

**Institut National des Industries
Manufacturieres
Boumerdes**

THESE DE MAGISTER

OPTION: TECHNOLOGIE TEXTILE

**THEME: " Etude des caracteristiques
d'irregularite du fil de coton carde ".**

Presentee par A. IGUEDAD

le 22 Juin 1993 a l'INIM (Boumerdes)

Membres du jury:

President	M. BAKAR Maitre de Conference, LAP (Boumerdes);
Rapporteur	N. ACHNINE Professeur Academicien, AGT (St-Petersbourg);
Examineurs	A. KOUDINOV Maitre de conference, INIM (Boumerdes); T. OUCHFOUN Charge de cours, INIM (Boumerdes).

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

PRINCIPAUX SYMBOLES

INTRODUCTION

CHAP.I: CADRE DE L'ETUDE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

I.1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE	04
I.1.1. LA FILATURE DE COTON DANS L'INDUSTRIE TEXTILE.	
I.1.2. LA TECHNOLOGIE DE LA FILATURE DE COTON ET SON EVOLUTION	05
I.1.3. OBJET DE L'ETUDE	06
I.2. DEMARCHE METHODOLOGIQUE	07
I.2.1. IRREGULARITE DE LA MASSE LINEIQUE	07
I.2.2. TORSIONS	08
I.2.3. RESISTANCES ET ALLONGEMENTS	08

CHAP.II: PARTIE THEORIQUE

II.1. INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LA QUALITE DU FIL	09
II.1.1. INFLUENCE DES PROPRIETES DES FIBRES	09
II.1.2. INFLUENCE DE LA VARIATION DES PROPRIETES DU MELANGE	10
II.1.3. INFLUENCE DU PROCESSUS DU FILAGE	10
II.2. ANALYSE DES CARACTERISTIQUES D'IRREGULARITE DES FILES	11
II.2.1. IRREGULARITE LIMITE ET INDICE D'IRREGULARITE	12
II.2.1.1. Irrégularité limite.	
II.2.1.2. Indice d'irrégularité.	
II.2.2. METHODES D'ANALYSE DE L'IRREGULARITE DES DEMI-PRODUITS ET DU FIL	14
II.2.2.1. Le spectre des longueurs d'ondes.	
II.2.2.2. La courbe variance-longueur.	
II.2.2.3. L'autocorrelation.	

II.2.3. INFLUENCE DES POINTS MINCES, DES POINTS GROS ET DES BOUTONS SUR LA QUALITE DU FIL	17
II.2.3.1. Points minces et points gros.	
II.2.3.2. Boutons.	18
II.3. THEORIE DE LA TORSION	18
II.3.1. MOMENT DE TORSION	18
II.3.2. RESULTAT D'UNE SIMULATION PHYSIQUE D'UN RETORS IRREGULIER	21
II.3.3. TORSION	24
II.4. TORSION ET RESISTANCE DU FIL A LA TRACTION	27
II.4.1. INFLUENCE DES FIBRES SUR LA RESISTANCE A LA TRACTION DU FIL	27
II.4.2. CARACTERISTIQUES DYNAMOMETRIQUES DES FILES	31
II.4.2.1. Tenacité-allongement.	
II.4.2.2. Influence des caractéristiques des fibres sur la tenacité-allongement.	
II.4.2.3. Influence de la torsion sur la tenacité-allongement.	
II.5. ANALYSE STATISTIQUE UTILISEE	35
II.5.1. ELIMINATION DES VALEURS ANORMALES	35
II.5.2. NOMBRE DE CLASSES ET INTERVALLES ENTRE LES CLASSES	36
II.5.3. MOYENNE ARITHMETIQUE ET ECART-TYPE	37
II.5.4. COEFFICIENT DE VARIATION	37
II.5.5. INTERVALLES DE CONFIANCE	38
II.5.5.1. Erreur absolue de la moyenne.	
II.5.5.2. Erreur relative de la moyenne.	
II.5.5.3. Erreur absolue de l'écart-type.	
II.5.6. CORRELATION DES DONNEES BRUTES	39
II.5.6.1. Coefficient de corrélation "C".	
II.5.6.2. Détermination de la liaison entre la torsion et la masse linéique.	
II.5.6.3. Transformation χ de Fisher.	
II.5.6.4. Erreur absolue de la transformation.	
II.5.6.5. Intervalle de confiance du coefficient de corrélation.	
II.5.7. CHOIX DU MODELE MATHEMATIQUE DE LA DEPENDANCE	41
II.5.8. TEST DE SIGNIFICATION DES PARAMETRES ESTIMES.....	43
II.5.8.1. Variance résiduelle D_{2y} .	
II.5.8.2. Variance de B_1 (D_4).	
II.5.8.3. Variance de B_0 (D_6).	
II.5.8.4. Critères calculés de Student, T_c .	
II.5.9. TEST D'EFFICACITE DE L'AJUSTEMENT ET COEFFICIENT DE CORRELATION "R"	44
II.5.10. VERIFICATION DE L'ADEQUATION DU MODELE	45

