente l'aire modifiée de la section. La seconde intégrale de l'équation (12) se transforme comme suit:

$$\int_{y_0}^{y_1} \frac{dA}{r-y} = \int_{y_0}^{y_1} \frac{(y+r-y)dA}{r(r-y)} = \int_{y_0}^{y_1} \frac{y dA}{r(r-y)} + \int_{y_0}^{y_1} \frac{dA}{r} = (m+1) \frac{A}{r}.$$

et l'équation (12) devient:

$$mA - (m+1) \frac{Ae}{r} = 0$$

d'où l'on tire:

$$e = r \frac{m}{m+1} \quad \text{où} \quad m = \frac{e}{r-e} \quad (14)$$

Considérons l'équation (11) et opérons la transformation:

$$\int_{y_0}^{y_1} \frac{y^2 dA}{r-y} = - \int_{y_0}^{y_1} \left(y - \frac{ry}{r-y} \right) dA = - \int_{y_0}^{y_1} y dA + r \int_{y_0}^{y_1} \frac{y dA}{r-y} = mrA \quad (15)$$

nous obtenons:

$$\frac{E\Delta d\phi}{d\phi} (mrA - meA) = M$$

et

$$\frac{E\Delta d\phi}{d\phi} = \frac{M}{m(r-e)A} = \frac{M}{Ae} \quad (16)$$

substituons dans l'expression (9) la formule des contraintes de flexion:

$$\partial = \frac{M(y - e)}{m(r - e)A(r - y)} = \frac{M(y - e)}{Ae(r - y)} \quad (17)$$

Pour obtenir les contraintes dans les fibrilles extrêmes, on substitue aux points A et B (figure 6b) les valeurs $y_1 = h_1$ et $y_0 = -h_2$, ce qui donne:

$$\partial_A = \frac{M(h_1 - e)}{Aer_1} ; \sigma_B = \frac{-M(h_2 + e)}{Aer_2} \quad (18)$$

où: r_1 et r_2 - désignent respectivement les rayons intérieur et extérieur de la fibre ondulée.

En déterminant par les équations (13) et (14) les grandeurs m et e pour un type de section quelconque et à l'aide de la formule (18) on calcule aisément les contraintes de flexion.

La variation $\Delta d\varphi$ de l'angle $d\varphi$, entre les deux sections consécutives, s'obtient par l'équation (16) qui donne:

$$\Delta d\varphi = \frac{Md\varphi}{eAE} = \frac{Mds}{erAE}$$

et la variation correspondante de la courbure de la fibrille moyenne de la fibre est:

$$\frac{\Delta d\varphi}{ds} = \frac{M}{erAE} = \frac{M(m + 1)}{mr^2AE} \quad (19)$$

Si la dimension radiale h de la fibre ondulée est faible devant le rayon de la courbure r de la fibrille moyenne, on peut négliger y par rapport à r dans les équations (13) et (15). Alors on conclut que lorsque le rayon de courbure croît, le nombre m tend vers zéro et la quantité " mr^2A " tend vers la valeur du moment d'inertie centrale I_z de la section. L'expression (19) de la variation de la courbure tend alors vers la valeur:

$$\frac{\Delta d\varphi}{ds} = \frac{M}{EI_z} \quad (20)$$

où: E - module de Young,

I_z - module d'inertie centrale de la section.

Cette valeur peut être la même pour la courbure des fibres initialement rectilignes.

3.2. DETERMINATION DES PARAMETRES EN FLEXION DES FIBRES ONDULEES

Comme cela a été précédemment souligné, les fibres textiles peuvent être soumises à différentes sollicitations, mais nous considérons toujours le cas le plus général de flexion d'une fibre ondulée (figure 7a).

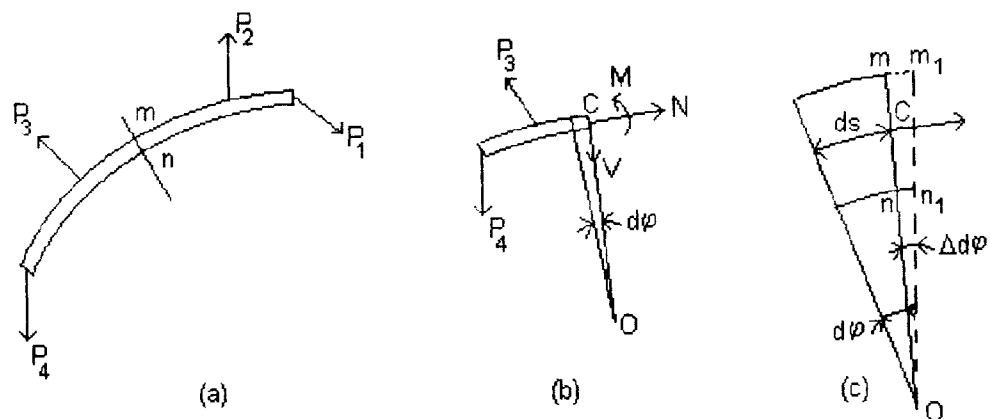


Figure 7: Schéma de flexion d'une fibre ondulée .

On suppose que les forces P_1, P_4 représentent un système de forces en équilibre qui s'exercent dans le plan de la fibrille moyenne (plan de symétrie de la fibre). La flèche de celle-ci se produit évidemment dans le même plan. Pour déterminer les contraintes en une section mn (figure 7), on suppose que la partie de la fibre, située à droite de mn , est supprimée; son action sur la partie gauche est remplacée par une force appliquée, au centre de gravité C de la section, et par un couple M .

La décomposition de cette force en deux composantes N et V , l'une normale à la section et l'autre directement radiale, permet l'obtention du moment fléchissant M , de la force longitudinale N et de l'effort tranchant V . Les directions positives de ces forces sont indiquées sur la figure 7b.

Les contraintes correspondantes à la force longitudinale sont uniformément réparties sur la section et leur valeur est (N/A) . Celles-ci produisent des allongements unitaires des fibrilles uniformément répartis; mais la somme des allongements, proportionnels à la longueur initiale des fibrilles entre deux sections très voisines, est proportionnelle à la distance du centre de courbure O à la fibrille moyenne (figure 7c). Donc du fait de l'action de la force longitudinale, l'angle initial $d\varphi$ augmente de :

$$\Delta d\varphi = \frac{Nds}{AEr} \quad (21)$$

En même temps la longueur initiale ds de l'élément de la fibrille moyenne s'accroît de :

$$\Delta ds = \frac{Nds}{AE} \quad (22)$$

L'effort tranchant V produit des contraintes de cisaillement et un certain gauchissement de la section. On suppose généralement que la distribution de ces contraintes sur la section est la même que pour une fibre rectiligne [36]. Dans ce cas, le déplacement radial relatif de deux sections adjacentes est le même que pour les fibres rectilignes.

$$\frac{\omega V}{AG} ds \quad (23)$$

où: ω - facteur numérique pour section circulaire $\omega = 4/3$,
 V/A - cisaillement moyen,
 G - module de cisaillement,
 V - effort tranchant.

La combinaison des contraintes de flexion produites par le couple M avec celles produites par la force N , donne :

$$\sigma = \frac{M(y - e)}{Ae(r - y)} + \frac{N}{A} \quad (24)$$

On trouve, par la variation $\Delta d\phi$ de l'angle entre les deux sections consécutives, la relation suivante:

$$\Delta d\phi = \frac{Mds}{erAE} - \frac{Nds}{AEr} \quad (25)$$

A l'aide des formules (21) à (25), on calcule les contraintes et les flèches d'une fibre ondulée, pour tout cas de charge située dans le plan de courbure de la fibrille moyenne.

Le calcul du nombre m , défini par l'équation (13) et la distance e de l'axe neutre au centre de gravité de la section est développé. Connaissant ces paramètres, les contraintes dans les fibres ondulées se calculent à l'aide des équations (18).

Dans ce calcul, on se limite à la section circulaire, celle qui se rapproche le plus de la configuration des fibres utilisées; on remarque que, dans ce cas (figure 8), la largeur de la section à la distance y du centre de gravité, est:

$$w = 2 \sqrt{\frac{h^2}{4 - y^2}}$$

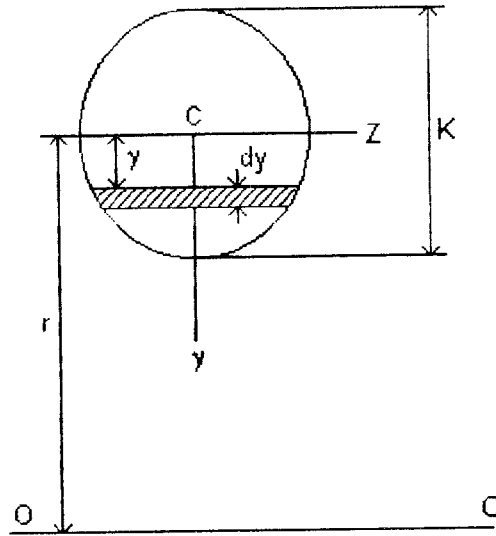


Figure 8: configuration de la fibre utilisée

l'équation m devient :

$$mA = \int_{y_0}^{y_1} \frac{y dA}{r-y} = r \int_{y_0}^{y_1} \frac{dA}{r-y} - A = 2r \int_{-\frac{1}{2}h}^{\frac{1}{2}h} \frac{\sqrt{\frac{1}{4}h^2 - y^2}}{r-y} dy - A = 2\pi r \left(r - \sqrt{r^2 - \frac{1}{4}h^2} \right) - A \quad (26)$$

En utilisant la série suivante:

$$\sqrt{1 - \frac{h^2}{4r^2}} = 1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{4r^2} - \frac{1}{8} \left(\frac{h^2}{4r^2} \right)^2 - \frac{1}{16} \left(\frac{h^2}{4r^2} \right)^3 - \frac{5}{128} \left(\frac{h^2}{4r^2} \right)^4 - \dots$$

nous obtenons:

$$m = \frac{1}{4} \left(\frac{h}{2r} \right)^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{h}{2r} \right)^4 + \frac{5}{64} \left(\frac{h}{2r} \right)^6 + \dots \quad (27)$$

C'est une série rapidement convergente à partir de laquelle on calcule, avec la précision désirée, la valeur de m.

Une fois m déterminé, on calcule e par l'équation (14) et la contrainte ∂ par l'équation (18).

3.3. FLEXION DE LA FIBRE AUTOUR D'UN CYLINDRE

Pour caractériser la flexion des fibres ou des fils, on a envisagé une fibre AB entourant un cylindre de rayon ρ_i (figure 9). La longueur de la fibrille, située le long de l'axe de rayon ρ_0 , ne varie pas. Les parties des fibres situées vers le centre du cylindre, inférieures à ρ_0 (jusqu'à la couche superficielle), sont comprimées [38].

L'angle, formé par les lignes radiales tracées no et om , est désigné par φ . Ces lignes, en intersection avec les circonférences de rayons ρ_i , ρ_0 et ρ_e , forment successivement les axes: ab , cd et mn . Ceux-ci sont évalués par: X_c , X_0 et X_p . Si l'angle φ est très petit, les longueurs de ces axes sont égales à celles des cordes respectives. Les parties de la fibre plus surchargées sont: la couche extérieure, tendue, située à la distance ρ_e du centre et la couche intérieure comprimée, située à la distance ρ_i .

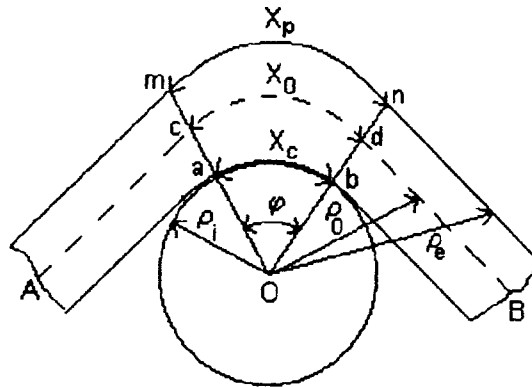


Figure 9: Schéma de flexion d'une fibre autour d'un cylindre.

L'endommagement des fibres se manifeste par l'apparition de fissures, phénomène affectant la partie extérieure. La flexion critique qui provoque la destruction d'une fibre, a lieu au moment où la déformation des couches extérieures atteint la rupture, autrement dit dans le cas où la relation critique [38] est atteinte:

$$\frac{(X_p - X_0)}{X_0} \geq \epsilon_r \quad (28)$$

ou

$$\frac{x_p}{x_0} \geq 1 + \varepsilon_r \quad (29)$$

Si on envisage des triangles semblables tels que oab, ocd et omn, on substitue à la relation (29), l'équation suivante:

$$\frac{\rho_e}{\rho_0} \geq 1 + \varepsilon_r \quad (30)$$

Soit d le diamètre de la section transversale de la fibre, on aura:

$$\rho_e = \rho_i + d \quad \text{et} \quad \rho_0 = \rho_i + \frac{d}{2}$$

En remplaçant ces expressions dans la formule (30), on aura:

$$\frac{\rho_i + d}{\rho_i + \frac{d}{2}} \geq 1 + \varepsilon_r \quad (31)$$

En résolvant cette équation en fonction de ρ_i , on obtient:

$$\rho_i \leq \frac{d}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_r} - 1 \right) \quad (32)$$

où: d - diamètre de la section transversale du matériau (fibre ou fil),
 ε_r - déformation relative à la rupture,
 ρ_i - rayon du cylindre.

Cette formule représente la relation entre le diamètre de la section transversale d'une fibre (fil) et le rayon du cylindre dont la flexion autour de celui-ci peut produire son endommagement.

CHAPITRE IV

GENERALITES SUR LA QUALITE

CHAPITRE IV

4. GENERALITES SUR LA QUALITE

4.1. QUALITE D'UN BIEN DANS LE TEMPS

La qualité dont témoigne un produit à sa sortie d'usine, n'assurera la satisfaction du consommateur que dans la mesure où elle se maintiendra pendant toute la période d'utilisation de celui-ci, c'est à dire où le produit se révélera fiable. La fiabilité est donc ce maintien de la qualité dans le temps [39].

Ce furent les impératifs posés par la complexité croissante des équipements dans lesquels la défaillance de la plus petite pièce suffit à compromettre le fonctionnement d'un ensemble extrêmement coûteux qui amenèrent à introduire la notion de fiabilité et à développer les techniques correspondantes.

Il apparut vite que, comme pour la qualité, il s'agissait moins de contrôler que de construire la fiabilité. En d'autres termes, la fiabilité doit être prise en considération dès le stade de la conception, compte tenu des incidents prévisibles et des objectifs fixés.

En effet, si la fiabilité a pu être définie comme une science de défaillance, son niveau requis s'obtient par le souci du détail, la minutie dans la préparation, les soins dans l'exécution et les attentions pendant la période d'utilisation.

On peut remarquer que, s'il est impératif de veiller à la fiabilité d'un véhicule spatial, il est tout aussi important d'assurer une fiabilité adéquate aux produits de consommation courante. Il est donc important d'en faire connaître les principes fondamentaux.

4.2. DEFINITION DE LA FIABILITE

A travers les notions données précédemment, on déduit que la qualité d'un bien se dégrade au fur et à mesure de son utilisation. De ce fait, on peut déduire que la fiabilité est caractérisée par l'évolution de la qualité d'un article dans le temps.

Toutefois, la définition la plus complète, est celle retenue par les fiabilistes comme suit:

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée [40].

En outre, ce terme est utilisé comme une caractéristique indiquant une probabilité ou une proportion de succès suivant les dispositifs.

4.3. QUALITE ET FIABILITE

"La qualité d'un produit est l'aptitude de ce produit à satisfaire les besoins des utilisateurs. Les composantes de la qualité peuvent être notamment, caractéristiques et performance, fiabilité, maintenabilité, disponibilité, durabilité, sécurité d'emploi, caractère non polluant, coût global de possession" [norme afnor X 50 - 109].

On a toutefois tendance à désigner par qualité la conformité du produit à sa spécification, à sa sortie d'usine (temps = 0) et par fiabilité son aptitude à y demeurer conforme au cours de la période d'utilisation.

On précisera donc que ces deux notions sont indissociables. Sans qualité à la base, il ne saurait être question de fiabilité; Il est à rappeler que la fiabilité est une extension de la qualité dans le temps et que, dans l'économie moderne, cette notion est devenue aussi essentielle que la qualité pour assurer la satisfaction de l'utilisateur.

4.4. ASPECT MATHEMATIQUE

Sous l'aspect mathématique, on définit la fiabilité comme étant une probabilité d'un article à assurer une fonction requise dans des conditions et un temps donnés.

La fiabilité est une caractéristique qui peut être exprimée par l'endurance non défailante, longue vie et délai garanti d'exploitation. Tous ces paramètres sont liés par une fonction globale appelée défaillance, c'est à dire l'événement produisant l'interruption du fonctionnement d'un produit; autrement dit, une défaillance est une destruction partielle ou totale, ou modification d'une caractéristique de la matière en question [41].

A titre d'exemple, en filature et en tissage, les casses de fils se présentent comme une défaillance et ce, du fait que la fonction à atteindre (production du tissu) n'est pas assurée.

Il faut tout de même souligner que, dans les conditions d'exploitation, la défaillance des matières textiles n'est pas tout à fait liée à leur rupture complète et elles peuvent agir avant la rupture. Le moment d'apparition de ce phénomène dépend d'une gamme de facteurs assez difficiles à détecter ou à prévoir. Autrement dit, l'apparition d'une défaillance est une fonction aléatoire, c'est pourquoi pour les études de ces phénomènes et leurs estimations quantitatives, les méthodes mathématiques avec le concept de probabilité s'imposent.

4.4.1. Concept de probabilité

De ce passage en revue, la notion de fiabilité est définie selon quatre concepts qui sont: la probabilité, la fonction requise, les conditions et le temps donnés.

La fiabilité est une caractéristique qui s'exprime sous une forme probabiliste et dont l'estimation découlera généralement d'une double extrapolation[40]:

-à partir des résultats obtenus dans un intervalle de temps déterminé ou, suivant le type de dispositif, pendant un nombre de cycles déterminé, extrapolation sur la période de fonctionnement (durée de vie utile) qui intéresse l'utilisateur,

-à partir des résultats obtenus sur un échantillon d'équipement, extrapolation sur l'ensemble de la population d'équipements dans laquelle a été prélevé l'échantillon.

Quant à la notion de période de temps, elle devra être remplacée par le nombre de cycles, distance parcourue... ; le terme temps est employé au sens large.

Selon la méthode empirique [42], l'estimation de cette fiabilité est donnée par la relation:

$$R(t) = \frac{N(t)}{N(0) \Delta(t)} \quad (33)$$

où: $R(t)$ - fiabilité (traduction du terme anglo-saxon: Reliability) à l'instant t ,
 $N(t)$ - nombre de survivants à cet instant t ,
 $N(0)$ - nombre d'articles pris à l'instant de départ ($t = t_0$),
 Δt - intervalle de temps.

A cette notion de fiabilité, on a la fonction complémentaire $F(t)$ qui exprime la défaillance (fonction requise non accomplie).

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (34)$$

où: $F(t)$ - probabilité de défaillance.

Pour une meilleure approximation de la fiabilité (ou de la fonction de défaillance), une analyse d'un échantillon important en saisies s'avère nécessaire.

A cet effet, on utilise les lois statistiques et ce pour avoir les caractéristiques principales telles que la moyenne, l'écart-type, etc... et surtout pour mieux apprécier cette notion de qualité dans le temps [43].

Dans notre travail "étude du comportement des fibres à la fatigue lors de leur transformation" cette théorie semble être d'un bon apport. Les investigations sur l'évolution de la qualité des matières textiles (fibres et fils), lors de leur traitement, vont nous permettre d'une part d'expliquer certains phénomènes de casses de ces matériaux et d'autre part de prendre des décisions technologiques les plus adéquates.

4.4.2. Paramètres d'étude

Lors de la transformation des matériaux textiles (fibres), on s'intéresse souvent au nombre de casses de ces fibres ou fils, celui-ci peut donc être représenté comme étant la défaillance. Toutefois, pour y arriver à ce stade (rupture du matériau en question), un certain temps d'utilisation s'y présente et, dans notre cas, il est dicté par le nombre de

sollicitations (cycles). Pour un échantillon donné, le nombre de sollicitations varie, sa moyenne devient une caractéristique importante du point de vue fiabilité.