CHAP.III: PARTIE EXPERIMENTALE

III.1. MATIERE PREMIERE	46
III.2. MECHE	49
III.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	51
III.4. REGLAGE DU CONTINU A FILER	51
III.4.1. TRAIN D'ETIRAGE.	
III.4.2. SYSTEME DE TORSION.	
III.4.3. CHOIX DE LA VITESSE DES BROCHES.	
III.5. METHODOLOGIE DES ESSAIS	56
III.5.1. SERIE A UNE MECHE.	
III.5.2. SERIE A DEUX MECHE.	
III.5.3. SERIE A TROIS MECHE.	
III.6. CONTROLE DE L'IRREGULARITE PAR L'USTER	60
III.7. CONTROLE DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE	61
III.8. CONTROLE DE LA FORCE ET DE L'ALLONGEMENT DE RUPTURE	62

CHAP.IV: RESULTATS EXPERIMENTAUX

IV.1. IRREGULARITE DE LA MASSE LINEIQUE	64
IV.2. DEFAUTS DES FILES	65
IV.3. SPECTRES DES LONGUEURS D'ONDE	67
IV.4. LA TORSION ET LA MASSE LINEIQUE	72
IV.4.1. VALEURS MOYENNES.	
IV.4.2. IRREGULARITES $C_{vT}\%$ ET $C_{vt}\%$.	
IV.5. LA RESISTANCE ET L'ALLONGEMENT	74
IV.5.1. VALEURS MOYENNES.	
IV.5.2. IRREGULARITES $C_{vR}\%$ ET $C_{vA}\%$.	
IV.6. CORRELATION DES DONNEES BRUTES	76
IV.6.1. LA CORRELATION TORSION-MASSE LINEIQUE.	
IV.6.2. LA CORRELATION RESISTANCE-ALLONGEMENT.	
IV.7. DETERMINATION DES MODELES MATHEMATIQUES	79
IV.8. COEFFICIENTS DE CORRELATION DES MODELES MATHEMATIQUES OBTENUS	84
IV.9. TESTS DE SIGNIFICATION DES COEFFICIENTS DE REGRESSION ET DES EQUATIONS, DES MODELES MATHEMATIQUES, OBTENUS	84

CHAP.V: INTERETS ET LIMITES DE LA METHODE EXPERIMENTALE

V.1. ETUDE COMPARATIVE AVEC LES RESULTATS DES METHODES D'ANALYSE THEORIQUE	86
V.1.1. IRREGULARITES ET DEFAUTS DES PRODUITS	86
V.1.2. RESISTANCE ET ALLONGEMENT	88
V.1.3. TORSION ET MASSE LINEIQUE	89
V.1.4. CORRELATION	91
V.2. ETUDE COMPARATIVE AVEC LES RESULTATS DU MILIEU INDUSTRIEL	92
V.2.1. IMPORTANCE DU CONTROLE DE LA QUALITE	92
V.2.2. INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LA QUALITE DU PROCESSUS TECHNOLOGIQUE	93
V.2.3. RELATION TORSION-PRODUCTION	95
V.3. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS	97
V.3.1. FACTEURS IMPORTANTS INFLUANT SUR LA QUALITE DES FILES	97
V.3.2. INFLUENCE DE LA TORSION SUR LE TISSU	99
V.3.3. CONSEQUENCE DE LA TORSION SUR LA TEINTURE OU COLORANT	99
V.3.4. DOMAINES D'APPLICATION POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE DU FIL DE COTON CARDE	100
V.3.5. LIMITES DE LA METHODE ET PERSPECTIVES DE SON DEVELOPPEMENT	101