4.4.2.1. Défaillance

Pour un nombre $N(i)$ de fibres données, soumises à un traitement, après un nombre de sollicitations T , on assiste à une casse de $\Delta N(i)$. Dans une situation pareille, on estime le taux de défaillance par:

$$\lambda(T) = \frac{\Delta N(i)}{N(i) \cdot T} \quad (35)$$

où: $\lambda(T)$ - nombre de casses, ramené à l'unité de sollicitations.

Quant au taux de défaillance instantané, il est défini comme suit:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

où: $f(t)$ - densité de probabilité de défaillance.

4.4.2.2. Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF)

Pour mieux apprécier le processus technologique, l'évolution de la moyenne du nombre de sollicitations est nécessaire. En fiabilité, celle-ci est désignée par la "MTBF" (moyenne des temps de bon fonctionnement); dans notre cas, c'est la moyenne du nombre de sollicitations juste avant la casse de la matière textile.

Cette MTBF n'est qu'un indicateur de la fiabilité, il représente l'espérance mathématique des défaillances et se calcule comme suit [42]:

$$MTBF = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (36)$$

Cette moyenne n'est que l'aire comprise entre la courbe de fiabilité $R(t)$ et les axes du plan (abscisses: nombre de sollicitations; ordonnées: valeurs de la fiabilité $R(t)$), voir figure 10.

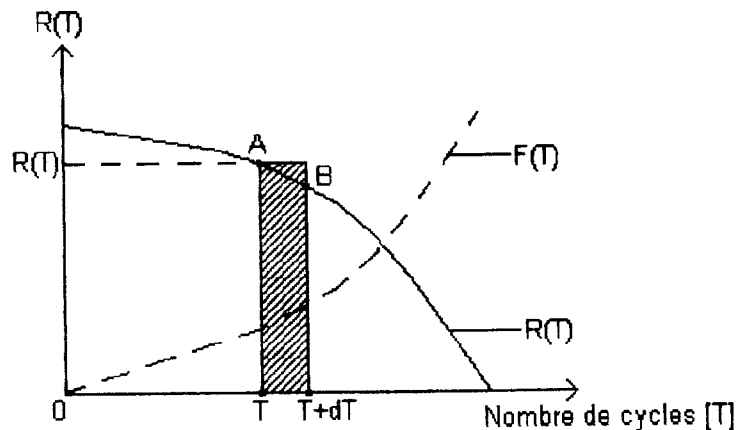


Figure 10: Courbes de fiabilité et de défaillance.

4.4.2.3. Calcul de la fiabilité

Elle est généralement notée $R(t)$ et représente la fonction probabilité complémentaire de la fonction de répartition $F(t)$. Cette dernière représente la probabilité de défaillance dans l'intervalle $[0,1]$ et égale à:

$$F(t) = \int_0^T f(t) dt$$

où: $f(t)$ - densité de probabilité.

Pour l'interprétation des résultats d'une série d'essais de matières textiles, il est plus rationnel de caractériser la fiabilité par une loi de distribution développée par les fonctions différentielles ou fonctions intégrales. Cette étude révèle une importance primordiale pour l'estimation de cette distribution de défaillance.

En conclusion, on peut dire que, pour une estimation réelle de la plupart des indices de fiabilité, il est nécessaire de passer par l'étude d'une loi de distribution.

4.5. DISTRIBUTION LOGARITHMIQUE NORMALE

Cette distribution est utilisée très souvent pour l'interprétation des résultats d'essais des matières dont la destruction est atteinte après l'action des forces extérieures polycycliques. Tel type d'action peut être envisagé comme variation de contrainte normale variable de signes opposés, ce qu'on peut rencontrer au cours de la flexion répétée (multiple) des fibres textiles. Ceci donne la possibilité de prouver la fatigue des fibres au niveau de la structure moléculaire.

La distribution logarithmique normale décrit une variable aléatoire $Z = \log x$ et distribuée suivant une loi normale; autrement dit pour les valeurs Z , on peut utiliser toutes les équations inhérentes à la loi normale, sauf éventuellement, pour une certaine exception.

La densité de probabilité de la loi normale logarithmique à 2 paramètres, s'exprime par la formule suivante:

$$f(x) = \left(\frac{1}{x\sigma_z\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(\log x - \bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} \quad (37)$$

où: \bar{z} - la valeur moyenne,

Le domaine d'existence de la fonction de la loi logarithmique normale est tel que x soit strictement positif $x > 0$.

La fonction intégrale de la distribution logarithmique normale de défaillance peut être représentée par la formule suivante:

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma_z\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(\log x - \bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} d\log x \quad (38)$$

Pour commodité de calcul, les formules 37 et 38 peuvent être successivement remplacées par les expressions suivantes:

$$f(x) = \frac{M}{\sigma_z X} F_0\left(\frac{\log x - \bar{Z}}{\sigma_z}\right) \quad (39)$$

$$F(x) = F_0\left(\frac{\log x - \bar{Z}}{\sigma_z}\right) \quad (40)$$

où: $M = 0,43$ - coefficient de transformation de log naturel en log décimal,
 F_0 - fonction tabulée [43].

4.6. AUTRES TYPES DE DISTRIBUTION

Selon les lois statistiques, le modèle de Gauss (ou la loi logarithmique normale) n'est qu'un cas particulier de la loi de Weibull. En effet, la loi normale est un modèle à deux paramètres, en revanche la loi de Weibull est caractérisée par trois paramètres. De ce fait, elle répond à plusieurs situations.

La fonction de répartition des défaillances obéissant à cette loi est de la forme:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - R(t) \quad (41)$$

où: β - paramètre de forme,
 γ - paramètre de position,
 η - paramètre d'échelle.

On remarque que si $\gamma = 0$ et $\beta = 1$ on retrouve la loi exponentielle.

Aussi quand $\beta > 3$, on retrouve l'évolution de la fiabilité du type "branche de la courbe en cloche".

Cette loi est généralement utilisée quand le taux de défaillance est aléatoire. Dans le cas où, celui-ci est constant, on applique la loi exponentielle de forme:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (42)$$

SYNTHESE

Comme les fibres textiles subissent plusieurs opérations technologiques pour aboutir aux produits finis (fils ou tissus), elles sont donc soumises à diverses sollicitations. La résistance à la traction est en général, l'indice de qualité le plus recommandé.

Sur ce, nous proposons d'évaluer un autre paramètre définissant mieux la qualité du matériau en question. Celui-ci est caractérisé par l'indice de solidité qui reflète la résistance à la fatigue tout en tenant compte du phénomène de l'extension.

Parmi les points essentiels relatifs à l'endurance, nous retenons :

- Le comportement à la traction constitue l'une des caractéristiques fondamentales des matières textiles. Néanmoins, les constituants des produits finis sont également soumis à des torsions, ou des flexions et il faudra évaluer leurs résistances.
- Comme la fatigue à la flexion revêt un caractère complexe et intéressant à la fois, la présente étude a été entreprise pour examiner la performance des fibres sous contraintes de flexions répétées. Celles-ci ayant subi différents traitements technologiques pour aboutir à un produit hautement structuré, il serait intéressant de modéliser les limites de défaillance de ces matériaux.

Ainsi, nous pensons à priori et à travers cette revue bibliographique que, la détermination du nombre de cycles de sollicitations admissibles, contribue à arrêter la tenue à la fatigue de ces matériaux fibreux.

CHAPITRE V

EXPERIMENTATION

CHAPITRE V

5. EXPERIMENTATION

5.1. BUT

Les fibres de coton subissent des sollicitations diverses au niveau de la filature. Notre étude consiste à l'analyse de l'endurance en flexion répétée.

A cet effet, notre attention sera portée sur le comportement des fibres à la fatigue au cours du traitement technologique pour l'obtention du fil peigné. Selon le passage en revue de la bibliographie, notre étude sera complétée par la caractérisation à la traction des fibres ayant été soumises à l'endurance.

5.2. TECHNIQUES DE MESURES

La résistance aux flexions répétées a été déterminée au moyen du flexiomètre pour fibres "SINUS type FM - 08", du laboratoire de l'institut national des industries manufacturières.

Cet appareil permet de soumettre à la flexion répétée 10 fibres simultanément, ce qui permet de réaliser des essais de type multiple (figure 11). L'une des extrémités des fibres, est retenue par la pince supérieure. Quant à l'autre extrémité, guidée par les fentes de la pince inférieure, elle est soumise à une charge variant de 0,5g à 5g.

Pendant l'essai la pince supérieure oscille de $\pm 90^\circ$ par rapport à la position initiale. Ce déplacement angulaire de 180° est effectué à un rythme de 120 cycles par minute, d'après un rayon de courbure de $0,2\text{mm} \pm 10\%$ [44].

Afin de diminuer l'oscillation de la fibre, la flexion est réalisée au centre de rotation de la pince supérieure et les contre poids sont placés à l'intérieur des guides. L'appareil est pourvu d'un compteur de cycles et d'un avertisseur sonore en cas de rupture de la fibre .

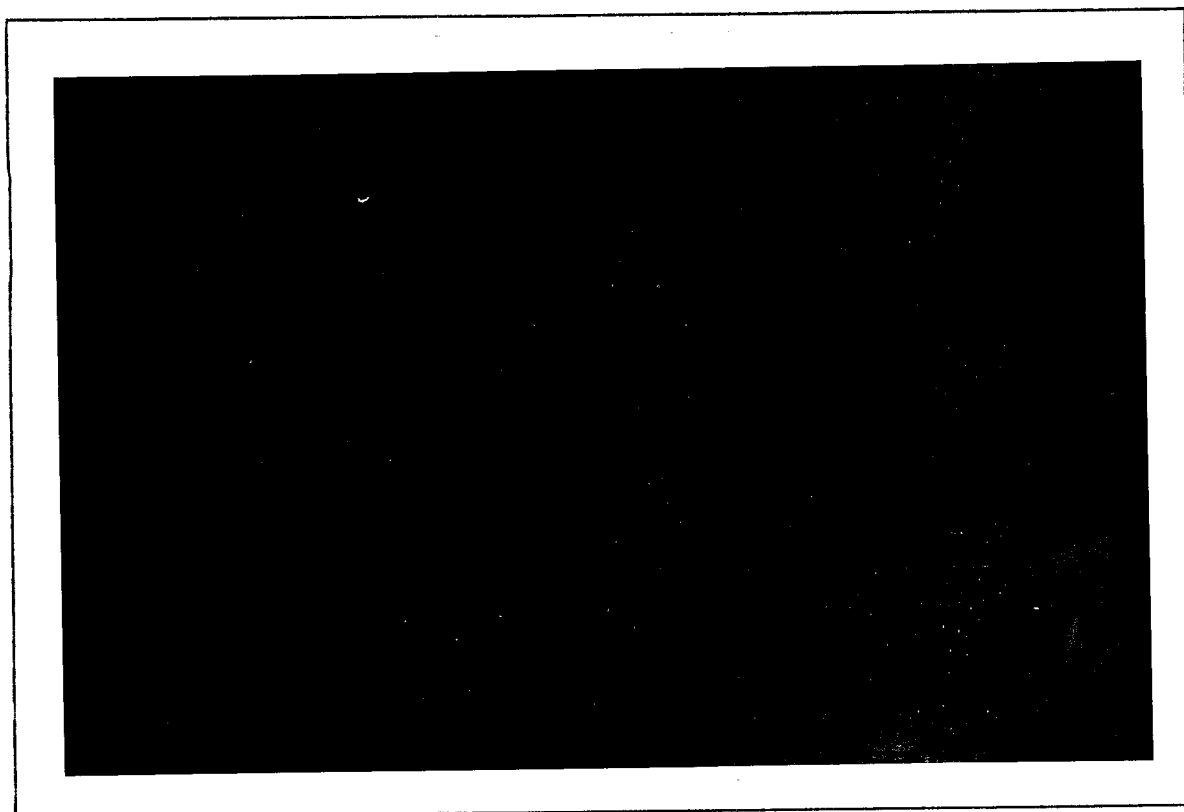


Figure 11: Flexiomètre "SINUS type FM - 08".

Les essais de fatigue des matériaux comme ceux réalisés avec le flexiomètre sont, en général, très longs, sauf dans le cas où la fibre est surchargée avec un contre poids hors proportion. Dans ces circonstances, la fibre est soumise à des oscillations composées (flexion-traction) et ceci rend difficile la détection du facteur principal causant la rupture [13, 45]. Pour contourner cette difficulté, nous avons préféré surcharger relativement peu la fibre.

A cet effet, la fibre est soumise beaucoup plus à la flexion multiple qu'à la traction qui peut être donc négligée. Toutefois, l'inconvénient est que, cette démarche nécessite un temps d'investigation important. Pour y remédier, on a recours à la méthode d'échantillonnage, soit un traitement statistique des résultats.

D'une façon générale, le phénomène de fatigue des matériaux suit la loi statistique de Weibull [13] et selon certains auteurs [46], les fibres soumises à la flexion répétée sont assujetties au même phénomène de fatigue, interprétable par cette même loi. Toutefois, dans notre cas, cette loi n'a été appliquée que pour un seul demi-produit.

Ainsi, nous avons jugé utile de traiter ce problème dit de "fatigue" au niveau de certains passages technologiques. Pour cela, nous avons procédé de la façon suivante:

- analyse de faisceaux fibreux, (au nombre de 30) pour chaque demi produit,
- détermination du nombre de cycles causant la rupture.

A la suite de ces tests préliminaires, nous avons pu sélectionner une gamme du nombre de cycles pour chaque demi-produit et ce, en conformité du processus technologique. D'autres faisceaux identiques sont testés à la traction après avoir été soumis à ces fréquences de flexion répétée. Ce qui nous a permis d'examiner l'évolution de la charge à la rupture en fonction du nombre de cycles.

5.3. ESSAIS A LA FATIGUE

5.3.1. Conditions d'expérimentations

Nous avons prélevé des échantillons, au niveau de chaque passage de la ligne technologique, de la matière première au fil peigné, de numéro métrique 50, au sein du département filature de Draa Ben Khedda. Ces prélèvements ont été effectués en fin de chacune des zones de traitement présentés sur la figure 12.

Afin d'avoir une approche plus fiable de cet ensemble d'expériences, il serait souhaitable de reproduire au mieux les conditions de traitement des fibres au niveau des usines de transformation. A cet effet, nous avons utilisé, pour la première partie, des fibres de coton pur, quant à la deuxième étape, des éprouvettes similaires, composées d'un mélange coton-polyester ont été testées.

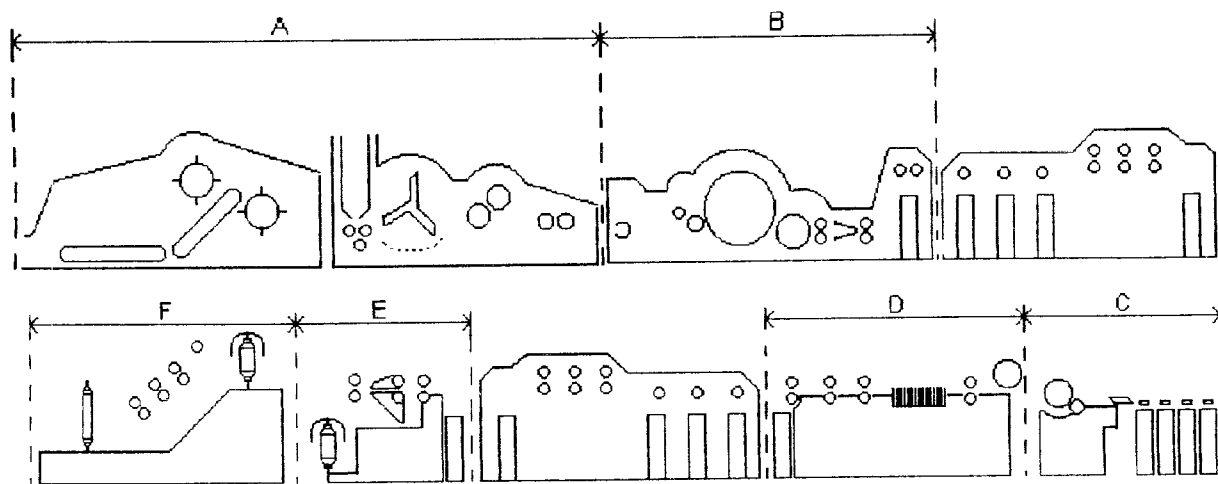


Figure 12: Ligne technologique de filature.
 Zones de prélèvements des échantillons: A, nappe;
 B, ruban cardé;
 C, rubans réunis;
 D, ruban peigné;
 E, mèche;
 F, fil.

5.3.2. Analyse à la fatigue

Les conditions de cette analyse sont résumées dans le tableau IV, avec comme matière le coton d'origine malienne.

TABLEAU IV: Caractéristiques des fibres de coton brut.

Longueur stapple (mm)	Titre (Tex)	Ténacité (cN/Tex)	Allongement à la rupture (%)	Impuretés (%)	Microclimat
27÷28	0,18	27,6	7	3,4	t° = 20° ± 2 °C HR = 65% ± 2 %

A cet effet, nous avons préparé, selon la norme GOST 3274-0-72, un ruban définitif à partir duquel nous avons confectionné 30 faisceaux de 10 fibres chacun, afin d'exclure l'influence de la différence de maturité et d'irrégularité de la finesse des fibres et ceci pour chaque échantillon prélevé.

Avant de procéder à l'essai, nous avons collé les faisceaux de 10 fibres sur des cadres en papier pour faciliter leur manipulation sans endommagement (figure 13). La distance entre les deux extrémités est fixée à 10 mm [47].

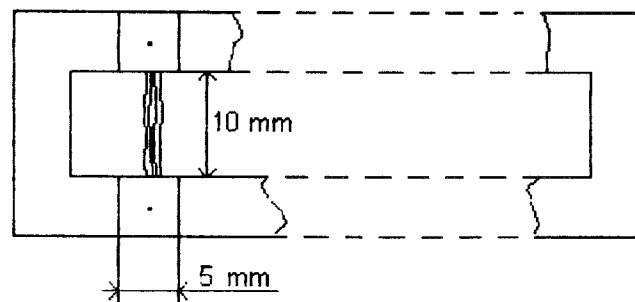


Figure 13: Schéma de montage des fibres sur le papier.

Après cela, nous avons coupé le cadre de telle manière que le faisceau de fibres reste au centre du carré $5 \times 5 \text{ mm}^2$ et nous avons percé le centre de chaque carré à l'aide d'une aiguille et d'une pince [47].

Un poids convenable de masse $2,5 \text{ mg}$ a été suspendu à partir de ce centre percé de la languette, à l'extrémité du faisceau de fibres pour le garder tendu sous une tension constante.

Ce poids a été appliqué sans tenir compte de la finesse ou de l'épaisseur de la paroi. Toutefois, il équivaut approximativement à $1/10$ de la résistance du faisceau à la rupture.

L'appareillage décrit précédemment est présenté avec le montage des fibres sur la figure 14 ci-après.

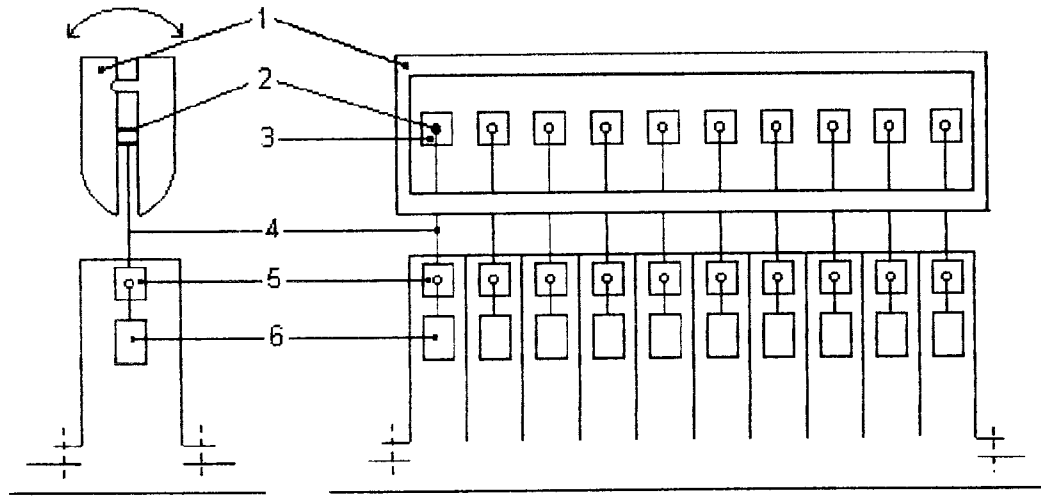


Figure 14: Montage des fibres sur le flexiomètre.

- 1 - Tête de guidage. 2 - Aiguille de fixation.
- 3 et 5 - Papier de montage. 4 - Faisceau de fibres. 6 - Contre poids.

5.3.3. Essais de dynamométrie

Lors de cette deuxième partie expérimentale, la matière à analyser du point de vue dynamométrie, devrait être soumise auparavant au phénomène de fatigue. Plusieurs échantillons prélevés au niveau de chaque passage de la chaîne de filature, sont en plus soumis à des sollicitations en flexion sous un nombre arrêté de cycles déterminés à partir de tests préliminaires. Ces éprouvettes sont ensuite testées à la traction, paramètre dynamométrique important [48].

Quant aux autres conditions d'essais, nous avons pris des fibres identiques à celles décrites précédemment. Enfin, pour le test proprement dit, il a été réalisé au niveau du complexe (COTITEX) de Sebdo et ce avec l'appareil dit "Fafegraph". Cet instrument est utilisé pour les fibres individuelles et en faisceaux.

Les tests sur faisceaux de 10 fibres sont effectués sur le Fafegraph. Cet appareil fonctionne d'après le principe du gradient d'allongement constant.

La mise en place de cet appareil doit s'effectuer dans un micro-climat standard $t = 20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ et $\text{HR} = 65 \% \pm 2 \%$.

La pince supérieure est en liaison avec le dispositif électronique de mesure de la ténacité. La gamme de mesure de la force varie de 10 cN, 1 N, 10 N et 100 N avec une précision de 0,5 %. La pince inférieure est actionnée vers le bas à vitesse constante. L'écartement entre les pinces est réglable dans une gamme de 5 à 50 mm. L'appareil est équipé d'un enregistreur (force allongement), travaillant d'après le principe de compensation. Le papier du diagramme est actionné d'une façon synchrone avec la pince de traction.

L'échelle est commutable de 10 à 200 % de la gamme nominale du transmetteur (tête de mesure), et l'échelle des allongements qui varie de 0,5 à 100 %. La vitesse de traction est réglable sous palier de 0,1 à 300 mm/min [49].

A cet effet, nous avons procédé à des essais préliminaires pour déterminer la gamme correspondante au faisceau de fibres. Cette gamme est choisie de telle sorte que la charge maximale ne dépasse pas 10 cm de papier d'enregistrement.

5.4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.4.1. Sollicitations en flexion

Pour la matière première, les résultats expérimentaux obtenus sont présentés sur le tableau V et les autres résultats des demi- produits sont en annexes (tableaux VI à XI).

On relève que pour ces faisceaux testés, les résultats varient de 34×10^3 à 92×10^3 cycles donnant la rupture. Pour pouvoir entamer une analyse, il serait donc souhaitable de les représenter graphiquement. Cette évolution de la fréquence du nombre de cycles, causant l'endommagement est représentée sur le graphe de la figure 15.

TABLEAU V: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres brutes.

i	xi	z=logxi	fréquence	quantile
1	34925	4,5431	0,0167	-1,9571
2	36895	4,5670	0,0500	-1,7580
3	38983	4,5909	0,0833	-1,5583
4	40482	4,6073	0,1167	-1,4214
5	41490	4,6179	0,1500	-1,3321
6	43798	4,6415	0,1833	-1,1357
7	46156	4,6642	0,2167	-0,9455
8	46802	4,6703	0,2500	-0,8950
9	48447	4,6853	0,2833	-0,7697
10	51874	4,7149	0,3167	-0,5217
11	54645	4,7376	0,3500	-0,3329
12	56998	4,7559	0,3833	-0,1800
13	58276	4,7655	0,4167	-0,0995
14	60278	4,7802	0,4500	0,0230
15	60943	4,7849	0,4833	0,0629
16	63854	4,8052	0,5167	0,2321
17	64784	4,8115	0,5500	0,2846
18	67040	4,8263	0,5833	0,4088
19	67668	4,8304	0,6167	0,4426
20	68376	4,8349	0,6500	0,4804
21	69756	4,8436	0,6833	0,5529
22	71850	4,8564	0,7167	0,6602
23	74698	4,8733	0,7500	0,8012
24	79712	4,9015	0,7833	1,0370
25	80443	4,9055	0,8167	1,0701
26	82000	4,9138	0,8500	1,1396
27	86705	4,9380	0,8833	1,3421
28	86868	4,9389	0,9167	1,3489
29	90144	4,9549	0,9500	1,4832
30	91359	4,9608	0,9833	1,5318
somme	1866249	143,3213		
moyenne	62208,3000	4,7774		
écart type	16954,8367	0,1197		
log moyenne	4,7938			
CV	27,2549			

$$P_i = \frac{(i-0,5)}{n}$$

où: P_i - fréquence du nombre de cycles,
i - ordre d'apparition du nombre de cycles au niveau de la rangée,
n - nombre d'essais .

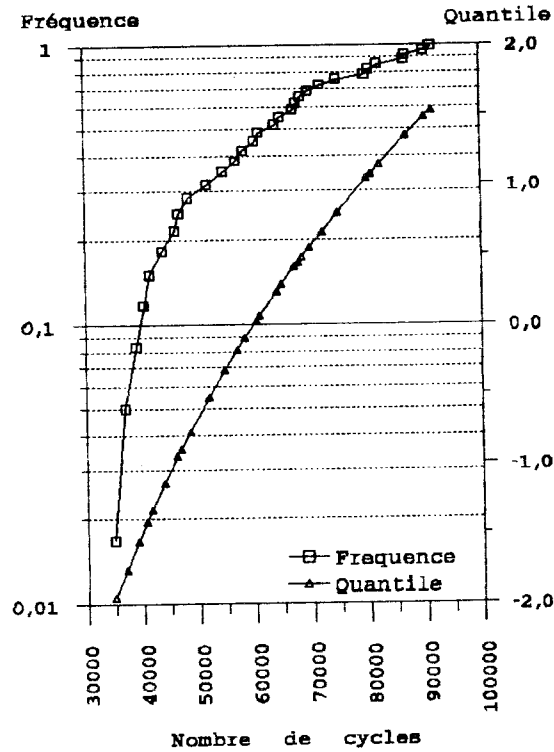


Figure 15: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres de coton brut.

A travers cette évolution, nous pensons, à priori, que celle-ci est de type logarithmique et ce caractère est valable pour les autres demi-produits figures 16 à 21.

5.4.2. Estimation de la loi de distribution

A partir des premiers résultats d'endurance des fibres, il aurait fallu y estimer la loi de distribution correspondante. Dans un premier temps, nous prenons comme hypothèse une distribution de type gaussien. En tenant compte du nombre d'essais, cette estimation se concrétise par l'évaluation de certains critères qui sont d'une part les facteurs d'asymétrie et d'aplatissement et d'autre part le facteur composé [50].

Du fait du nombre d'essais élevé, nous abordons nos calculs selon un regroupement en classes dont le nombre est de l'ordre : $k \approx 1 + 3,4 \log n$.

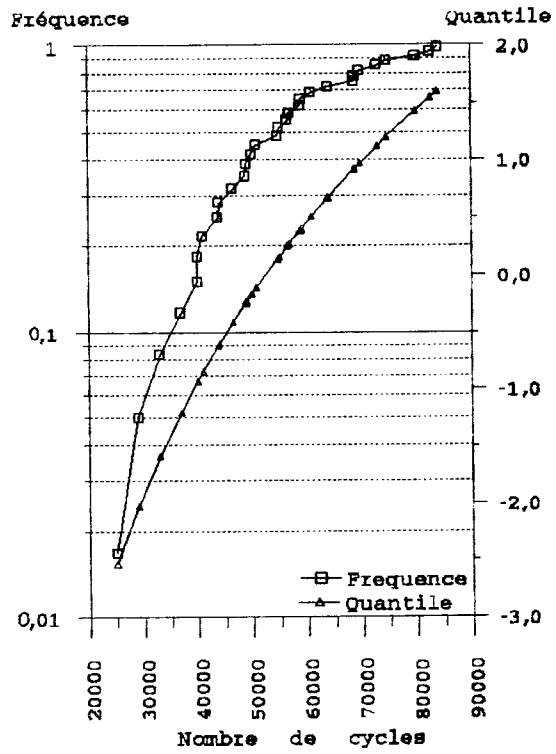


Figure 16: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres de la nappe.

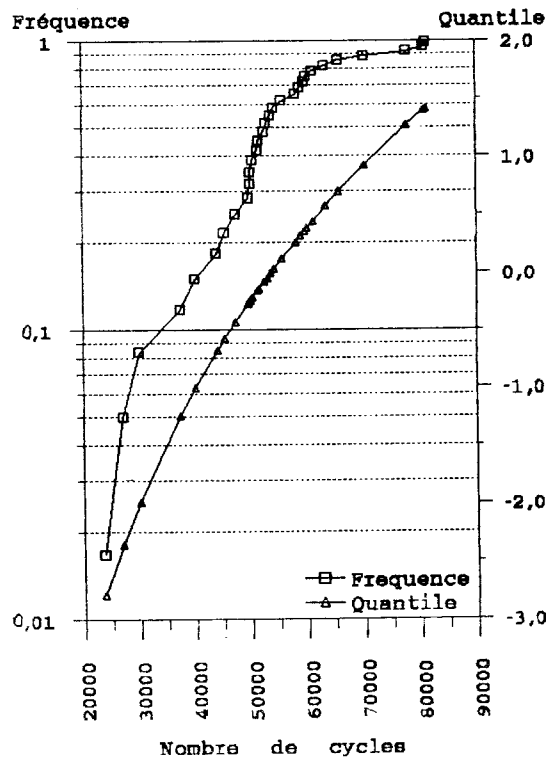


Figure 17: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres du ruban cardé.

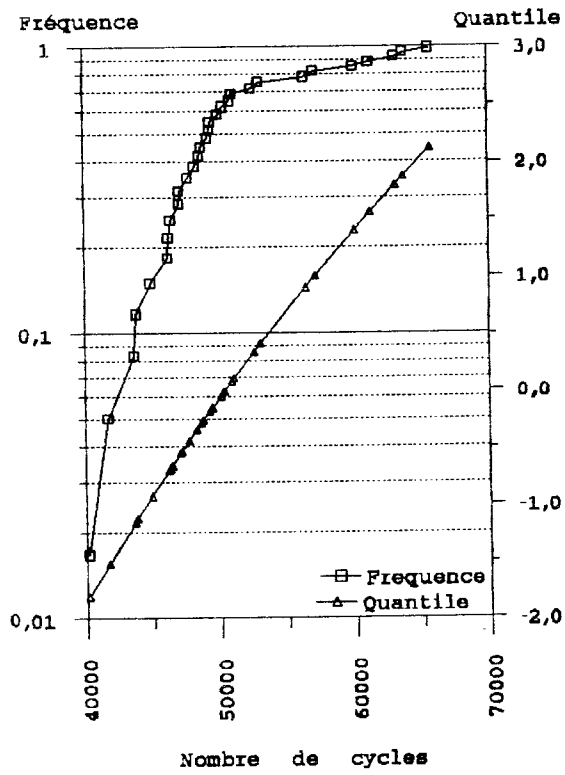


Figure 18: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres de rubans réunis.

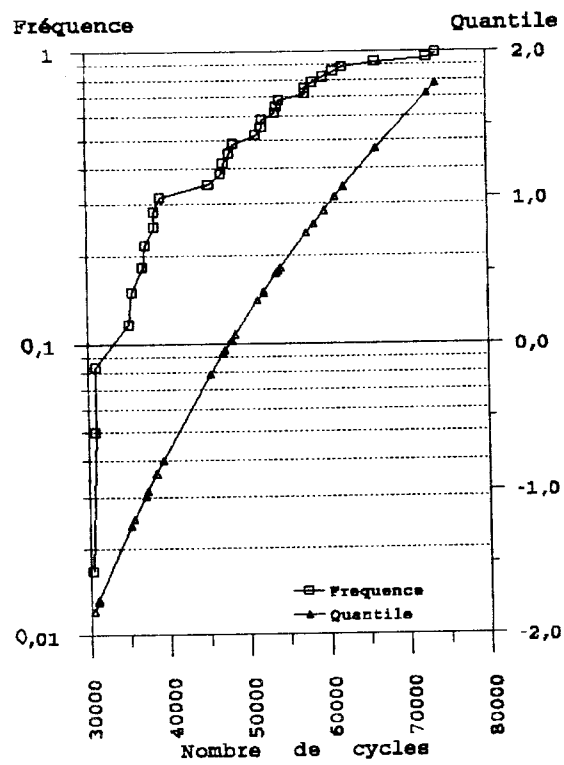


Figure 19: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres du ruban peigné.

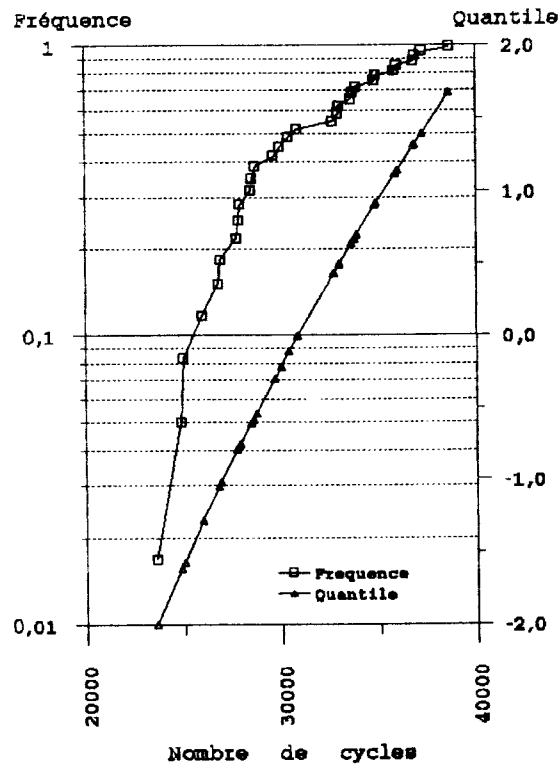


Figure 20: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres de la mèche.

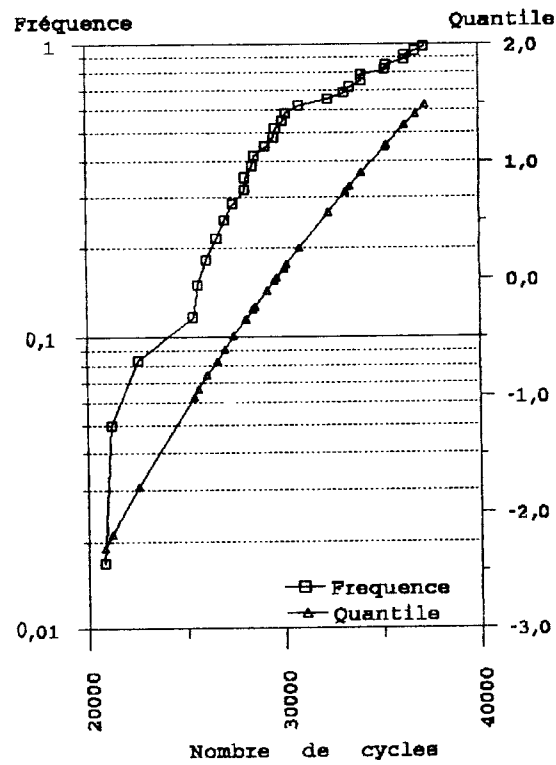


Figure 21: Distribution du nombre de cycles d'endurance des fibres du fil.

a) - moyenne:

$$\bar{x} = \frac{\sum(\bar{x}_i m_i)}{\sum m_i} \quad (43)$$

où: \bar{x}_i - moyenne du nombre de cycles dans chaque classe,
 m_i - fréquence de chaque classe.

b) - Ecart type des résultats de distribution:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum m_i}} \quad (44)$$

c) - Moment conventionnel d'asymétrie:

$$\mu_3 = \frac{\sum[(\bar{x}_i - \bar{x})^3 m_i]}{\sum m_i} \quad (45)$$

d) - Facteur d'asymétrie:

$$A_s = \frac{\mu_3}{(\sigma_x)^3} \quad (46)$$

e) - Moment conventionnel d'aplatissement:

$$\mu_4 = \frac{\sum[(\bar{x}_i - \bar{x})^4 m_i]}{\sum m_i} \quad (47)$$

f) - Critère d'aplatissement:

$$A_p = \frac{\mu_4}{(\sigma_x)^4} - 3 \quad (48)$$

D'après ces calculs, les résultats obtenus, pour le coton brut, sont présentés sur le tableau XII.

Ce tableau, nous montre que la distribution de solidité des fibres à la flexion multiple a une asymétrie positive et un aplatissement négatif. Une fois avoir déterminé ces critères, nous les comparons avec les valeurs théoriques en tenant compte des incertitudes des erreurs de ces mêmes critères. Ces valeurs sont calculées par les formules suivantes:

g) - Critère d'asymétrie,

$$\Delta_{as} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} = 0,412 \quad (49)$$

h) - Critère d'aplatissement,

$$\Delta_{ap} = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} = 0,748 \quad (50)$$

$$A_s = 0,129 < \Delta_{as}$$

$$A_p = -1,044 < \Delta_{ap}$$

Puisque les valeurs calculées d'asymétrie et d'aplatissement sont respectivement inférieures à celles théoriques, nous pouvons accepter l'hypothèse de la distribution normale.

Par ailleurs, nous avons estimé la correspondance de cette distribution par les critères composés d et m, avec les formules suivantes:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n\sigma} \quad (51)$$

où: n - nombre d'essais,

σ - écart type.

TABLEAU XII: Calcul d'asymétrie et d'aplatissement de la matière première.

Numéro	Classe	Valeur moyenne $\bar{x}_i \cdot 10^3$	Fréquence n_i	$\bar{x}_i \cdot n_i$	Ecart type au carré $\sigma^2 \cdot 10^6$	Ecart type au cube σ^3	σ^4	$\sigma^2 \cdot n_i$	$\sigma^3 \cdot n_i$	$\sigma^4 \cdot n_i$
1	34000-39999	37200	3	111000	635040000	-1,6003E+13	4,03276E+17	1905120000	-4,8009E+13	1,20983E+18
2	40000-45999	43000	3	129000	368640000	-7,07789E+12	1,35895E+17	1105920000	-2,12337E+13	4,07686E+17
3	46000-51999	49000	4	196000	174240000	-2,29997E+12	3,03596E+16	696960000	-9,19987E+12	1,21438E+17
4	52000-57999	55000	2	110000	51840000	-3,73248E+11	2,68739E+15	103680000	-7,46496E+11	5,37477E+15
5	58000-63999	61000	4	244000	1440000	-1728000000	2,0736E+12	5760000	-6912000000	8,2944E+12
6	64000-69999	67000	5	335000	23040000	1,10592E+11	5,30842E+14	115200000	5,5296E+11	2,65421E+15
7	70000-75999	73000	2	146000	116640000	1,25971E+12	1,36049E+16	233280000	2,51942E+12	2,72098E+16
8	76000-81999	79000	2	158000	282240000	4,74163E+12	7,96594E+16	564480000	9,48326E+12	1,59319E+17
9	82000-87999	85000	3	255000	519840000	1,18524E+13	2,70234E+17	1559520000	3,55571E+13	8,10701E+17
10	88000-94000	91000	2	182000	829440000	2,38879E+13	6,87971E+17	1658880000	4,77757E+13	1,37594E+18
somme			30	1866000				7948800000	1,66925E+13	4,12016E+18
moyenne				62200				264960000	5,56416E+11	1,37339E+17
écart-type								16277,59		
asymétrie									0,129011712	
aplatissement										-1,043714556
CV										26,17

Le facteur d , étant égal à 0.848, se trouve dans les limites des critères tabulés autrement dit nous avons:

$$d_{1-q/2} < d < d_{q/2}$$

avec $d_{1-q/2}$ et $d_{q/2}$ valeurs tabulées [50] en fonction du nombre d'essais.

En outre, le critère m montre le nombre des écarts supérieurs à $\sigma z_{p/2}$.

où: $z_{p/2}$ - valeur tabulée [50] (pour $n = 30$, $z_{p/2} = 2,33$, soit $\sigma z_{p/2} = 38840,77$).