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE I

ANNEXE II

ANNEXE III

ANNEXE IV

ANNEXE V

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été mené, en majeure partie, aux laboratoires de filature et des matières textiles de l'Institut National des Industries Manufacturières (I.N.I.M.), sous la conduite de Monsieur le Professeur G.S. ZARETSKAS. Je le prie d'accepter, en cette occasion, le témoignage de ma profonde reconnaissance, pour avoir bien voulu accepter de diriger ce travail.

Je voudrais témoigner ma très profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur N. ACHNINE (Académicien; AGT St-Petersbourg) d'avoir accepté de diriger ce travail. qu'il trouve en ces lignes ma respectueuse gratitude pour sa bienveillante disponibilité, ses encouragements, son expérience et ses conseils éclairés, dont j'ai pus bénéficier et grâce auxquels ce travail a pu progresser.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur A. KOUDINOV, je le prie d'accepter mes plus sincères remerciements pour conseils prodigués et ma respectueuse gratitude pour l'honneur qu'il a bien voulu me faire en examinant ce travail.

Que Monsieur M.BAKAR, Maître de Conférence et chargé de la post-graduation à l'I.A.P., trouve en ces lignes ma respectueuse gratitude pour l'honneur qu'il a bien voulu me faire en acceptant la présidence du jury de ma soutenance.

Que Monsieur T. OUCHFOUN trouve en ces lignes ma respectueuse gratitude pour l'honneur qu'il a bien voulu me faire en examinant ce travail.

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui, à des degrés divers, ont contribué à la présentation de ce mémoire.

RESUME

Se situant en amont des autres branches des textiles classiques, la filature en constitue l'élément principal. Aussi, une étude des caractéristiques d'irrégularité du fil s'avérerait indispensable, tant pour l'amélioration de la qualité des produits obtenus que pour l'augmentation du rendement.

Le présent travail a pour objet l'étude des caractéristiques d'irrégularité du fil de coton cardé. Il consiste en l'analyse de l'influence de la distribution de la torsion le long d'un fil soumis à des variations d'épaisseurs. De par leurs importances, la torsion et la masse linéique influent directement sur la qualité et sur le rendement du produit.

En vue de faire varier la vitesse de la broche, entraînant la variation de la torsion du fil, un dispositif expérimental a été mis au point. Pour obtenir ces variations, les filés ont été fabriqués à partir d'une seule mèche, des assemblages de deux mèches et de trois mèches.

L'analyse statistique, des données expérimentales, montre l'existence d'une liaison étroite entre les paramètres du fil, d'une part, et entre ces derniers et les paramètres de la production, d'autre part.

En effet, les résultats obtenus ont montré une corrélation négative entre la torsion et la masse linéique; une diminution des irrégularités, lorsque l'épaisseur des fils augmente; de même qu'une augmentation de la torsion et de l'épaisseur du fil favorise la résistance du filé. Par ailleurs, les dépendances obtenues montrent que la torsion des filés, de masses linéiques différentes, se comportent différemment, confirmant l'hypothèse de l'existence d'autres facteurs d'influence.

Nos résultats peuvent introduire une amélioration importante du rapport qualité-prix, si lors de la planification de la gamme de production, on prend en considération le degré de vieillissement des machines.