D'après les valeurs d'endurance trouvées, celles-ci ne révèlent aucun écart supérieur à 38840,77. Autrement dit le facteur m est égal à 0 ($m = 0 < m \text{ tabulé} = 2$).

Par conséquent, à partir de l'évaluation de ces critères (asymétrie, aplatissement et facteurs composés), nous pouvons confirmer que la distribution des valeurs de l'endurance de cette matière première est de type logarithmique normal.

Quant aux autres demi - produits de la nappe au fil, nous avons procédé avec le même raisonnement (la même démarche de calcul, tableaux en annexes de XIII à XVIII). Nous avons pris comme hypothèse la loi logarithmique normale pour les différentes distributions relatives à la fatigue, les résultats sont présentés sur le tableau XIX:

TABLEAU XIX: Critères de distribution des demi-produits.

Matières	Titre (tex)	P_{st} (mg)	Nombre de cycles 10^3	Ecart type 10^3	CV (%)	A_s	A_p	d
Coton	0,188	2,5	62,200	16,277	26,17	0,129	-1,044	0,85
Nappe	$400 \cdot 10^3$	2,5	55,000	15,284	27,79	0,036	-0,82	0,82
Ruban cardé	4000	2,5	53,200	13,303	25	-0,026	-0,064	0,75
Réunisseuse	$62,5 \cdot 10^3$	2,5	51,000	6,249	12,25	0,77	-0,23	0,78
Ruban peigné	4000	2,5	49,350	11,815	23,94	0,26	-0,89	0,83
Mèche	588	2,5	31,150	4,170	13,39	0,059	-1,16	0,88
Fil	20	2,5	29,960	4,589	15,32	-0,109	-0,70	0,82

Selon les paramètres (A_s, A_p, d) calculés et comparés à la fonction tabulée, cette hypothèse est valable pour l'ensemble des demi-produits analysés, à l'exception de la réunisseuse. Cependant, la distribution des valeurs de l'endurance du produit de ce passage ne répond pas à la loi logarithmique normale. Le critère d'asymétrie est supérieur à la valeur tabulée, ce qui nous amène à conclure que cette hypothèse n'est pas adéquate.

A cet effet, nous avons opté pour une approximatation à la loi de Weibull. Aussi, nous avons utilisé le test de Kolmogorov-Smirnov. Quant aux autres paramètres de cette loi, ils sont :

- $\eta = 10^3$ paramètre d'échelle,
- $\beta = 1,4$ paramètre de forme,
- $\gamma = 40$ paramètre de position.

soit:
$$f_i = e^{-\left(\frac{x_i - 40}{10^3}\right)^{1,4}} \quad (52)$$

L'écart maximal entre les valeurs réelles et théoriques est de: $E_{\max} = 0,21$
 Quant à l'écart limite fourni par la fonction tabulée selon Kolmogorov-Smirnov, il est de: $K_s = 0,24$ et ce pour un niveau de confiance de 5 % et le nombre d'essais égal à 30.

Etant donné que $K_s > E_{\max}$, la fonction précédente montre bien l'évolution à la fatigue des fibres étudiées au niveau de la réunisseuse.

5.4.3. Détermination de l'indice de solidité

Des résultats obtenus du tableau V, nous avons déterminé l'indice de solidité pour chaque nombre de cycles d'après la relation suivante:

$$\lambda(x) = \frac{0,43}{\sigma_z x} f_1\left(\frac{\log x - \bar{z}}{\sigma_z}\right) \quad (53)$$

- où: $\lambda(x)$ - indice de solidité pour chaque nombre de cycle,
 σ_z - écart type du nombre de cycles à l'échelle logarithmique,
 x - nombre de cycles d'endurance,
 \bar{z} - moyenne logarithmique du nombre de cycles.

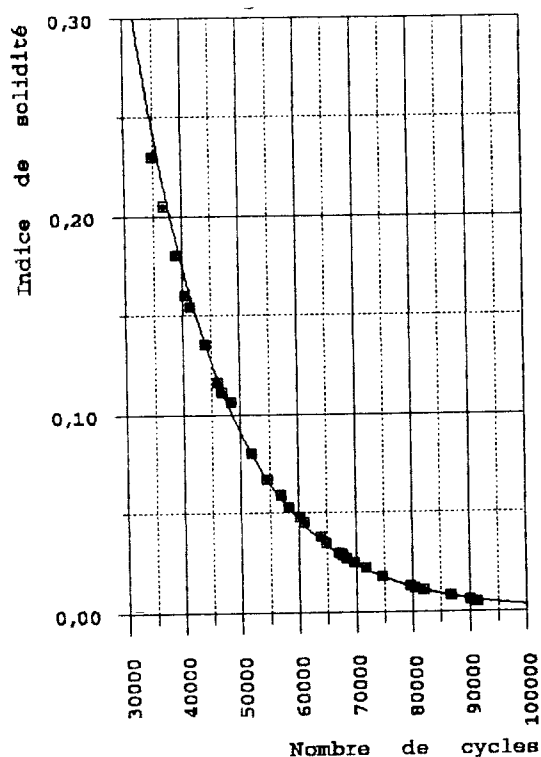
Une fois avoir calculé l'indice de solidité des fibres de coton brut (tableau XX), pour mieux analyser l'évolution de ce paramètre en fonction du nombre de cycles d'endurance, nous l'avons présenté graphiquement (figure 22).

De l'allure de cette courbe, nous pouvons distinguer trois zones distinctes:

Première zone: variant de 30.000 à 50.000 cycles, s'exprime par une chute très prononcée de l'indice de solidité et sa valeur est comprise entre 0,1 à 0,3 ;

Deuxième zone: variant de 50.000 à 70.000 cycles où la diminution de l'indice de solidité est moins prononcée que dans la zone précédente, mais plutôt progressive autrement dit ses valeurs se situent de 0,1 à 0.03 ;

Troisième zone: allant de 70.000 à 90.000 cycles où la diminution s'avère plus lente et sa valeur tend vers zéro. Ce qui revient à dire que le nombre de cycles est inversement proportionnel à l'indice de solidité et au delà d'une certaine limite de l'endurance, cet indice tend vers zéro.



$$y = 2,45 * 10^{(-0,00003x)} \quad r^2 = 0,99$$

Figure 22: Indice de solidité des fibres de coton brut.

TABLEAU XX: Indice de solidité des fibres endurées de coton brut.

i	Nombre de cycle xi	$z=\log xi$	fréquence	quantile	Indice de solidité
1	34925	4,5431	0,0167	-1,9571	0,2303
2	36895	4,5670	0,0500	-1,7580	0,2050
3	38983	4,5909	0,0833	-1,5583	0,1848
4	40482	4,6073	0,1167	-1,4214	0,1646
5	41490	4,6179	0,1500	-1,3321	0,1535
6	43798	4,6415	0,1833	-1,1357	0,1352
7	46156	4,6642	0,2167	-0,9455	0,1157
8	46802	4,6703	0,2500	-0,8950	0,1111
9	48447	4,6853	0,2833	-0,7697	0,1057
10	51874	4,7149	0,3167	-0,5217	0,0801
11	54645	4,7376	0,3500	-0,3329	0,0673
12	56998	4,7559	0,3833	-0,1800	0,0589
13	58276	4,7655	0,4167	-0,0995	0,0534
14	60278	4,7802	0,4500	0,0230	0,0476
15	60943	4,7849	0,4833	0,0629	0,0450
16	63854	4,8052	0,5167	0,2321	0,0384
17	64784	4,8115	0,5500	0,2846	0,0347
18	67040	4,8263	0,5833	0,4088	0,0303
19	67668	4,8304	0,6167	0,4426	0,0288
20	68376	4,8349	0,6500	0,4804	0,0273
21	69756	4,8436	0,6833	0,5529	0,0251
22	71850	4,8564	0,7167	0,6602	0,0221
23	74698	4,8733	0,7500	0,8012	0,0181
24	79712	4,9015	0,7833	1,0370	0,0130
25	80443	4,9055	0,8167	1,0701	0,0122
26	82000	4,9138	0,8500	1,1396	0,0106
27	86705	4,9380	0,8833	1,3421	0,0076
28	86868	4,9389	0,9167	1,3489	0,0076
29	90144	4,9549	0,9500	1,4832	0,0055
30	91359	4,9608	0,9833	1,5318	0,0053
Somme	1866249	143,3213			
Moyenne	62208,30	4,7774			
Ecart type	16954,84	0,1197			
Log moyenne	4,7938				
cv	27,25				

De cette courbe présentant l'indice de solidité en fonction du nombre de cycles d'endurance du coton brut, nous constatons qu'elle revêt la forme d'une fonction exponentielle de type suivant :

$$Y = a * 10^{-bx}$$

où: $a = 2,45124$

$b = 0,00003$

Vu que l'analyse de l'indice de solidité des autres demi-produits (tableaux de XXI à XXVI en annexes) est similaire à celle du coton brut, nous présentons les limites d'endurance et celles de l'indice de solidité de chacune des trois phases sur le tableau XXVII. Evidemment, ces limites sont relevées des graphes des figures 23 à 28.

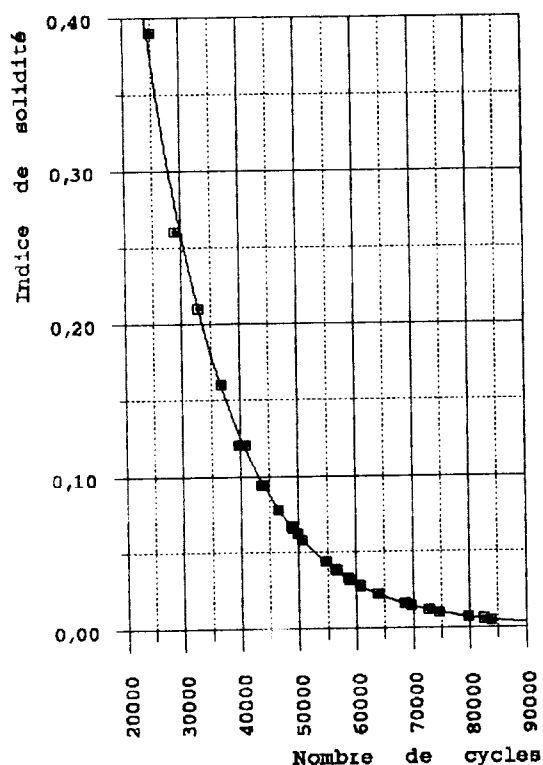


Figure 23: Indice de solidité des fibres de la nappe.

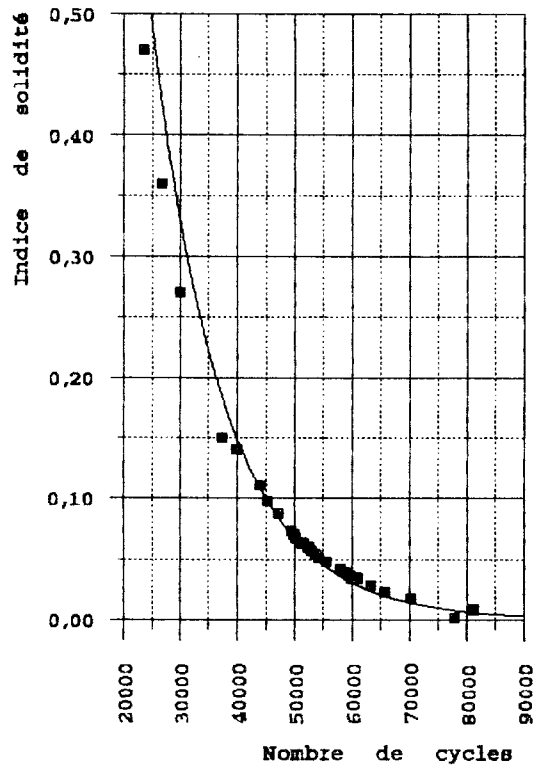


Figure 24: Indice de solidité des fibres du ruban cardé.

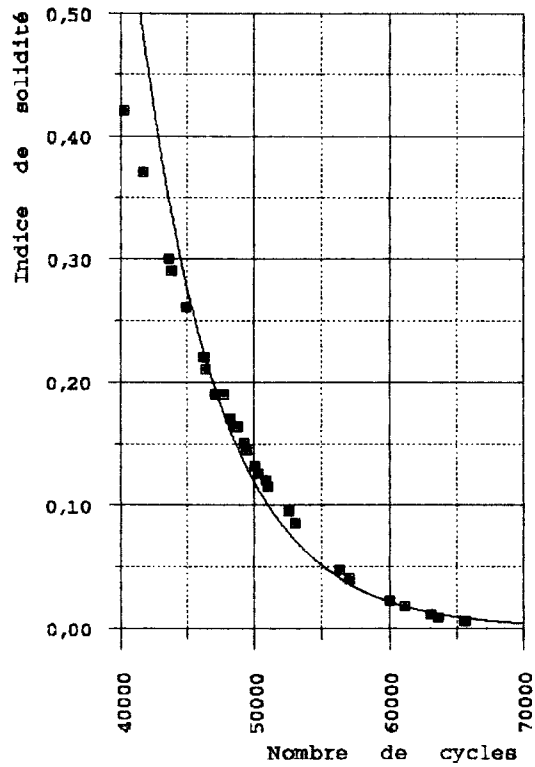


Figure 25: Indice de solidité des fibres des rubans réunis.

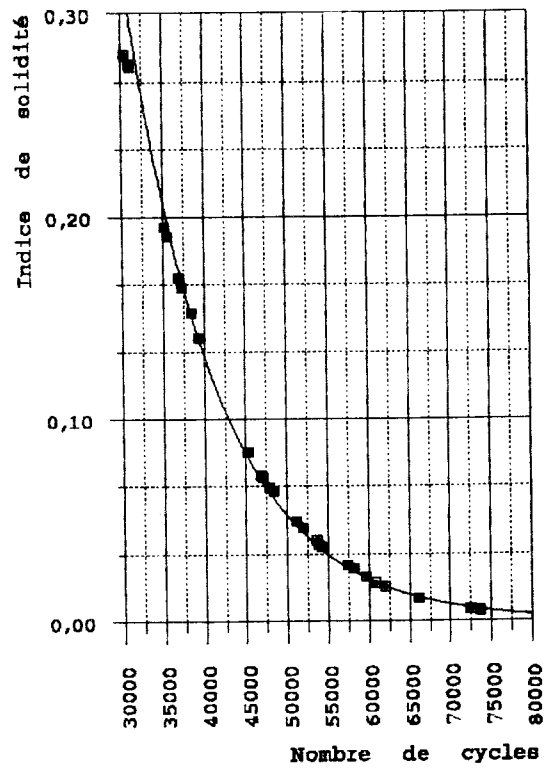


Figure 26: Indice de solidité des fibres du ruban peigné.

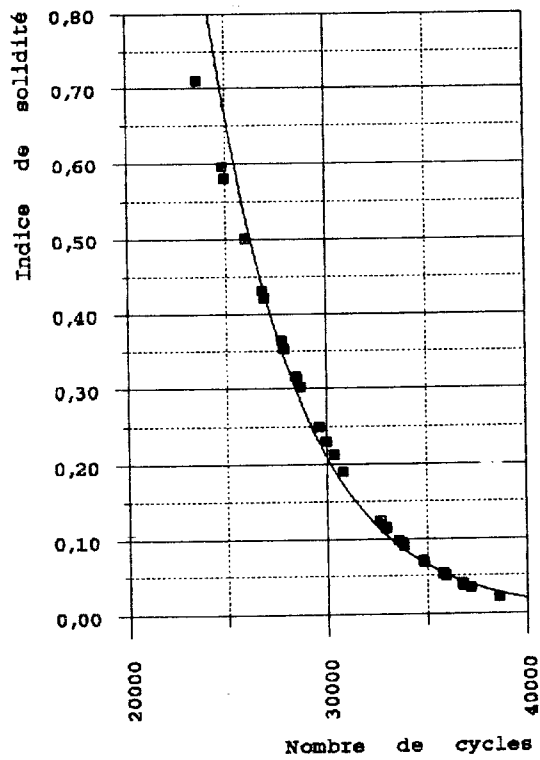


Figure 27: Indice de solidité des fibres de la mèche.

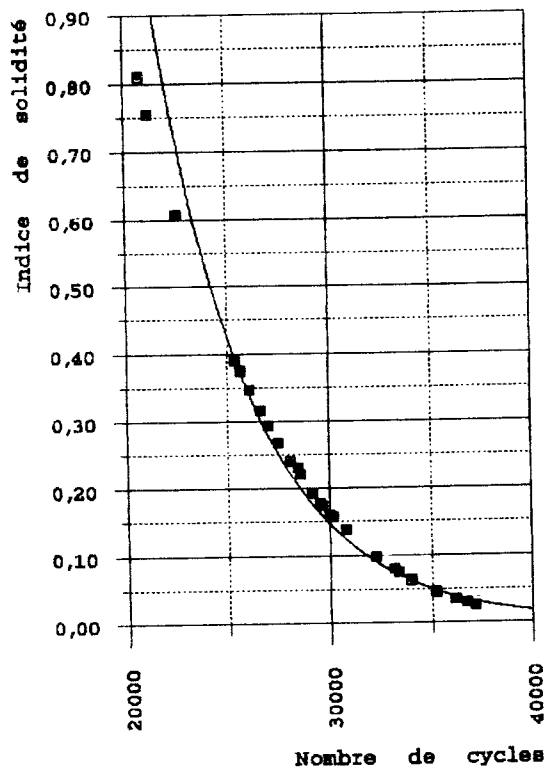


Figure 28: Indice de solidité des fibres du fil.

TABLEAU XXVII: Limites des indices de solidité des demi-produits.

Produits	1 ^{ère} phase		2 ^{ème} phase		3 ^{ème} phase	
	Nombre de cycles X	Indice de solidité λ	Nombre de cycles X	Indice de solidité λ	Nombre de cycles X	Indice de solidité λ
Matière première	30000 à 50000	$0,1 < \lambda < 0,3$	50000 à 70000	$0,05 < \lambda < 0,1$	70000 à 90000	$0 < \lambda < 0,03$
Nappe	20000 à 40000	$0,1 < \lambda < 0,4$	40000 à 60000	$0,025 < \lambda < 0,1$	60000 à 90000	$0 < \lambda < 0,03$
Ruban cardé	20000 à 40000	$0,14 < \lambda < 0,5$	40000 à 60000	$0,03 < \lambda < 0,14$	60000 à 90000	$0 < \lambda < 0,03$
Rubans réunis	40000 à 50000	$0,13 < \lambda < 0,5$	50000 à 60000	$0,03 < \lambda < 0,1$	60000 à 70000	$0 < \lambda < 0,03$
Rubans peigné	30000 à 45000	$0,08 < \lambda < 0,3$	45000 à 60000	$0,02 < \lambda < 0,08$	60000 à 80000	$0 < \lambda < 0,02$
Mèche	20000 à 30000	$0,2 < \lambda < 0,8$	30000 à 35000	$0,07 < \lambda < 0,2$	35000 à 40000	$0,01 < \lambda < 0,07$
Fil	20000 à 30000	$0,15 < \lambda < 0,9$	30000 à 35000	$0,05 < \lambda < 0,15$	35000 à 40000	$0,01 < \lambda < 0,05$

Dans tous les cas, au début des sollicitations de l'endurance nous remarquons une baisse significative de l'indice de solidité, puis cette diminution se fait plus progressivement et une fois que le nombre de cycles dépasse certaines limites, ce caractère tend vers zéro (figures 22 à 28).

Donc ce qui revient à dire que, grâce au tracé de ces courbes, le technologue ou le filateur puisse parvenir à préciser les limites de l'indice de solidité en fonction du domaine de sollicitation réelle de l'équipement utilisé en filature de l'entreprise.

5.4.4. Famille de courbes d'endurance

Ayant utilisé des valeurs moyennes de l'endurance de chaque demi-produit (du coton brut jusqu'au fil), nous pouvons les considérer comme des valeurs normatives, ce qui nous permet d'établir une caractéristique opérationnelle de la défaillance acceptée ou rejetée du produit en question d'après l'endurance aux flexions multiples.