LISTE DES TABLEAUX

Tabl.N3-01	Caractéristiques moyennes des fibres	p.46
Tabl.N3-02	Caractéristiques des fibres obtenues des diagrammes "Hauteur" et "Barbe"	p.49
Tabl.N3-03	Valeurs de base utilisées pour la réalisation de l'expérience	p.56
Tabl.N3-04	Nombres de tours de la broche réglés pour la fabrication des filés	p.59
Tabl.N4-01	Irrégularités $U\%$ et $Cv\%$ USTER	p.64
Tabl.N4-02	Défauts des filés	p.65
Tabl.N4-03	Défauts et longueurs d'onde	p.68
Tabl.N4-04	Valeurs moyennes de la torsion et de la masse linéique	p.73
Tabl.N4-05	Irrégularités de la torsion $Cv_T\%$ et de la masse linéique $Cv_t\%$	p.73
Tabl.N4-06	Valeurs moyennes des caractéristiques des filés	p.75
Tabl.N4-07	Valeurs des irrégularités $Cv_R\%$ et $Cv_A\%$	p.75
Tabl.N4-08	Valeurs des coefficients de corrélation torsion-masse linéique	p.76
Tabl.N4-09	Valeurs des coefficients de corrélation résistance-allongement	p.76
Tabl.N4-10a, b et c	Valeurs principales des droites de régression	p.79
Tabl.N4-11	Dépendances torsion-masse linéique obtenues	p.80
Tabl.N4-12	Corrélation torsion-masse linéique des valeurs ajustées par la méthode des moindres carrés	p.84
Tabl.N4-13a, b et c	Valeurs d'estimation des coefficients et des modèles	p.85
Tabl.N5-01	Valeurs moyennes de l'irrégularité	p.86
Tabl.N5-02	Défauts des filés	p.87
Tabl.N5-03	Caractéristiques dynamométriques des filés	p.88
Tabl.N5-04	Valeurs tabulées de l'indice de Barnet	p.93
Tabl.N5-05	Valeurs des irrégularités des fils obtenus	p.93
Tabl.N5-06	Caractéristiques de certains filés de coton cardé (100 %) produits par les unités COTITEX	p.95
Tabl.N5-07	Écarts de torsion des filés produits par certaines unités COTITEX	p.96
Tabl.N5-08	Évolution des coûts du coton brut et de fabrication pour la période 1988-1991	p.98

LISTE DES FIGURES

Fig.2.01-Courbe variance-longueur hypothétique	p.16
Fig.2.02-Schéma de torsion d'un élément de fibre	p.20
Fig.2.03-Torsion dans les zones en fonction de la torsion donnée	p.23
Fig.2.04-Torsion dans les zones en fonction de la masse linéique	p.23
Fig.2.05-Schéma de torsion d'un tronçon de fil	p.25
Fig.2.06-Schéma de torsion d'un faisceau de fibres	p.29
Fig.2.07-Schéma de détermination des parties des fibres qui se rompent et celles qui glissent	p.30
Fig.2.08-Forces agissant sur un élément de fibre pendant la torsion	p.33
Fig.2.09-Courbe de variation torsion-résistance	p.34
Fig.3.01-Diagramme "Hauteur"	p.48
Fig.3.02-Diagramme "Barbe"	p.48
Fig.3.03-Diagramme d'irrégularité de la mèche	p.49
Fig.3.04-Processus technologique d'une filature cardée (du mélange à la mèche)	p.50
Fig.3.05-Schéma technologique du continu à filer P-83-5M avec le dispositif expérimental	p.52
Fig.3.06-Schéma du train d'étirage BP-2	p.53
Fig.3.07-Schéma de réalisation de la série 01	p.57
Fig.3.08-Schéma de réalisation de la série 02	p.58
Fig.3.09-Schéma de réalisation de la série 03	p.58
Fig.4.01-Coefficient de variation en fonction du Tex du fil	p.66
Fig.4.02-Influence de la masse linéique sur les défauts des filés	p.66
Fig.4.03-Spectrogramme de la mèche	p.68
Fig.4.04-Spectrogrammes et diagrammes du fil γ_{12}	p.69
Fig.4.05-Spectrogrammes et diagrammes du fil γ_{22}	p.70
Fig.4.06-Spectrogrammes et diagrammes du fil γ_{32}	p.71
Fig.4.07-Dépendance Cv Torsion, Cv Masse linéique (Tex)	p.77
Fig.4.08-Résistance et allongement en fonction du Tex	p.77
Fig.4.09-Résistance et allongement en fonction de la torsion	p.78
Fig.4.10-Coefficient de corrélation en fonction du Tex et de la torsion	p.78
Fig.4.11-Dépendance torsion-masse linéique des filés de la série 1	p.81
Fig.4.12-Dépendance torsion-masse linéique des filés de la série 2	p.82
Fig.4.13-Dépendance torsion-masse linéique des filés de la série 3	p.83