D'après cette caractéristique, nous pouvons estimer les taux de fibres endommagées avec une probabilité donnée. Cependant, nous avons la possibilité de déterminer les relations entre la valeur moyenne et l'écart type de l'échantillon par la formule de distribution normale suivante [51]:

$$x_e - \frac{\sigma_x (U_{1-\alpha^*})}{\sqrt{n}} \geq N_{ix} \quad (54)$$

où: U - quantile ou critère de Student,
 α^* - risque de défaillance de la matière,
 n - nombre d'essais,
 N_{ix} - valeur normative inférieure de l'endurance,
 x_e - valeur moyenne,
 σ_x - écart type.

Si, à la base de cette formule, nous fixons une probabilité $P = 1 - \alpha^*$, alors nous pourrions déduire la condition suivante:

$$\sigma_x \leq \frac{x_e \cdot \sqrt{n}}{U_{1-\alpha^*}} - \frac{N_{ix} \cdot \sqrt{n}}{U_{1-\alpha^*}} \quad (55)$$

Pour que notre analyse soit plus cohérente, nous avons élargi le réseau de risque défaillance à différents niveaux de probabilité: $P_1 = 0,95$; $P_2 = 0,90$; $P_3 = 0,80$; $P_4 = 0,70$; $P_5 = 0,60$ et $P_6 = 0,55$. En se basant sur les résultats trouvés de la fatigue des demi-produits, nous avons fixé une gamme d'écart-types pour chaque niveau de probabilité.

Vu que les valeurs de l'endurance de ces produits ne s'étalent pas sur les mêmes étendues, nous étions contraints d'établir deux gammes distinctes d'écart-types:

- la première qui s'applique pour le coton brut, nappe, ruban cardé, et ruban peigné, varie de 4000 à 20000 cycles avec un intervalle de 4000 ,
- la seconde destinée pour les rubans réunis, mèche et fil, s'étend de 2000 à 10000 cycles avec un intervalle de 2000.

Une fois avoir établi ces hypothèses, nous avons déterminé les valeurs moyennes d'endurance que peut atteindre chaque demi-produit par la formule (54).

Les résultats de ces calculs sont indiqués sur le tableau XXVIII. De ces résultats, nous avons construit une famille de courbes pour chaque demi-produit (de la matière première jusqu'au fil), celles-ci révèlent la variation de leur valeur moyenne de l'endurance en fonction de leur écart-type et ceci pour chaque seuil de confiance de 5 % à 45 %.

TABLEAU XXVIII: Valeurs moyennes d'endurance des demi-produits.

Produits	Ecart type	Probabilités					
		Xe(p=0,95)	Xe(p=0,90)	Xe(p=0,80)	Xe(p=0,70)	Xe(p=0,60)	Xe(p=0,55)
Matière première	4 000	63212,98	62942,18	62615,07	62560,59	62185,09	62092,09
	8 000	64414,54	63878,51	63229,98	62944,35	62369,86	62184,10
	12 000	65616,10	64814,84	63844,89	63328,12	62554,62	62276,12
	16 000	66817,66	65751,17	64459,80	63711,89	62739,39	62368,14
	20 000	68019,22	66687,50	65074,71	64095,65	62924,15	62460,16
Nappe	4000	56211,78	55941,48	55615,07	55381,13	55185,04	55092,06
	8000	57413,34	56877,81	56229,98	55763,80	55369,81	55184,08
	12000	58614,90	57814,14	56844,89	56146,47	55554,58	55276,10
	16000	59816,46	58750,47	57459,80	56529,13	55739,34	55368,12
	20000	61018,02	59686,80	58074,71	56911,80	55924,11	55460,13
Ruban cardé	4000	54211,47	53941,48	53615,07	53381,23	53185,04	53092,06
	8000	55413,04	54877,81	54229,98	53763,90	53369,81	53184,08
	12000	56614,60	55814,14	54844,89	54146,56	53554,58	53276,10
	16000	57816,16	56750,47	55459,80	54529,23	53739,34	53368,12
	20000	59017,72	57686,80	56074,71	54911,89	53924,11	53460,13
Rubans réunis	2000	56211,78	55941,48	55615,07	55381,13	55185,04	55092,06
	4000	57413,34	56877,81	56229,98	55763,80	55369,81	55184,08
	6000	58614,90	57814,14	56844,89	56146,47	55554,58	55276,10
	8000	59816,46	58750,47	57459,80	56529,13	55739,34	55368,12
	10000	61018,02	59686,80	58074,71	56911,80	55924,11	55460,13
Ruban peigné	4000	50210,57	49941,01	49615,07	49381,33	49185,00	49092,06
	8000	51412,14	50877,34	50229,98	49763,99	49369,76	49184,08
	12000	52613,70	51813,67	50844,89	50146,66	49554,53	49276,10
	16000	53815,26	52750,00	51459,80	50529,32	49739,30	49368,12
	20000	55016,82	53686,33	52074,71	50911,99	49924,06	49460,13
Mèche	2000	31606,49	31471,21	31307,61	31190,47	31092,57	31046,03
	4000	32207,27	31939,37	31615,07	31381,80	31184,95	31092,04
	6000	32808,05	32407,54	31922,52	31573,14	31277,33	31138,05
	8000	33408,83	32875,70	32229,98	31764,47	31369,72	31184,06
	10000	34009,61	33343,87	32537,43	31955,80	31462,10	31230,07
Fil	2000	30606,49	30470,97	30307,61	30190,57	30092,57	30046,03
	4000	31207,27	30939,14	30615,07	30381,90	30184,95	30092,04
	6000	31808,05	31407,30	30922,52	30573,23	30277,33	30138,05
	8000	32408,83	31875,47	31229,98	30764,57	30369,72	30184,06
	10000	33009,61	32343,63	31537,43	30955,90	30462,10	30230,07

De ces graphes obtenus sur les figures 29 à 35, nous constatons que plus le niveau de probabilité est important, plus la différence entre les valeurs moyennes est significative (voir pente significative).

Par ailleurs, au fur et à mesure que nous diminuons ce niveau de probabilité, l'écart entre les valeurs diminue aussi progressivement (voir pente faible).

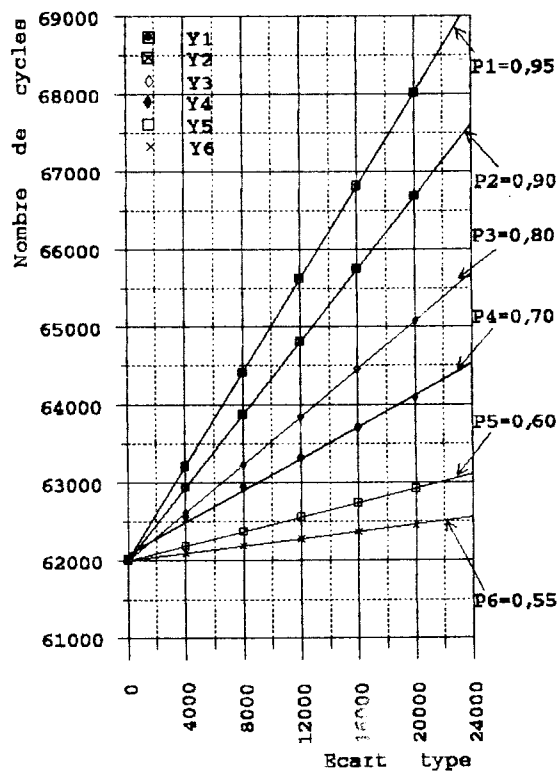


Figure 29: Valeurs moyennes d'endurance des fibres de coton brut.

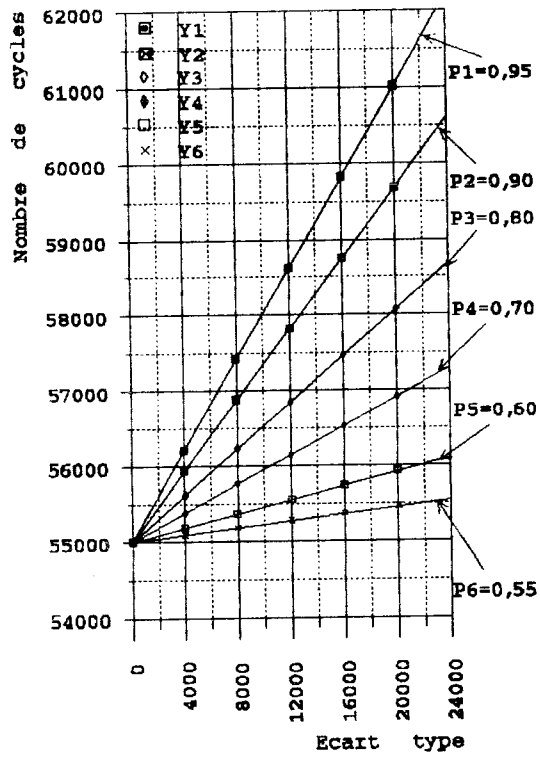


Figure 30: Valeurs moyennes d'endurance des fibres de la nappe.

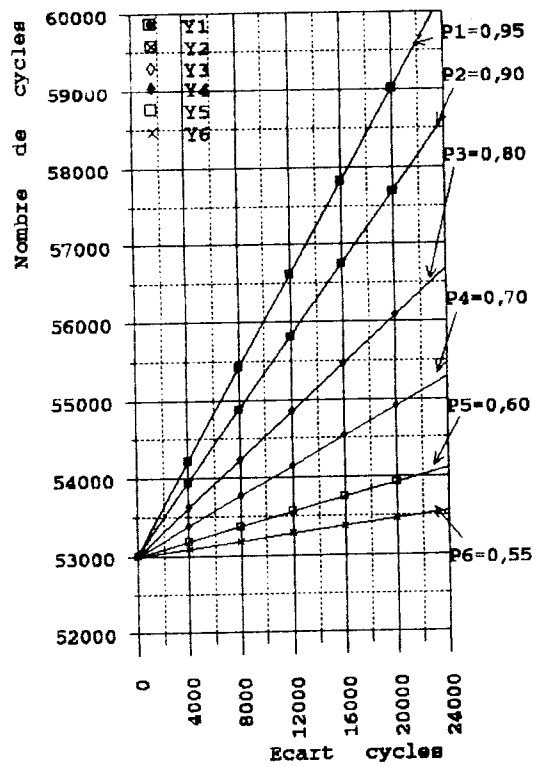


Figure 31: Valeurs moyennes d'endurance des fibres du ruban cardé.

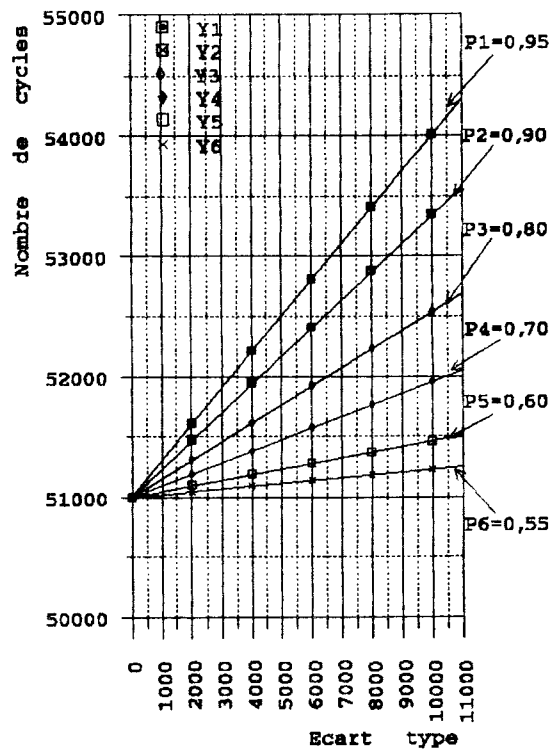


Figure 32: Valeurs moyennes d'endurance des fibres des rubans réunis.

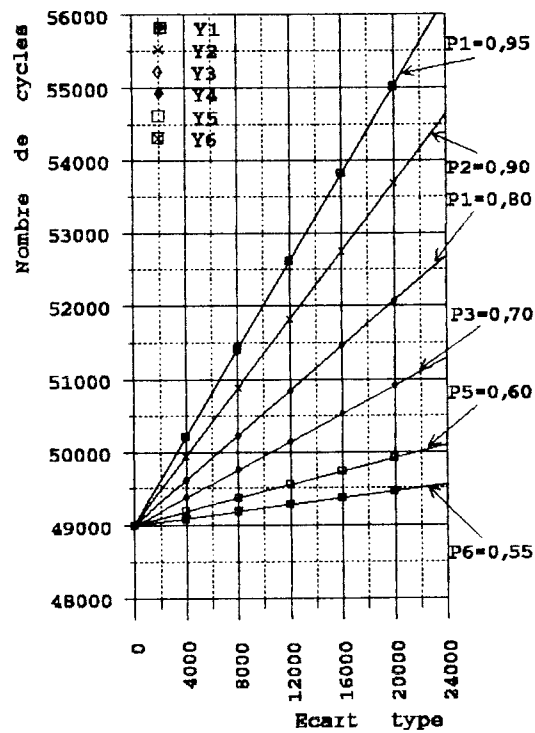


Figure 33: Valeurs moyennes d'endurance des fibres du ruban peigné.

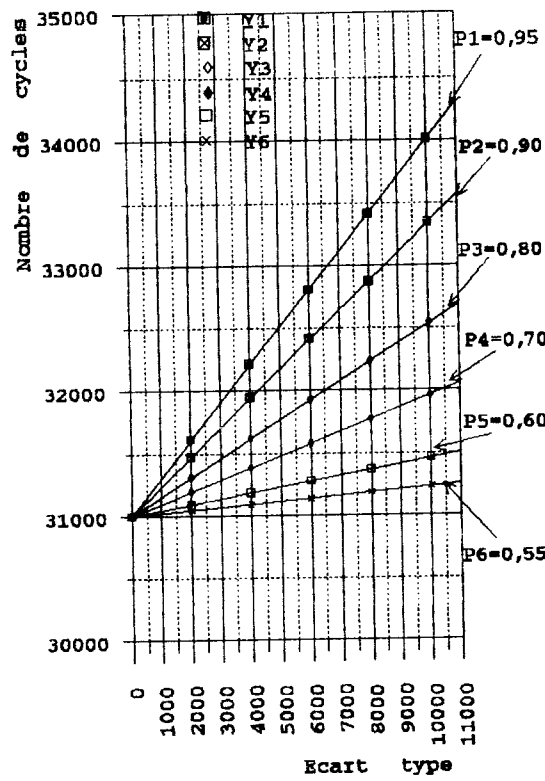


Figure 34: Valeurs moyennes d'endurance des fibres de la mèche.

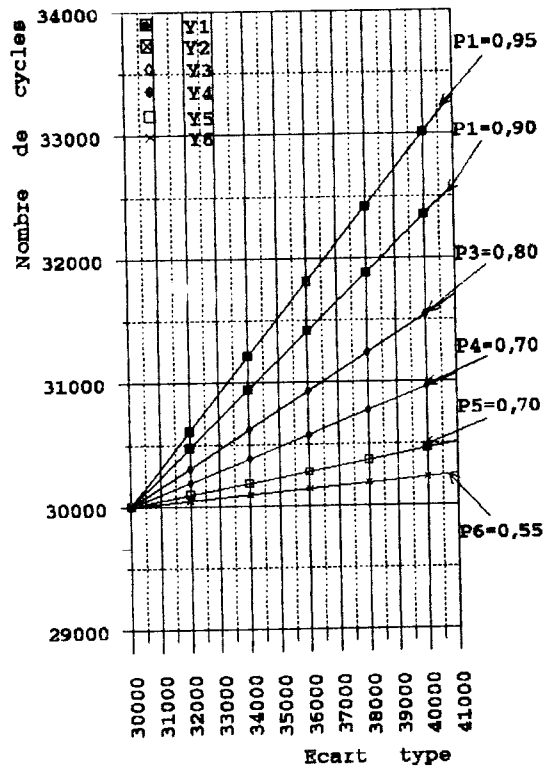


Figure 35: Valeurs moyennes d'endurance des fibres du fil.

CHAPITRE VI
DYNAMOMETRIE DES FIBRES ENDUREES

CHAPITRE VI

6. DYNAMOMETRIE DES FIBRES ENDUREES

6.1. ESSAIS DYNAMOMETRIQUES

Des premiers résultats de la fatigue, nous avons sélectionné une gamme de cycles commune à tous les demi-produits soumis à ce type de sollicitations (flexion répétée) à savoir: 5000, 10000, 15000 et 20000 cycles. Pour chaque demi-produit, nous avons préparé 30 faisceaux de 10 fibres chacun et ceci pour chaque gamme de cycles précitée, à laquelle ils ont été assujettis.

Ensuite, une fois avoir soumis ces échantillons aux fréquences de flexions répétées arrêtées, nous leur avons fait subir les tests à la traction au moyen du dynamomètre pour fibres dit "Fafégraph",

6.1.1. Méthode d'essais

Ces essais sont réalisés à la base des normes DIN 53806 et ASTM D76. En plus de la charge à la rupture, ils nous donnent l'allongement relatif. Ainsi, un nombre important de tests a été effectué pour chacune des éprouvettes citées précédemment.

6.1.2. Résultats

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau XXIX, regroupant les valeurs des charges et allongements à la rupture de ces demi-produits.

TABLEAU XXIX: Charges et allongements à la rupture des demi-produits.

Matières	Paramètres	Nombre de cycles d'endurance				
		0	5000	10000	15000	20000
Matière première	Charge à la rupture (cN)	35,20	31,65	30,70	29,72	28,84
	Allongement (%)	7,10	6,75	6,45	6,32	6,20
Nappe	Charge de rupture (cN)	20,70	17,70	17,00	16,40	16,00
	Allongement (%)	6,95	6,63	6,38	6,20	6,09
Ruban cardé	Charge à la rupture (cN)	18,20	17,30	16,40	15,85	14,75
	Allongement (%)	6,82	6,48	6,23	6,05	5,94
Ruban peigné	Charge à la rupture (cN)	17,00	16,20	15,50	15,10	14,35
	Allongement (%)	6,75	6,40	6,15	6,00	5,85
Mèche	Charge à la rupture (cN)	15,40	14,10	13,50	13,00	12,70
	Allongement (%)	6,65	6,31	6,04	5,87	5,76
Fil	Charge de rupture (cN)	13,00	11,50	9,25	8,50	8,00
	Allongement (%)	6,35	6,00	5,75	5,58	5,46

6.1.3. Commentaire

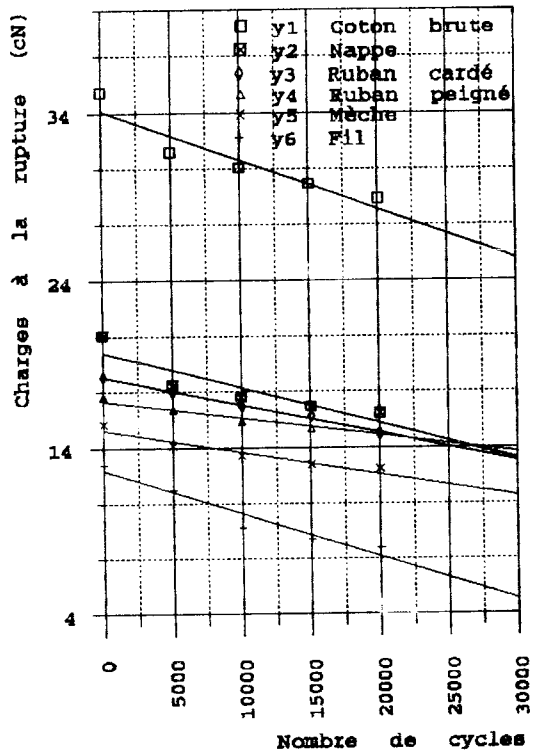
Pour mieux analyser l'évolution de ces caractéristiques en fonction du nombre de cycles à la flexion répétée, nous avons présenté deux graphes distincts (figures 36 et 37) pour tous les demi-produits analysés.

En effet, le premier caractérise la variation de la charge en fonction du nombre de cycles d'endurance, et le second illustre la variation de l'allongement en fonction du même paramètre. Pour que notre analyse soit plus explicite, nous interprétons les résultats de ces deux caractéristiques demi-cycliques séparément.

6.1.3.1. Charge à la rupture

Les résultats des essais dynamométriques des échantillons, n'ayant subi aucune sollicitation d'endurance ont une diminution approximative de 37% de la résistance du fil par rapport à celle du coton brut, figure 36.

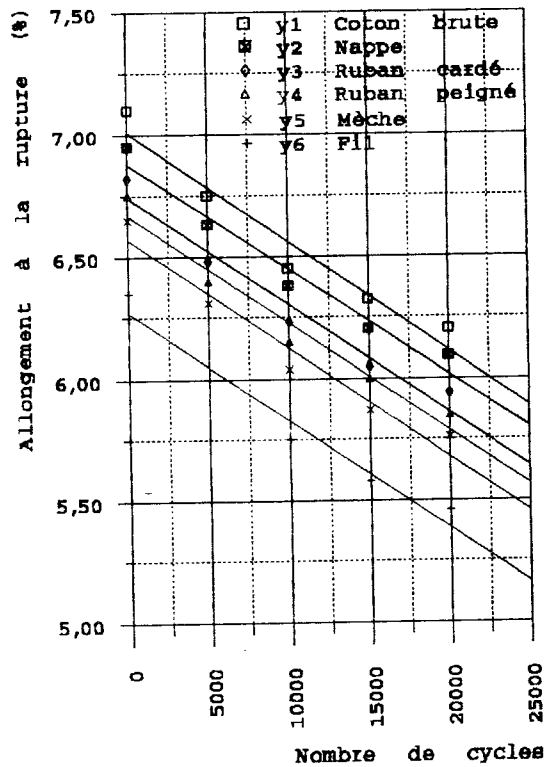
Quant aux échantillons ayant subi des sollicitations à la fatigue, nous remarquons évidemment que la valeur de cet indice, révélant l'une des propriétés mécaniques, est inversement proportionnelle aux nombres de cycles de la flexion répétée. Cependant pour tous les demi-produits les allures des fonctions se manifestent différemment d'un produit à un autre.



$$y_1 = 34,15 - 0,0003x \quad y_2 = 19,7 - 0,0002x$$

$$y_4 = 16,79 - 0,0001x \quad y_6 = 12,65 - 0,0003x$$

Figure 36: Charge à la rupture en fonction du nombre de cycles des demi-produits.



$$y_1 = 7,01 - 0,00004x$$

Figure 37: Allongement à la rupture en fonction du nombre de cycles des demi-produits.

En effet, du graphe obtenu (figure 36) nous constatons que la courbe de la matière première présente une allure plus remarquable que le reste des autres produits. Cependant, elle se rapproche de celle du fil.

Autrement dit, les équations qui découlent des droites de la matière première et du fil montrent une même pente assez importante ($\text{tg } \beta = 0,0003$); puis les valeurs de ces pentes diminuent progressivement d'un demi-produit à un autre, et sont égales pour les demi-produits qui se succèdent selon les passages de la chaîne technologique.

A cet effet, les équations des droites de la nappe et du ruban cardé présentent la même pente égale à 0,0002; et celles du ruban peigné et de la mèche montrent une même pente de 0,0001. Cette dernière valeur réduite à moitié par rapport à celle de la nappe et du ruban cardé et au tiers de celle de la matière première. Par contre la droite déduite des résultats du fil acquiert une pente plus élevée et égale à celle de la matière première. Ceci est dû probablement aux différentes contraintes que subit un fil à savoir la torsion, la tension,...

6.1.3.2. Allongement relatif

La diminution de l'allongement relatif du coton brut au fil n'est pas tellement significative (figure 37). Ceci est valable aussi bien pour les échantillons endurés et non endurés.

En effet, des échantillons du coton brut au fil n'ayant pas subi de fatigue, présentent une diminution de 10,56 %, et cet écart est encore plus petit d'un passage à un autre (tableau XXIX).

Quant aux échantillons ayant subi des endurances de 5000 à 20000 cycles, ils présentent une faible diminution de la déformation élastique qui varie de 0,86% à 0,90% par rapport à la déformation initiale des mêmes échantillons non endurés.

6.1.4. Conclusion

En récapitulant tous les résultats, d'une part ceux de la fatigue et d'autre part ceux des caractéristiques demi-cycliques de ces mêmes produits non endurés, nous remarquons que la diminution de la tenue à la fatigue des fibres lors de leurs traitements technologiques est plus significative que celle de la résistance à la traction (tableau XXX).

En effet, selon les résultats de notre analyse, la diminution de l'endurance des fibres au niveau du fil peigné atteint 48% par rapport à celle de la matière première brute. Quant à la résistance à la traction des fibres du même fil peigné, elle a baissé de 37% par rapport à celle des fibres non traitées.

Ce qui revient à dire et à confirmer que nous ne pouvons négliger un tel phénomène de fatigue qui reflète aussi bien la solidité d'un matériau fibreux que, sa résistance à la traction.

TABLEAU XXX: Endurance et caractéristiques demi-cycliques à la rupture des demi-produits.

N°	Produits	Endurance moyenne du faisceau de 10 fibres (cycles)	Charge à la rupture de 10 fibres (cN)	Allongement à la rupture (%)
1	Matière première	62200	35,20	7,10
2	Nappe	55000	20,70	6,95
3	Ruban cardé	53200	18,20	6,82
4	Rubans réunis	51000	17,50	6,79
5	Ruban peigné	49350	17,00	6,75
6	Mèche	31150	15,40	6,65
7	Fil	29960	13,00	6,35

6.2. LA CINÉTIQUE D'ENDOMMAGEMENT DES FIBRES

La cinétique d'endommagement des fibres au cours de leur transformation technologique en fil, peut être exprimée en fonction de deux caractéristiques prédominantes demi-cycliques à la rupture à savoir : la charge et l'allongement à la rupture. La première caractérise la solidité à la rupture et la deuxième la déformation qui en découle. Pour analyser ce phénomène, nous avons utilisé les résultats dynamométriques des demi-produits (tableau XXIX). A partir de ces valeurs, nous avons établi des équations distinctes qui révèlent la cinétique d'endommagement des fibres

6.2.1. Charge à la rupture

L'équation utilisée pour la charge à la rupture est [51]:

$$Q_r = Q_0 - AX^b \quad (56)$$

où: Q_r - charge à la rupture du matériau après n cycles d'endurance (cN),

Q_0 - charge à la rupture du même matériau n'ayant subi aucune endurance (cN),

X - nombre de cycles d'endurance qu'a subi ce même matériau,

A et b - constantes déterminés à partir des résultats préliminaires de la charge à la rupture.

De l'équation $Q_r = Q_0 - AX^b$, on a:

$$\log(Q_0 - Q_r) = \log A + b \log X;$$

Nous pouvons assimiler cette dernière équation à celle d'une droite linéaire de forme:

$$y = a + bZ$$

Avec: $y = \log(Q_0 - Q_r)$

$$a = \log A$$

$$Z = \log X$$

Afin de déduire ces coefficients, il est nécessaire de constituer un système d'équations à partir des résultats de la charge à la rupture présentés sur le tableau suivant:

TABLEAU XXXI: Charge à la rupture du coton brut.

N°	Nombre de cycles d'endurance	$Z_i = \log X_i$	Charge à la rupture: Q_r (cN)	$Q_0 - Q_r$	$Y = \log(Q_0 - Q_r)$
1	0	-	35,20	-	-
2	5000	3,7	31,65	3,55	0,55
3	10000	4,0	30,70	4,50	0,653
4	15000	4,18	29,72	5,48	0,739
5	20000	4,3	28,84	6,36	0,803

$$y_2 = 0,55 = a + 3,7b$$

$$y_4 = 0,739 = a + 4,18b$$

$$y_3 = 0,653 = a + 4b$$

$$y_5 = 0,803 = a + 4,30b$$

$$y_2 + y_3 = 1,203 = 2a + 7,7b \quad (57)$$

$$y_4 + y_5 = 1,542 = 2a + 8,48b \quad (58)$$

De ces équations on obtient:

$$b = 0,435$$

$$a = -1,073 \Rightarrow A = 0,084.$$

Ainsi l'équation de la charge à la rupture est:

$$Q_r = Q_0 - 0,084X^{0,435}$$

De cette équation, nous pouvons déterminer la charge de rupture d'un produit à n'importe quelle valeur de l'endurance tout en connaissant éventuellement la charge de rupture du même produit n'ayant pas subi de sollicitations.

Ainsi, nous procédons de la même manière pour tous les autres demi-produits jusqu'au fil (tableau XXXII et XXXIII).

TABLEAU XXXII: Charge à la rupture de tous les produits.

			Matière première			Nappe		
N°	Nb. cyc. X_i	$Z_i = \log X_i$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$
1	0		35,20			20,70		
2	5000	3,7	31,65	3,55	0,550	17,70	3,00	0,477
3	10000	4	30,70	4,50	0,653	17,00	3,70	0,568
4	15000	4,18	29,72	5,48	0,739	16,40	4,30	0,633
5	20000	4,3	28,84	6,36	0,803	16,00	4,70	0,672
			Ruban cardé			Ruban peigné		
N°	Nb. cyc. X_i	$Z_i = \log X_i$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$
1	0		18,20			17,00		
2	5000	3,7	17,30	0,90	-0,046	16,20	0,80	-0,097
3	10000	4	16,40	1,80	0,255	15,50	1,50	0,176
4	15000	4,18	15,85	2,35	0,371	15,10	1,90	0,279
5	20000	4,3	14,75	3,45	0,538	14,35	2,65	0,423
			Mèche			Fil		
N°	Nb. cyc. X_i	$Z_i = \log X_i$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$	Q_r (CN)	$Q_0 - Q_r$	$\log(Q_0 - Q_r)$
1	0		15,40			13,00		
2	5000	3,7	14,10	1,30	0,114	11,50	1,50	0,176
3	10000	4	13,50	1,90	0,279	9,25	3,75	0,574
4	15000	4,18	13,00	2,40	0,380	8,50	4,50	0,653
5	20000	4,3	12,70	2,70	0,431	8,00	5,00	0,699

TABLEAU XXXIII: Equations de la cinétique de tous les produits (en fonction de la charge à la rupture).

	Matière première	Nappe	Ruban cardé
a=log A	-1,073	-0,759	-3,349
A	0,084	0,174	0,0004
b	0,435	0,333	0,897
y	-1,073+0,435Z	-0,759+0,333Z	-3,349+0,897Z
Q _r	Q ₀ -0,084X ^{0,435}	Q ₀ -0,174X ^{0,333}	Q ₀ -0,0004X ^{0,897}
	Ruban peigné	Mèche	Fil
a=log A	-3,033	-1,867	-2,597
A	0,0009	0,014	0,0025
b	0,798	0,536	0,772
y	-3,033+0,798Z	-1,867+0,536Z	-2,597+0,772Z
Q _r	Q ₀ -0,0009X ^{0,798}	Q ₀ -0,014X ^{0,536}	Q ₀ -0,0025X ^{0,772}

6.2.2. Allongement relatif

En se basant sur le raisonnement précédent, nous utilisons l'équation de déformation suivante [51]:

$$E_r = E_0 - CX^d \quad (59)$$

- où: E_r - allongement relatif à la rupture du demi- produit après n endurances en (%),
 E₀ - allongement relatif à la rupture du même demi-produit n'ayant subi aucune endurance en (%),
 X - nombre de cycles auxquels le demi-produit est soumis,
 C et d - coefficients déterminés des équations établies à partir des résultats préliminaires de l'allongement du tableau XXXIV.

TABLEAU XXXIV: Allongement à la rupture du coton brut

N°	Nombres de cycles	$Z_i = \log X_i$	Allongement E_r (%)	$E_0 - E_r$ (%)	$y = \text{Log}(E_0 - E_r)$
1	0	-	7,10	-	-
2	5000	3,70	6,75	0,35	-0,4559
3	10000	4,0	6,45	0,65	-0,1871
4	15000	4,18	6,32	0,78	-0,1079
5	20000	4,30	6,20	0,90	-0,0458

$$y_2 = c + 3,7d$$

$$y_4 = c + 4,18d$$

$$y_3 = c + 4,0d$$

$$y_5 = c + 4,30d$$

$$y_2 + y_3 = 2c + 7,7d \quad (60)$$

$$y_4 + y_5 = 2c + 8,48d \quad (61)$$

d'où: $d = 0,627$; $c = - 2,735 \Rightarrow C = 0,0018$

Donc l'équation serait égale à: $E_r = E_0 - 0,0018X^{0,627}$

De cette équation, nous pouvons déterminer la déformation à n'importe quelle valeur d'endurance tout en connaissant celle du même produit n'ayant subi aucune flexion répétée.

Pour les autres demi-produits, nous avons présentés les résultats et les équations sur les tableaux XXXV et XXXVI.

TABLEAU XXXV: Allongement à la rupture de tous les produits.

			Matière première			Nappe		
N°	Nb.cyc.X _i	Z _i =logX _i	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)
1	0		7,10			6,95		
2	5000	3,7	6,75	0,35	-0,4559	6,63	0,32	-0,4949
3	10000	4	6,45	0,65	-0,1871	6,38	0,57	-0,2441
4	15000	4,18	6,32	0,78	-0,1079	6,20	0,75	-0,1249
5	20000	4,3	6,20	0,90	-0,0458	6,09	0,86	-0,0655
			Ruban cardé			Ruban peigné		
N°	Nb.cyc.X _i	Z _i =logX _i	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)
1	0		6,82			6,75		
2	5000	3,7	6,48	0,34	-0,4685	6,40	0,35	-0,4559
3	10000	4	6,23	0,59	-0,2291	6,15	0,60	-0,2218
4	15000	4,18	6,05	0,77	-0,1135	6,00	0,75	-0,1249
5	20000	4,3	5,94	0,88	-0,0555	5,85	0,90	-0,0458
			Mèche			Fil		
N°	Nb.cyc.X _i	Z _i =logX _i	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)	E _r (%)	E ₀ -E _r	Log(E ₀ -E _r)
1	0		6,65			6,35		
2	5000	3,7	6,31	0,34	-0,4685	6,00	0,35	-0,4559
3	10000	4	6,04	0,61	-0,2147	5,75	0,60	-0,2218
4	15000	4,18	5,87	0,78	-0,1079	5,58	0,77	-0,1135
5	20000	4,3	5,76	0,89	-0,0506	5,46	0,89	-0,0506

TABLEAU XXXVI: Equations de la cinétique de tous les produits(en fonction de l'allongement à la rupture.

	Matière première	Nappe	Ruban cardé
a=log A	-2,735	-3,076	-2,959
A	0,018	0,0008	0,001
b	0,627	0,703	0,678
y	-2,735+0,627Z	-3,076+0,703Z	-2,959+0,678Z
E_r	$E_0-0,018X^{0,627}$	$E_0-0,0008X^{0,703}$	$E_0-0,001X^{0,678}$
	Ruban peigné	Mèche	Fil
a=log A	-2,141	-2,933	-2,872
A	0,0072	0,0011	0,0013
b	0,65	0,673	0,658
y	-2,141+0,65Z	-2,933+0,673Z	-2,872+0,658Z
E_r	$E_0-0,0072X^{0,65}$	$E_0-0,0011X^{0,673}$	$E_0-0,0013X^{0,658}$

6.3. EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DEMI-CYCLIQUES EN FONCTION DE L'ENDURANCE DES MELANGES

Il n'est plus nécessaire de souligner la part importante qu'ont prise les fibres chimiques dans toute l'industrie textile et l'amélioration qu'elles ont apportées dans les conditions de chacun. Comme elles sont faites "sur mesure", on peut en exiger des qualités tout à fait adaptées à leur usage, aussi bien dans le domaine de l'habillement que dans ceux de l'ameublement ou des utilisations industrielles: la longue durée d'usage, la facilité de l'entretien, l'infroissabilité sont des apports incontestables de ces fibres, bien de notre époque [52].

En effet, certaines fibres chimiques discontinues ont été produites dans des qualités et présentations de plus en plus nombreuses et les mélanges à base de celles-ci, soit entre elles, soit avec les fibres naturelles, ont pris une place considérable sur le marché.

A partir de ce fait, nous avons effectué une analyse de certains mélanges de fibres coton-polyester (le plus usité) afin d'étudier l'évolution des caractéristiques demi-cycliques à la traction en fonction du nombre de cycles d'endurance. Ceci se limite à la matière brute. Les conditions de cette analyse sont identiques à celles du coton 100%.

A cette suite, nous avons opté pour deux mélanges qui sont:

- le premier composé de 80% de coton et 20% polyester,
- le deuxième composé de 60% de coton et 40% polyester.

TABLEAU XXXVII: Caractéristiques des fibres de polyester.

Caractéristiques		Valeurs
Titre	(T _{denier})	1,53 ÷ 2,97
Densité spécifique	(mg/mm ³)	1,38
Longueur	(mm)	32
Ténacité	(cN/Text)	48 ÷ 50
Allongement à la rupture	(%)	35 ÷ 40

6.3.1. Essais à la fatigue

Pour chaque mélange, nous avons préparé des faisceaux à 10 fibres chacun, similaires aux faisceaux de coton brut et nous avons opéré de la manière suivante:

- analyser les caractéristiques demi-cycliques à la rupture de chaque mélange,
- soumettre d'autres faisceaux de ces mélanges à la même gamme d'endurance, arrêtée pour les fibres de coton, c'est à dire: 5000, 10000, 15000 et 20000 cycles,

- faire subir le test de dynamométrie à ces faisceaux endurés,
- examiner l'évolution des paramètres dynamométriques de ces éprouvettes, en fonction du nombre de cycles fixée d'endurance.

Il est à souligner que, les appareils utilisés sont ceux décrits pour le coton à savoir: le sinus et le Fafegraph.

6.3.2. Résultats et discussion

Des résultats obtenus (tableau XXXVIII), nous remarquons que les fibres de polyester ont un rôle prépondérant sur la résistance et la déformation à la traction du mélange. En effet, plus le taux de ces fibres synthétiques augmente, plus les deux caractères, inhérents à la traction, s'amplifient d'une manière significative.

TABLEAU XXXVIII: Charge et allongement à la rupture des mélanges.

Nombre de cycles	Matières					
	100% coton		80% coton/ 20% polyester		60% coton/ 40% polyester	
	Charge (cN)	Allongement (%)	Charge (cN)	Allongement (%)	Charge (cN)	Allongement (%)
0	35,20	7,10	55,40	12,24	62,80	17,33
5000	31,65	6,75	46,72	10,50	55,00	11,87
10000	30,70	6,45	40,28	8,64	50,40	10,22
15000	29,72	6,32	35,00	7,25	47,80	9,02
20000	28,84	6,20	29,68	6,95	34,60	8,08

Quant aux fibres des deux mélanges, ayant subi les différents nombres de cycles d'endurance, nous analysons distinctement l'évolution de la charge et de la déformation

6.3.2.1. Charge à la rupture

Avec l'augmentation du nombre de cycles d'endurance, la charge de rupture des mélanges diminue progressivement et converge vers une même valeur pour le premier mélange (coton 80%/polyester 20%), par contre pour le deuxième mélange (coton 60%/40% polyester), elle atteint la valeur initiale maximale du coton brut (figure 38).

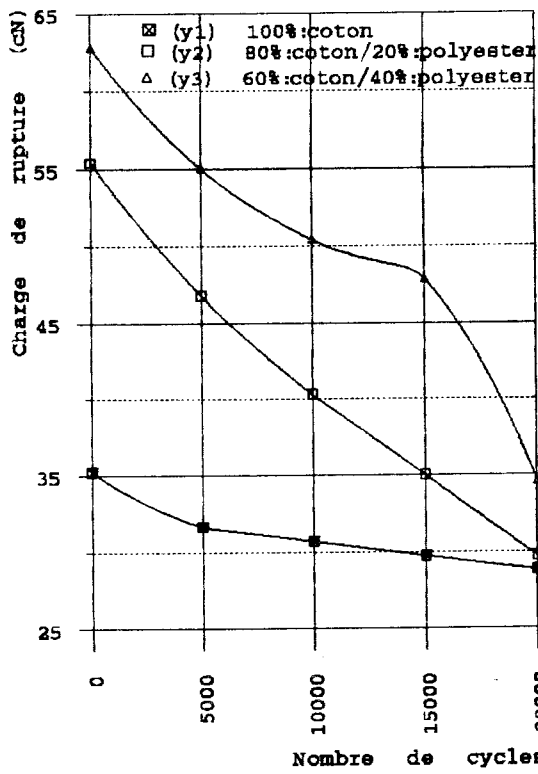
6.3.2.2. Allongement à la rupture

Au fur et à mesure que le nombre de cycles augmente, la déformation des fibres du premier mélange, décroît progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne approximativement la valeur initiale du coton brut (figure 39).