PRINCIPAUX SYMBOLES

T-Taux de torsion du fil,	(t/m);
T _f -masse linéique du fil, Tex,	(g/km);
T _m -masse linéique de la mèche, Tex,	(g/km);
N _m -numéro métrique de la mèche,	(m/g);
N _f -numéro métrique du fil,	(m/g);
N _{fb} -finesse de la fibre,	(m/g);
T _{fb} -grosueur de la fibre, mTex,	(g/m);
R _f -résistance du fil,	(cN);
E _f -allongement à la rupture du fil,	(mm);
R _{fb} -résistance moyenne des fibres,	(cN);
L _t -longueur technique des fibres,	(mm);
L _f -longueur moyenne des fibres,	(mm);
n-nombre moyen de fibres dans la section du produit;	
S ₁ -série d'essais à une mèche;	
S ₂ -série d'essais à deux mèches;	
S ₃ -série d'essais à trois mèches;	
T _{f1} , T _{f2} , T _{f3} -masses linéiques des filés correspondant respec-	
tivement à S ₁ , S ₂ et S ₃ ,	(g/km);
γ ₁ , γ ₂ , γ ₃ -variantes correspondant à S ₁ , S ₂ et S ₃ , sans préci-	
sion du niveau de torsion;	
γ ₁₁ -fil de la série S ₁ correspondant au 1 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₁₂ -fil de la série S ₁ correspondant au 2 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₁₃ -fil de la série S ₁ correspondant au 3 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₂₁ -fil de la série S ₂ correspondant au 1 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₂₂ -fil de la série S ₂ correspondant au 2 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₂₃ -fil de la série S ₂ correspondant au 3 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₃₁ -fil de la série S ₃ correspondant au 1 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₃₂ -fil de la série S ₃ correspondant au 2 ^{er} niveau de torsion;	
γ ₃₃ -fil de la série S ₃ correspondant au 3 ^{er} niveau de torsion;	
n _b -nombre de tours de la broche,	(t/min);
n ₁₁ , n ₁₂ , n ₁₃ -nombres de tours de la broche correspondant	
respectivement à γ ₁₁ , γ ₁₂ et γ ₁₃ ,	(t/min);
n ₂₁ , n ₂₂ , n ₂₃ -nombres de tours de la broche correspondant	
respectivement à γ ₂₁ , γ ₂₂ et γ ₂₃ ,	(t/min);
n ₃₁ , n ₃₂ , n ₃₃ -nombres de tours de la broche correspondant	
respectivement à γ ₁₁ , γ ₁₂ et γ ₁₃ ,	(t/min);
n _c -nombre de tours du curseur,	(t/min);
V _c -vitesse du curseur,	(m/s);
D _a -diamètre de l'anneau,	(mm);
V _I -vitesse du premier cylindre du train d'étirage,	(m/min);
P _r -production réelle de la machine,	(kg/h);
C _{tu} -coefficient de temps utile;	
C _{ef} -coefficient d'équipement fonctionnel;	
C _{um} -coefficient d'utilisation machine;	
E _t -étirage total de la machine;	
e ₁ , e ₂ -étirages partiels de la machine;	
U-irrégularité du produit,	(%);
C _v -coefficient de variation du produit,	(%);
C _{vt} -coefficient de variation de la masse linéique	(%);
C _{vt} -coefficient de variation de la torsion du fil,	(%);
C _{vr} -coefficient de variation de la résistance du fil,	(%);
C _{va} -coefficient de variation de l'allongement du fil,	(%);
C _{v(L)} -irrégularité rapportée à la longueur de coupe,	(%);

CvE-irrégularité effective,	(%);
L-longueur de coupe, (ici L=250 mm),	(mm);
I _r -indice d'irrégularité;	
I _B -indice de BARNET;	
λ-longueur d'onde du défaut,	(mm);
M _t -moment de torsion,	(N.m);
τ-contrainte de cisaillement,	(N/mm ²);
G-module de cisaillement du fil,	(N/mm ²);
I _o -moment d'inertie polaire,	(cm ⁴);
d-diamètre du fil,	(mm);
ℓ-longueur du tronçon de fil,	(mm);
h-hauteur du tronçon de fil,	(mm);
g-masse du fil,	(gr);
δ-masse volumique du fil,	(gr/cm ³);
V-volume du fil,	(cm ³);
γ _f -masse spécifique du fil,	(gr/mm ³);
α _T -coefficient de torsion dans le système tex,	(T _f ^{1/2} /m);
α _m -coefficient de torsion dans le système métrique,	(T _f ^{1/2} /m);
α _c -coefficient de torsion critique,	(T _f ^{1/2} /m);
γ -angle de torsion,	(deg);
β-angle de torsion par unité de longueur,	(deg/mm);
ε _x -allongement relatif,	(%);
σ -tension de rupture,	(N/mm ²);
E-module d'élasticité,	(N/mm ²);
T _d -torsion donnée à l'éprouvette (retors),	(t/m);
T _{zi} -torsion réelle dans une zone "i" du retors,	(t/m);
T _{fzi} -masse linéique du fil dans une zone "i",	(g/km);
δ _{zi} -masse volumique du fil dans une zone "i",	(g/cm ³);
G _{zi} -module de cisaillement du fil dans la zone "i",	(N/mm ²);
N-taille de l'échantillon;	
Y _m , X _m -moyennes arithmétiques, respectivement de T et T _f ;	
D _t -écart type de la série statistique;	
α-seuil de signification ou seuil de confiance, (α=5%);	
P-probabilité de confiance, (P=95%);	
C-coefficient de corrélation des valeurs brutes;	
R-coefficient de corrélation des valeurs ajustées;	
Z _c -quantile de la loi normale réduite, (Z _c =1,96);	
T _c -critère de Student calculé;	
T _t -critère de Student tabulé;	
F _c -critère de Fischer calculé;	
F _t -critère de Fischer tabulé;	
ν ₁ , ν ₂ -degrés de liberté;	
k-nombre de coefficients de regression;	
B _o -coefficient libre de la droite de regression.	
B ₁ -pente de la droite de regression;	

INTRODUCTION

L'industrie algérienne de la filature de coton se caractérisait, au lendemain de l'indépendance nationale, par un faible potentiel de production, l'inexistence d'une main-d'oeuvre qualifiée et une forte dépendance vis à vis de l'étranger. Aussi l'ALGERIE met en oeuvre une politique dynamique de développement de l'industrie textile, en vue de répondre aux besoins de la population en produits textiles. Grâce à d'importants investissements, le secteur connaît une importante expansion.

Prévue au départ pour pourvoir le secteur privé national en filés, l'industrie textile de la filature connaît toujours des faiblesses et reste confrontée à un certain nombre de difficultés.

Malgré les performances réalisées depuis, elle reste très en deça de ses capacités; les raisons sont multiples, mais les principales restent: la faiblesse des approvisionnements, en matière première de base et en pièce de rechange; l'insuffisance dans la maîtrise du processus de fabrication, insuffisance qui concerne surtout la qualité des produits, ainsi que la vétusté des équipements.

En dépit d'une conjoncture difficile, l'industrie de la filature se doit d'être performante et compétitive, afin de répondre aux besoins du secteur national du textile et d'une population de plus en plus exigeante, de faire face à une forte concurrence des produits étrangers, ainsi qu'à des charges de plus en plus élevées, qui pénalisent toute modernisation et parfois simplement une maintenance correcte.

La filature est l'ensemble des opérations qui consistent à transformer les fibres textiles en un fil de grosseur déterminée. Le filé produit est destiné à être utilisé dans le tissage (chaîne et trame), dans la bonneterie, ou encore, par assemblage et torsion avec d'autres filés, dans la production du fil à coudre, de la ficelle, des cables et cordes, etc... . Comme la filature se trouve en amont des autres branches des textiles classiques (tissage, finissage, confection, etc...), elle joue un rôle important pour le développement de la branche.