Pour le deuxième mélange, la diminution se manifeste de la même façon, mais à 20000 cycles la déformation reste significative et dépasse la valeur initiale du coton brut, ceci est dû probablement à l'élasticité prédominante des fibres de polyester.

6.4. CINÉTIQUE D'ENDOMMAGEMENT DES MÉLANGES

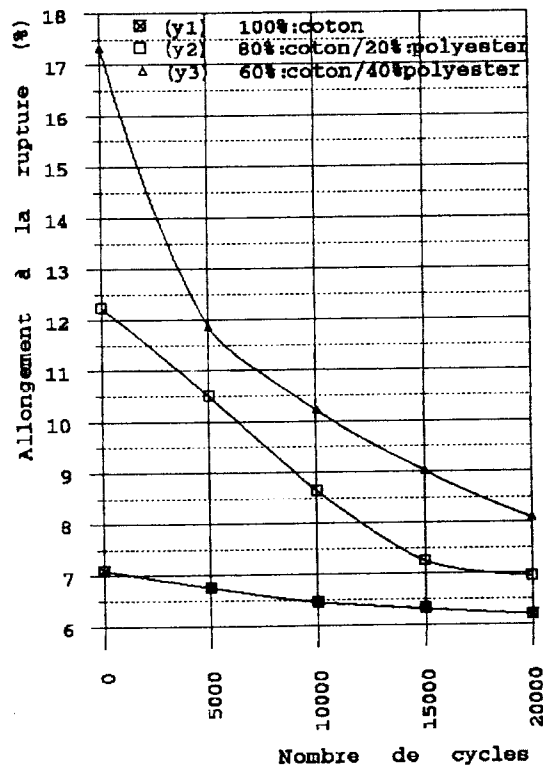
A partir des résultats dynamométriques des mélanges (tableau XXXVIII), nous avons établi les équations de la cinétique d'endommagement de ces fibres d'une manière analogue à celles des fibres de coton brut. De ce fait, nous avons déduit les équations portées sur le tableau XXXIX et XXXX:



$$y_1 = 34,15 - 0,0003x \quad y_2 = 54,05 - 0,0013x$$

$$y_3 = 62,84 - 0,0013x$$

Figure 38: Charge à la rupture en fonction du nombre de cycles des mélanges.



$$y_1 = 7,01 - 0,00004x \quad y_2 = 11,88 - 0,00028x$$

$$y_3 = 15,57 - 0,00043x$$

Figure 39: Allongement à la rupture en fonction du nombre de cycles des mélanges.

TABLEAU XXXIX: Equations de la cinétique des mélanges en fonction de la charge à la rupture.

	30% coton- 20% polyester	60% coton- 40% polyester	100% coton
a=logA	-1,913	-2,172	-1,073
A	0,0122	0,0067	0,084
b	0,772	0,822	0,435
y	-1,913+0,772Z	-2,172+0,822Z	-1,073+0,435Z
Q_r	$Q_0-0,0122X^{0,772}$	$Q_0-0,0067X^{0,822}$	$Q_0-0,084X^{0,435}$

TABLEAU XXXX: Equations de la cinétique des mélanges en fonction de l'allongement à la rupture.

	80% coton- 20% polyester	60% coton- 40% polyester	100% coton
a=log A	-2,686	-0,668	-2,735
A	0,002	0,215	0,0018
b	0,801	0,38	0,627
y	-2,686+0,801Z	-0,668+0,38Z	-2,735+0,627Z
E_r	$E_0-0,002X^{0,801}$	$E_0-0,215X^{0,38}$	$E_0-0,0018X^{0,627}$

De ces équations, nous pouvons déduire les potentialités de ces mélanges afin de mieux orienter les filateurs sur le choix de leurs matières premières.

CONCLUSION

CONCLUSION

En dépit des propriétés structurelles très variables des fibres de coton (toutes les matières fibreuses sont en fait anisotropiques à un niveau microscopique), et de plusieurs limitations expérimentales, une présentation systématique du comportement à la fatigue de ces fibres lors de leurs transformations technologiques en fil peigné, a été tentée succinctement.

Dans cette étude, seulement une masse constante, a pu être appliquée à chaque faisceau de fibres pendant l'expérience pour fournir une tension constante à cause de certaines limitations de montage expérimental.

Les conditions expérimentales utilisées ont été également telles que dans ces tests sur la fatigue, les actions impliquées furent multiples et complexes, et une considération de la flexion et de la traction seule a été une simplification du phénomène.

Donc les données présentées correspondent seulement à une première approximation étant donné les efforts de beaucoup de facteurs. La différence entre les valeurs de résistance à la fatigue relevée pourrait être due à l'existence de plusieurs défauts ou endroits faibles dans les fibres.

Par ailleurs, il restera un grand nombre de facteurs inconnus et incontrôlables qui contribuent à une quantité considérable de dispersion expérimentale dans les données sur la fatigue. Toutefois, il est généralement admis que la dispersion soit une partie intégrante des propriétés de fatigue des fibres.

A travers notre étude, il en ressort que:

1. La résistance à la traction est un indice de qualité nécessaire mais pas suffisant, pour mieux refléter le comportement à des sollicitations mécaniques d'un matériau fibreux, lors du traitement technologique, pour l'obtention d'un fil et plus particulièrement le fil peigné.
2. A partir des résultats obtenus sur les demi-produits de la filature, nous avons abouti à une approximation de la distribution selon la loi logarithmique normale. Néanmoins, cette distribution n'est pas vérifiée pour le demi-produit de la réunisseuse. Dans ce cas, les valeurs sont distribuées selon la loi de Weibull avec le paramètre de forme $\beta = 1,4$.

3. Une fois avoir relevé les cycles d'endurance, nous y avons déduit l'indice de solidité que revêt chaque demi-produit analysé, issu de cette chaîne de filature. Plus le nombre de cycles augmente plus cet indice décroît. Ceci pourrait être une orientation pour les filateurs sur le choix judicieux du régime de travail des équipements de filature.
4. Par ailleurs, nous avons pu analyser l'évolution des caractéristiques demi-cycliques en fonction du nombre de cycles de l'endurance. En effet, de la matière première (fibres de coton) ayant une charge à la rupture de 35,20 cN, nous obtenons un fil dont cette caractéristique est réduite approximativement d'un tiers, soit égale à 13 cN. En revanche, pour les mêmes fibres (matière première et fil) en sollicitation à la flexion avec un nombre de cycles égal à 20×10^3 , cette même caractéristique perd environ 40%.
5. Les matériaux fibreux utilisés plus particulièrement en habillement devraient avoir une bonne qualité physique (régularimétrie). Cet aspect ne peut être atteint qu'en introduisant d'autres traitements complémentaires dans la chaîne technologique de filature à savoir le peignage. A cet effet, l'étude générale que nous avons menée, permet de mettre en garde les filateurs contre le phénomène de fatigue et donc de faible résistance de tels produits (fil).
6. Les caractéristiques mécaniques (charge et allongement à la rupture) sont améliorées pour le mélange coton/polyester soumis ou non à la fatigue. L'introduction de cette fibre chimique, en plus de sa participation à la réduction du prix du filé, améliore sensiblement la dynamométrie. En effet, avec un mélange de 40% de polyester, la valeur de la charge à la rupture a presque doublée, autrement dit, elle passe de 35,20 cN à 62,80 cN.

Ainsi, le caractère "textile" implique des exigences très strictes quant aux propriétés physiques, organoleptiques des matériaux textiles. Pour satisfaire à ces exigences, la mise en oeuvre des fibres reste la solution la plus élégante et la plus efficace.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FINLAYSON D.
J. Text. Inst., Vol. 37, 1946, p. 169.
- [2] KHAYATT R. M. - CHAMBERLAIN N.H.
J.Text. Inst., Vol. 39, 1948, p. 185.
- [3] CHAPMAN B. M.
J.Text. Inst., Vol. 64, 1973, p. 370.
- [4] DEWITT H. S.
Proc. ASTM, 1944.
- [5] THOMSON R. H. K. - TRAILL D.
J.Text. Inst., Vol. 38, 1947, p. 43.
- [6] PREVOSEK D. C. - LYONS W. J. - WHITWELL J. C.
Text. Res., Vol. 33, 1963, p. 963.
- [7] PREVOSEK D. C. - LYONS W. J.
Text. Res., Vol. 35, 1965, p. 73.
- [8] SLINGER R. I.
Text. Res. J., 1964, p. 5.
- [9] SARMA G.V.
J.Text., Vol. 66, 1975, p. 375.
- [10] BARELLA A.
J. Text. Inst., Vol. 56, 1965, p. 665.
- [11] LYONS W. J.
Text. Res. J., Vol. 40, 1970, p. 60.
- [12] SCHUTZ R. A.
Thèse Doct., Université de Pans VI, 1972.

- [13] WEIBULL W.
Fatigue Testing and Analysis of Results, PERGAMON, Oxford,
1961.
- [14] MANTELL G. N.
Engineering Materials Handbook, Mc Grant-Hill, New York, 1958.
- [15] BARELLA A.
Mem. Real. Académia de Ciencias y Artes, N° 776, Vol. XLIII, p. 2.
- [16] GUMBEL H. J.
Statistics of Extreme, Columbia University Press, New York,
1958.
- [17] BARELLA A.
Estadística de la Fatiga de Los Materials Textiles, Manuales
Tecnicos Aita, n° 3, Barcelona, 1966.
- [18] LAIMECHE R.
Contribution à l'Etude des Mécanismes de Formation des Filés
de Type "guipés" par Fausse Torsion, Thèse de Doct. unique,
U.H.A., Mulhouse, 1991.
- [19] KIRSCHNER A.
Cours de Filature, E.N.S.I.T.M., Mulhouse, 1990.
- [20] KLEIN W.
Short-Staple Spinning, The Textile Institut, Vol. 3, pp 9, 10, 28,
1987.
- [21] DREAN J. Y. - BERTHEUX B.
Industrie Textile, n° 1190, p 731.
- [22] ALEXEVIA N.
Endurance des filés à l'extension multiple, Technologie de
l'Industrie Textile, n° 3, IVANOVO, Russie, 1970.

- [23] URKEVITCHUS J.
Estimation de l'Endurance des Fils Complexes, Technologie de l'Industrie Textile, n° 3, IVANOVO, Russie, 1973.
- [24] NOSSOV M.P.
Fatigue Dynamique des Fils Synthétiques, Edition "Technique", Kiev, 1963.
- [25] KOUKINE G.N. - NOSSOV M.P.
Appareils d'Essais de Fatigue de Matériaux Textile, Edition "Industries Légères", Moscou, 1969.
- [26] CHOR Y.V. - KOUZMINE F.I.
"Tableaux d'Analyses", Edition "Technique" Moscou, 1969.
- [27] KHAN G.
Modèles Statistiques dans les Exercices de l'Ingénieur, Edition "M.I.R.", Moscou, 1969.
- [28] DAVIDOV A. F. - KIRUKHINE S. M. - KOUKINE G.N.
"Aspects Statistiques de la Variation de la Résistance des Fils de Coton lors des Fréquences Répétées à la Traction", Technologie de l'Industrie Textile , N° 6, Ivanovo, Russie, 1973, pp. 16 à 19.
- [29] SOLOVIEV A.N. - KOUKINE G.N.
Matériaux Textiles, Vol. 2, Edition "Industries Légères", Moscou, 1964.
- [30] SEVOSTIANOV A.G.
Etude des Forces de Pinçage d'un Ruban de Coton dans un Couple d'Etirage, Technologie de l'Industrie Textile, n° 3, IVANOVO, Russie, 1974.
- [31] ANBINDER A.
Etude de l'Extension du Ruban Etiré de Coton, Technologie de l'Industrie Textile, n° 1, IVANOVO, Russie, 1970.

- [32] MILOVIDOV N. - KISSELEV A. - BADALOV K. - FAMINSKI P.
Technologie et équipement de filature, Vol. 1, Edition "Ecole Supérieure", Moscou.
- [33] HUA VAN.
Migration des Fibres en Filature, Industrie Textile, Avril 1988, p. 375 à 377.
- [34] BORZOUNOV I.G.
Filature de Coton et de Fibres Chimiques, Edition "Industries Légères", 1974.
- [35] ODQVIST F.K.G
Festigkeitslehre. Königl. Tech. Hochschule, Publ. 107, Inst. F., Stockholm, 1953.
- [36] JIN GOODIER.
Théorie de l'Elasticité, 1961, p. 67.
- [37] TIMOSHENKO S.
Résistance des Matériaux, Paris, 1972, p. 347.
- [38] KOUKINE G. - SOLOVIEV A. - KOBLIAKOV A.
Matières Textiles, 1989, p. 65.
- [39] VIGIER M. - MALOINE S.A.
Méthode d'Assurance Qualité -Fiabilité, 1980.
- [40] NORME AFNOR X 06-501
Application de la Statistique-Introduction à la Fiabilité, Sept. 1984.
- 41] CORRAZA M.
Techniques Mathématiques de la Fiabilité Prévisionnelle, Edition CEPADUES, Toulouse, 1975, p. 248.
- [42] LYONNET P.
La Maintenance, Edition Tech. et Doc., Paris, 1992, p. 50 à 56

- [43] DROESBEKE J.J.
Eléments de la Statistique, Edition de l'Université de Bruxelles,
1988, p.p. 106, 115, 417.
- [44] Strength Tester For Fibres And Yarns. Type F M 08/A METEFEM.
METRIMPEX, Budapest.
- [45] SCHUTZ R.A. - HUNZINGER S.
Bull. Inst. Text. Vol. 17, France, 1963, p.51.
- [46] CHAUAN R.S. - SHAH N.M. - DWELTZ N.E.
J. Text., Vol. 71, 1980, p. 18.
- [47] BERCHEV E.
Appareils pour les Essais des Fibres et des Fils, C.A.H.T., 1970.
- [48] DREAN J. Y. - RENNER M.
Contribution à l'Etude Théorique et Expérimentale du Processus
d'Obtention des Textiles Linéaires, Thèse Doct. d'Etat, U.H.A.,
E.N.S.I.T.M., 1986.
- [50] DAVIDOV A.
Application des Méthodes Statistiques dans l'Industrie Textile,
Thème d'un séminaire, INIM Boumerdès, 1990, p. 31.
- [51] SOLOVIEV A. - KIRIUKHINE S.
Estimation et Pronostics de la Qualité des Matières Textiles,
Moscou, 1984, p.120.
- [52] COMMISSION TECHNIQUE DES TEXTILES ARTIFICIELS ET
SYNTHETIQUES
Recommandations pour l'Utilisation des Textiles Chimiques,
Vol. 1, Les Editions de l'Industrie Textile, Paris, 1979, p. 4.

ANNEXES

- 1 TABLEAUX VI à XI: Résultats sur la distribution de l'endurance**
- 2 TABLEAUX XIII à XVIII: Calcul d'asymétrie et d'aplatissement**
- 3 TABLEAU XXI à XXVI Indice de solidité des fibres endurées**

ANNEXE 1

TABLEAU VI: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres de la nappe.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile
1	24987	4,3977	0,0167	-2,5361
2	28975	4,4620	0,0500	-2,0305
3	32945	4,5178	0,0833	-1,5921
4	36853	4,5665	0,1167	-1,2093
5	39972	4,6018	0,1500	-0,9320
6	39983	4,6019	0,1833	-0,9310
7	40975	4,6125	0,2167	-0,8473
8	43787	4,6413	0,2500	-0,6207
9	43988	4,6433	0,2833	-0,6051
10	46577	4,6682	0,3167	-0,4098
11	48822	4,6886	0,3500	-0,2491
12	48983	4,6900	0,3833	-0,2379
13	49973	4,6987	0,4167	-0,1695
14	50840	4,7062	0,4500	-0,1108
15	54698	4,7380	0,4833	0,1389
16	54974	4,7402	0,5167	0,1561
17	56570	4,7526	0,5500	0,2538
18	56834	4,7546	0,5833	0,2697
19	58830	4,7696	0,6167	0,3876
20	58980	4,7707	0,6500	0,3963
21	60875	4,7844	0,6833	0,5042
22	63989	4,8061	0,7167	0,6746
23	68753	4,8373	0,7500	0,9197
24	68824	4,8377	0,7833	0,9233
25	69730	4,8434	0,8167	0,9679
26	72945	4,8630	0,8500	1,1218
27	74643	4,8730	0,8833	1,2004
28	79830	4,9022	0,9167	1,4298
29	82545	4,9167	0,9500	1,5440
30	83851	4,9235	0,9833	1,5975
Somme	1644531	141,6096		
Moyenne	54817,70	4,7203		
Ecart type	15691,24	0,1272		
Log moyenne	4,7389			
cv	28,62			

ANNEXE 1

TABLEAU VII: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres du ruban cardé.

i	Nombre de cycles xi	$z=\log xi$	Fréquence	Quantile
1	23662	4,3741	0,0167	-2,8405
2	26925	4,4302	0,0500	-2,3682
3	29951	4,4764	0,0833	-1,9789
4	37348	4,5723	0,1167	-1,1720
5	39970	4,6017	0,1500	-0,9240
6	43972	4,6432	0,1833	-0,5751
7	45325	4,6563	0,2167	-0,4643
8	47255	4,6744	0,2500	-0,3119
9	49565	4,6952	0,2833	-0,1374
10	49972	4,6987	0,3167	-0,1075
11	50006	4,6990	0,3500	-0,1050
12	50310	4,7017	0,3833	-0,0829
13	51305	4,7102	0,4167	-0,0113
14	51494	4,7118	0,4500	0,0022
15	52449	4,7197	0,4833	0,0693
16	52960	4,7239	0,5167	0,1048
17	53630	4,7294	0,5500	0,1507
18	54224	4,7342	0,5833	0,1910
19	55570	4,7448	0,6167	0,2806
20	57985	4,7633	0,6500	0,4362
21	58817	4,7695	0,6833	0,4882
22	59610	4,7753	0,7167	0,5372
23	60000	4,7782	0,7500	0,5610
24	61055	4,7857	0,7833	0,6248
25	63350	4,8017	0,8167	0,7597
26	65780	4,8181	0,8500	0,8973
27	70341	4,8472	0,8833	1,1423
28	77769	4,8908	0,9167	1,5093
29	80902	4,9080	0,9500	1,6537
30	81175	4,9094	0,9833	1,6660
Somme	1602677	141,3444		
Moyenne	53422,57	4,7115		
Ecart type	13993,96	0,1188		
Log moyenne	4,7277			
cv	26,19			

ANNEXE 1

TABLEAU VIII: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres des rubans réunis.

i	Nombre de cycles xi	$z = \log xi$	Fréquence	Quantile
1	40229	4,6045	0,0167	-1,8055
2	41699	4,6201	0,0500	-1,5180
3	43617	4,6397	0,0833	-1,1576
4	43812	4,6416	0,1167	-1,1219
5	44887	4,6521	0,1500	-0,9277
6	46191	4,6646	0,1833	-0,6982
7	46244	4,6651	0,2167	-0,6890
8	46394	4,6665	0,2500	-0,6631
9	47069	4,6727	0,2833	-0,5473
10	47103	4,6730	0,3167	-0,5415
11	47695	4,6785	0,3500	-0,4415
12	48230	4,6833	0,3833	-0,3521
13	48572	4,6864	0,4167	-0,2955
14	48732	4,6878	0,4500	-0,2691
15	49230	4,6922	0,4833	-0,1876
16	49385	4,6936	0,5167	-0,1625
17	49423	4,6939	0,5500	-0,1563
18	50034	4,6993	0,5833	-0,0578
19	50332	4,7018	0,6167	-0,0103
20	50859	4,7064	0,6500	0,0732
21	51058	4,7081	0,6833	0,1045
22	52531	4,7204	0,7167	0,3324
23	53019	4,7244	0,7500	0,4065
24	56378	4,7511	0,7833	0,8987
25	57101	4,7566	0,8167	1,0008
26	60044	4,7785	0,8500	1,4035
27	61209	4,7868	0,8833	1,5575
28	63098	4,8000	0,9167	1,8010
29	63702	4,8042	0,9500	1,8774
30	65658	4,8173	0,9833	2,1197
Somme	1523535	141,0705		
Moyenne	50784,50	4,7024		
Ecart type	6598,55	0,0542		
Log moyenne	4,7057			
cv	12,99			

ANNEXE 1

TABLEAU IX: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres du ruban peigné.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile
1	30419	4,4831	0,0167	-1,8351
2	30962	4,4908	0,0500	-1,7629
3	31030	4,4918	0,0833	-1,7539
4	35193	4,5465	0,1167	-1,2401
5	35586	4,5513	0,1500	-1,1947
6	36943	4,5675	0,1833	-1,0420
7	37276	4,5714	0,2167	-1,0054
8	38419	4,5845	0,2500	-0,8821
9	38423	4,5846	0,2833	-0,8817
10	39226	4,5936	0,3167	-0,7972
11	45308	4,6562	0,3500	-0,2089
12	46886	4,6710	0,3833	-0,0691
13	47156	4,6735	0,4167	-0,0457
14	47915	4,6805	0,4500	0,0195
15	48419	4,6850	0,4833	0,0622
16	51240	4,7096	0,5167	0,2933
17	51960	4,7157	0,5500	0,3503
18	52000	4,7160	0,5833	0,3534
19	53860	4,7297	0,6167	0,4817
20	53860	4,7313	0,6500	0,4969
21	54190	4,7339	0,6833	0,5218
22	57378	4,7587	0,7167	0,7551
23	57378	4,7587	0,7500	0,7551
24	58276	4,7655	0,7833	0,8185
25	59608	4,7753	0,8167	0,9108
26	60938	4,7849	0,8500	1,0008
27	62040	4,7927	0,8833	1,0740
28	66170	4,8207	0,9167	1,3370
29	72593	4,8609	0,9500	1,7152
30	73724	4,8676	0,9833	1,7783
Somme	1474176	140,3525		
Moyenne	49139,20	4,6784		
Ecart type	12031,58	0,1064		
Log moyenne	4,6914			
cv	24,48			

ANNEXE 1

TABLEAU X: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres de la mèche.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile
1	23586	4,3727	0,0167	-1,9991
2	24851	4,3953	0,0500	-1,6099
3	24975	4,3975	0,0833	-1,5728
4	25962	4,4143	0,1167	-1,2841
5	26781	4,4278	0,1500	-1,0527
6	26911	4,4299	0,1833	-1,0166
7	27751	4,4433	0,2167	-0,7877
8	27835	4,4446	0,2500	-0,7652
9	27893	4,4455	0,2833	-0,7497
10	28446	4,4540	0,3167	-0,6034
11	28527	4,4553	0,3500	-0,5822
12	28696	4,4578	0,3833	-0,5382
13	29619	4,4716	0,4167	-0,3024
14	29971	4,4767	0,4500	-0,2144
15	30376	4,4825	0,4833	-0,1144
16	30833	4,4890	0,5167	-0,0032
17	32673	4,5142	0,5500	0,4286
18	32950	4,5179	0,5833	0,4915
19	32974	4,5182	0,6167	0,4969
20	33601	4,5264	0,6500	0,6373
21	33735	4,5281	0,6833	0,6669
22	33876	4,5299	0,7167	0,6980
23	34796	4,5415	0,7500	0,8976
24	34877	4,5425	0,7833	0,9149
25	35823	4,5542	0,8167	1,1143
26	35960	4,5558	0,8500	1,1427
27	36792	4,5658	0,8833	1,3131
28	36845	4,5664	0,9167	1,3238
29	37215	4,5707	0,9500	1,3983
30	38616	4,5868	0,9833	1,6735
Somme	933746	134,6761		
Moyenne	31124,87	4,4892		
Ecart type	4212,99	0,0583		
Log moyenne	4,4931			
cv	13,54			

ANNEXE 1

TABLEAU XI: Résultats obtenus sur la distribution de l'endurance des fibres du fil.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile
1	20804	4,3181	0,0167	-2,3095
2	21200	4,3263	0,0500	-2,1862
3	22577	4,3537	0,0833	-1,7746
4	25390	4,4047	0,1167	-1,0066
5	25642	4,4090	0,1500	-0,9420
6	26089	4,4165	0,1833	-0,8290
7	26608	4,4250	0,2167	-0,7001
8	27020	4,4317	0,2500	-0,5996
9	27472	4,4389	0,2833	-0,4911
10	28071	4,4483	0,3167	-0,3500
11	28082	4,4484	0,3500	-0,3475
12	28454	4,4541	0,3833	-0,2614
13	28540	4,4555	0,4167	-0,2417
14	29143	4,4645	0,4500	-0,1049
15	29542	4,4704	0,4833	-0,0160
16	29635	4,4718	0,5167	0,0046
17	30000	4,4771	0,5500	0,0847
18	30154	4,4793	0,5833	0,1181
19	30799	4,4885	0,6167	0,2566
20	32283	4,5090	0,6500	0,5644
21	33150	4,5205	0,6833	0,7377
22	33400	4,5237	0,7167	0,7868
23	34000	4,5315	0,7500	0,9033
24	34000	4,5315	0,7833	0,9033
25	35197	4,5465	0,8167	1,1296
26	35276	4,5475	0,8500	1,1443
27	36200	4,5587	0,8833	1,3134
28	36205	4,5588	0,9167	1,3143
29	36742	4,5652	0,9500	1,4106
30	37200	4,5705	0,9833	1,4916
Somme	898875	134,1452		
Moyenne	29962,50	4,4715		
Ecart type	4551,69	0,0664		
Log moyenne	4,4766			
cv	15,19			

ANNEXE 2

TABLEAU XIII: Calcul d'asymétrie et d'aplatissement de la nappe.

Numéro	Classe	Valeur moyenne $\bar{x}_i \cdot 10^3$	Fréquence n_i	$n_i \cdot 10^3$	Ecart type $\sigma \cdot 10^3$	Ecart-type au carré $\sigma^2 \cdot 10^6$	Ecart-type au cube σ^3	σ^4	$\sigma^2 \cdot m_i$ *10 ⁶	$\sigma^3 \cdot m_i$	$\sigma^4 \cdot m_i$
1	24000-29999	27000	2	54000	-28000	784000000	-2,1952E+13	6,14656E+17	15680000000	-4,3904E+13	1,22931E+18
2	30000-35999	33000	1	33000	-22000	484000000	-1,0648E+13	2,34256E+17	484000000	-1,0648E+13	2,34256E+17
3	36000-41999	39000	4	156000	-16000	256000000	-4,096E+12	6,5536E+16	1024000000	-1,6384E+13	2,62144E+17
4	42000-47999	45000	3	135000	-10000	100000000	-1E+12	1E+16	300000000	-3E+12	3E+16
5	48000-53999	51000	4	204000	-4000	16000000	-64000000000	2,56E+14	64000000	-2,56E+11	1,024E+15
6	54000-59999	57000	6	342000	2000	400000	80000000000	1,6E+13	24000000	48000000000	9,6E+13
7	60000-65999	63000	2	126000	8000	64000000	5,12E+11	4,096E+15	128000000	1,024E+12	8,192E+15
8	66000-71999	69000	3	207000	14000	196000000	2,744E+12	3,8416E+16	588000000	8,232E+12	1,15248E+17
9	72000-77999	75000	2	150000	20000	400000000	8E+12	1,6E+17	800000000	1,6E+13	3,2E+17
10	78000-84000	81000	3	243000	26000	676000000	1,7576E+13	4,56976E+17	2028000000	5,2728E+13	1,37093E+18
Somme			30	1650000					7008000000	3,84E+12	3,5712E+18
Moyenne				55000					7008000000	1,28E+11	1,1904E+17
Ecart type									15283,98		
Asymétrie										0,035850954	
Aplatissement											-0,818540064
CV										27,79	

ANNEXE 3

TABLEAU XXI: Indice de solidité des fibres endurées de la nappe.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	24987	4,3977	0,0167	-2,5361	0,3881
2	28975	4,4620	0,0500	-2,0305	0,2652
3	32945	4,5178	0,0833	-1,5921	0,2057
4	36853	4,5665	0,1167	-1,2093	0,1550
5	39972	4,6018	0,1500	-0,9320	0,1205
6	39983	4,6019	0,1833	-0,9310	0,1205
7	40975	4,6125	0,2167	-0,8473	0,1162
8	43787	4,6413	0,2500	-0,6207	0,0940
9	43988	4,6433	0,2833	-0,6051	0,0935
10	46577	4,6682	0,3167	-0,4098	0,0778
11	48822	4,6886	0,3500	-0,2491	0,0671
12	48983	4,6900	0,3833	-0,2379	0,0664
13	49973	4,6987	0,4167	-0,1695	0,0618
14	50840	4,7062	0,4500	-0,1108	0,0576
15	54698	4,7380	0,4833	0,1389	0,0443
16	54974	4,7402	0,5167	0,1561	0,0437
17	56570	4,7526	0,5500	0,2538	0,0390
18	56834	4,7546	0,5833	0,2697	0,0382
19	58830	4,7696	0,6167	0,3876	0,0329
20	58980	4,7707	0,6500	0,3963	0,0325
21	60875	4,7844	0,6833	0,5042	0,0283
22	63989	4,8061	0,7167	0,6746	0,0229
23	68753	4,8373	0,7500	0,9197	0,0159
24	68824	4,8377	0,7833	0,9233	0,0159
25	69730	4,8434	0,8167	0,9679	0,0146
26	72945	4,8630	0,8500	1,1218	0,0120
27	74643	4,8730	0,8833	1,2004	0,0103
28	79830	4,9022	0,9167	1,4298	0,0071
29	82545	4,9167	0,9500	1,5440	0,0057
30	83851	4,9235	0,9833	1,5975	0,0049
Somme	1644531	141,6096			
Moyenne	54817,70	4,7203			
Ecart type	15691,24	0,1272			
Log moyenne	4,7389				
cv	28,62				

ANNEXE 3

TABLEAU XXII: Indice de solidité des fibres endurées du ruban cardé.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	23662	4,3741	0,0167	-2,8405	0,4740
2	26925	4,4302	0,0500	-2,3682	0,3573
3	29951	4,4764	0,0833	-1,9789	0,2747
4	37348	4,5723	0,1167	-1,1720	0,1518
5	39970	4,6017	0,1500	-0,9240	0,1381
6	43972	4,6432	0,1833	-0,5751	0,1065
7	45325	4,6563	0,2167	-0,4643	0,0972
8	47255	4,6744	0,2500	-0,3119	0,0874
9	49565	4,6952	0,2833	-0,1374	0,0733
10	49972	4,6987	0,3167	-0,1075	0,0702
11	50006	4,6990	0,3500	-0,1050	0,0701
12	50310	4,7017	0,3833	-0,0829	0,0673
13	51305	4,7102	0,4167	-0,0113	0,0636
14	51494	4,7118	0,4500	0,0022	0,0633
15	52449	4,7197	0,4833	0,0693	0,0598
16	52960	4,7239	0,5167	0,1048	0,0569
17	53630	4,7294	0,5500	0,1507	0,0539
18	54224	4,7342	0,5833	0,1910	0,0513
19	55570	4,7448	0,6167	0,2806	0,0482
20	57985	4,7633	0,6500	0,4362	0,0408
21	58817	4,7695	0,6833	0,4882	0,0385
22	59610	4,7753	0,7167	0,5372	0,0362
23	60000	4,7782	0,7500	0,5610	0,0342
24	61055	4,7857	0,7833	0,6248	0,0336
25	63350	4,8017	0,8167	0,7597	0,0278
26	65780	4,8181	0,8500	0,8973	0,0232
27	70341	4,8472	0,8833	1,1423	0,0171
28	77769	4,8908	0,9167	1,5093	0,0099
29	80902	4,9080	0,9500	1,6537	0,0076
30	81175	4,9094	0,9833	1,6660	0,0075
Somme	1602677	141,3444			
Moyenne	53422,57	4,7115			
Ecart type	13993,96	0,1188			
Log moyenne	4,7277				
cv	26,19				

ANNEXE3

TABLEAU XXIII: Indice de solidité des fibres endurées des rubans réunis.

i	Nombre de cycles xi	$z = \log xi$	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	40229	4,6045	0,0167	-1,8055	0,4218
2	41699	4,6201	0,0500	-1,5180	0,3687
3	43617	4,6397	0,0833	-1,1576	0,2999
4	43812	4,6416	0,1167	-1,1219	0,2910
5	44887	4,6521	0,1500	-0,9277	0,2559
6	46191	4,6646	0,1833	-0,6982	0,2223
7	46244	4,6651	0,2167	-0,6890	0,2220
8	46394	4,6665	0,2500	-0,6631	0,2083
9	47069	4,6727	0,2833	-0,5473	0,1866
10	47103	4,6730	0,3167	-0,5415	0,1863
11	47695	4,6785	0,3500	-0,4415	0,1898
12	48230	4,6833	0,3833	-0,3521	0,1707
13	48572	4,6864	0,4167	-0,2955	0,1640
14	48732	4,6878	0,4500	-0,2691	0,1633
15	49230	4,6922	0,4833	-0,1876	0,1507
16	49385	4,6936	0,5167	-0,1625	0,1447
17	49423	4,6939	0,5500	-0,1563	0,1445
18	50034	4,6993	0,5833	-0,0578	0,1319
19	50332	4,7018	0,6167	-0,0103	0,1258
20	50859	4,7064	0,6500	0,0732	0,1200
21	51058	4,7081	0,6833	0,1045	0,1150
22	52531	4,7204	0,7167	0,3324	0,0944
23	53019	4,7244	0,7500	0,4065	0,0848
24	56378	4,7511	0,7833	0,8987	0,0467
25	57101	4,7566	0,8167	1,0008	0,0400
26	60044	4,7785	0,8500	1,4035	0,0222
27	61209	4,7868	0,8833	1,5575	0,0180
28	63098	4,8000	0,9167	1,8010	0,0112
29	63702	4,8042	0,9500	1,8774	0,0090
30	65658	4,8173	0,9833	2,1197	0,0057
Somme	1523535	141,0705			
Moyenne	50784,50	4,7024			
Ecart type	6598,55	0,0542			
Log moyenne	4,7057				
cv	12,99				

ANNEXE 3

TABLEAU XXIV: Indice de solidité des fibres endurées du ruban peigné.

i	Nombre de cycles xi	$z=\log xi$	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	30419	4,4831	0,0167	-1,8351	0,2842
2	30962	4,4908	0,0500	-1,7629	0,2748
3	31030	4,4918	0,0833	-1,7539	0,2740
4	35193	4,5465	0,1167	-1,2401	0,1952
5	35586	4,5513	0,1500	-1,1947	0,1919
6	36943	4,5675	0,1833	-1,0420	0,1713
7	37276	4,5714	0,2167	-1,0054	0,1653
8	38419	4,5845	0,2500	-0,8821	0,1523
9	38423	4,5846	0,2833	-0,8817	0,1523
10	39226	4,5936	0,3167	-0,7972	0,1413
11	45308	4,6562	0,3500	-0,2089	0,0834
12	46886	4,6710	0,3833	-0,0691	0,0717
13	47156	4,6735	0,4167	-0,0457	0,0711
14	47915	4,6805	0,4500	0,0195	0,0663
15	48419	4,6850	0,4833	0,0622	0,0642
16	51240	4,7096	0,5167	0,2933	0,0492
17	51960	4,7157	0,5500	0,3503	0,0464
18	52000	4,7160	0,5833	0,3534	0,0463
19	53660	4,7297	0,6167	0,4817	0,0396
20	53860	4,7313	0,6500	0,4969	0,0382
21	54190	4,7339	0,6833	0,5218	0,0373
22	57378	4,7587	0,7167	0,7551	0,0280
23	57378	4,7587	0,7500	0,7551	0,0280
24	58276	4,7655	0,7833	0,8185	0,0255
25	59608	4,7753	0,8167	0,9108	0,0222
26	60938	4,7849	0,8500	1,0008	0,0191
27	62040	4,7927	0,8833	1,0740	0,0174
28	66170	4,8207	0,9167	1,3370	0,0113
29	72593	4,8609	0,9500	1,7152	0,0057
30	73724	4,8676	0,9833	1,7783	0,0050
Somme	1474176	140,3525			
Moyenne	49139,20	4,6784			
Ecart tpe	12031,58	0,1064			
Log moyenne	4,6914				
cv	24,48				

ANNEXE 3

TABLEAU XXV: Indice de solidité des fibres endurées de la mèche.

i	Nombre de cycles xi	$z=\log xi$	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	23586	4,3727	0,0167	-1,9991	0,7108
2	24851	4,3953	0,0500	-1,6099	0,5951
3	24975	4,3975	0,0833	-1,5728	0,5774
4	25962	4,4143	0,1167	-1,2841	0,5034
5	26781	4,4278	0,1500	-1,0527	0,4313
6	26911	4,4299	0,1833	-1,0166	0,4180
7	27751	4,4433	0,2167	-0,7877	0,3646
8	27835	4,4446	0,2500	-0,7652	0,3551
9	27893	4,4455	0,2833	-0,7497	0,3525
10	28446	4,4540	0,3167	-0,6034	0,3158
11	28527	4,4553	0,3500	-0,5822	0,3108
12	28696	4,4578	0,3833	-0,5382	0,3012
13	29619	4,4716	0,4167	-0,3024	0,2500
14	29971	4,4767	0,4500	-0,2144	0,2301
15	30376	4,4825	0,4833	-0,1144	0,2120
16	30833	4,4890	0,5167	-0,0032	0,1909
17	32673	4,5142	0,5500	0,4286	0,1226
18	32950	4,5179	0,5833	0,4915	0,1153
19	32974	4,5182	0,6167	0,4969	0,1139
20	33601	4,5264	0,6500	0,6373	0,0981
21	33735	4,5281	0,6833	0,6669	0,0949
22	33876	4,5299	0,7167	0,6980	0,0914
23	34796	4,5415	0,7500	0,8976	0,0704
24	34877	4,5425	0,7833	0,9149	0,0683
25	35823	4,5542	0,8167	1,1143	0,0531
26	35960	4,5558	0,8500	1,1427	0,0505
27	36792	4,5658	0,8833	1,3131	0,0397
28	36845	4,5664	0,9167	1,3238	0,0384
29	37215	4,5707	0,9500	1,3983	0,0335
30	38616	4,5868	0,9833	1,6735	0,0210
Somme	933746	134,6761			
Moyenne	31124,87	4,4892			
Ecart type	4212,99	0,0583			
Log moyenne	4,4931				
cv	13,54				

ANNEXE 3

TABLEAU XXVI: Indice de solidité des fibres endurées du fil.

i	Nombre de cycles xi	z=logxi	Fréquence	Quantile	Indice de solidité
1	20804	4,3181	0,0167	-2,3095	0,8103
2	21200	4,3263	0,0500	-2,1862	0,7548
3	22577	4,3537	0,0833	-1,7746	0,6078
4	25390	4,4047	0,1167	-1,0066	0,3890
5	25642	4,4090	0,1500	-0,9420	0,3735
6	26089	4,4165	0,1833	-0,8290	0,3460
7	26608	4,4250	0,2167	-0,7001	0,3149
8	27020	4,4317	0,2500	-0,5996	0,2919
9	27472	4,4389	0,2833	-0,4911	0,2673
10	28071	4,4483	0,3167	-0,3500	0,2395
11	28082	4,4484	0,3500	-0,3475	0,2394
12	28454	4,4541	0,3833	-0,2614	0,2285
13	28540	4,4555	0,4167	-0,2417	0,2185
14	29143	4,4645	0,4500	-0,1049	0,1924
15	29542	4,4704	0,4833	-0,0160	0,1765
16	29635	4,4718	0,5167	0,0046	0,1744
17	30000	4,4771	0,5500	0,0847	0,1597
18	30154	4,4793	0,5833	0,1181	0,1563
19	30799	4,4885	0,6167	0,2566	0,1373
20	32283	4,5090	0,6500	0,5644	0,0967
21	33150	4,5205	0,6833	0,7377	0,0787
22	33400	4,5237	0,7167	0,7868	0,0737
23	34000	4,5315	0,7500	0,9033	0,0632
24	34000	4,5315	0,7833	0,9033	0,0632
25	35197	4,5465	0,8167	1,1296	0,0458
26	35276	4,5475	0,8500	1,1443	0,0446
27	36200	4,5587	0,8833	1,3134	0,0349
28	36205	4,5588	0,9167	1,3143	0,0349
29	36742	4,5652	0,9500	1,4106	0,0293
30	37200	4,5705	0,9833	1,4916	0,0247
Somme	898875	134,1452			
Moyenne	29962,50	4,4715			
Ecart type	4551,69	0,0664			
Log moyenne	4,4766				
cv	15,19				