En filature, la qualité de la matière première joue un rôle primordial. Des études ont montré une forte corrélation entre les caractéristiques des fibres et celles des filés. La qualité des fibres influe beaucoup sur celle des filés. Des variations incontrôlées dans le mélange de la matière brute, conduisent à des variations des taux des casses de fils et amènent une baisse de la qualité et un accroissement des coûts de fabrication au filage. D'ailleurs, les arrêts des métiers à tisser, dûs à des casses de fils, concernent directement les paramètres de résistance, d'élasticité et de régularité des filés.

En filature, le problème de la qualité revêt une grande importance, et reste complexe. Ce problème concerne non seulement la matière première, mais aussi l'homme et la machine. Surtout que des fibres de qualités différentes, ne peuvent donner que des fils de qualités différentes, car la matière première ne s'adapte pas automatiquement aux machines.

La fabrication d'une gamme de fils peut être, à priori, projetée sur la base des caractéristiques des fibres (longueur, finesse, résistance, etc...). Pour situer l'origine des défauts, le contrôle des demi-produits et produits, en cours de fabrication, reste indispensable.

En respectant les paramètres de torsion et de régularité de la masse linéique des filés, la production des continus à filer, s'améliore en quantité et qualité (meilleures résistance, régularité, etc...).

Dans le cadre de ce travail, dont l'objet est l'étude des caractéristiques d'irrégularité du fil de coton cardé dans l'industrie textile algérienne, on traitera des caractéristiques de la torsion et de la masse linéique (tex). De par leurs importances, ces caractéristiques touchent directement à la qualité et au rendement du produit. De la torsion dépend la résistance; un fil peu tordu est peu résistant et un fil trop tordu perd de sa qualité et devient rigide. Selon la destination du filé, on donne une faible ou forte torsion. Le fil destiné à la chaîne reçoit une torsion plus grande que celui destiné à la trame ou celui de bonneterie. La torsion dépend de la matière première, de la qualité du processus de fabrication et des paramètres de production. Au continu à filer, l'utilisation de grandes valeurs de la torsion provoquent le rétrécissement du fil. Un tel fil est rigide et perd de son élasticité. Au contraire, de faibles valeurs de torsion engendrent un fil de faible résistance.

Aussi, le bon choix de la torsion des fils, en fonction de leurs masses linéiques, reste une préoccupation majeure du filateur.

Beaucoup de travaux théoriques ont traité de la relation directe entre la torsion et la masse linéique des filés.

En pratique, cette relation est complexe, et elle sujette à des variations, qui sont souvent, de natures très diverses.

La torsion représente un enjeu certain pour les unités de production. Des gains substantiels peuvent être obtenus, seulement, en manipulant les valeurs de la torsion des différentes gammes de filés. Aussi, nous allons apporter notre modeste contribution à l'étude de ce problème qui demeure important et spécifique à certaines unités de production.

Ainsi, on a procédé à l'étude de la distribution de la torsion le long d'un fil soumis à des variations d'épaisseurs. Les fils sont fabriqués sur le continu à filer à anneaux, en trois (03) séries (S_1 , S_2 et S_3). Chaque série comprend trois variantes (γ_1 , γ_2 et γ_3); à chacune des variantes correspond un niveau de torsion, obtenu par la variation de la vitesse de la broche d'un continu à filer. Cette variation est obtenue grâce à un dispositif expérimental, préparé par nos soins, installé sur le bâti de la machine et comportant un moteur électrique à vitesse réglable.

Pour chaque filé, on a déterminé les paramètres de la torsion, de la masse linéique, de la résistance et de l'allongement à la rupture, ainsi que leurs irrégularités et les corrélations entre la torsion et la masse linéique d'une part, et entre la résistance et l'allongement d'autre part. Par la méthode des moindres carrés ordinaires, on a ajusté les valeurs de la torsion et de la masse linéique (Tex) pour obtenir les modèles mathématiques des dépendances.

CHAP.I: CADRE DE L'ETUDE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

I.1. CADRE ET OBJET DE L'ETUDE

Le présent travail a pour objet l'étude des caractéristiques d'irrégularité du fil de coton cardé.

Ces caractéristiques sont représentées par la masse linéique (tex), la torsion (t/m) et la résistance à la rupture (cN).

On s'intéresse aux fils fabriqués sur continus à filer autrement dit, le fil obtenu au moyen de la torsion (par opposition aux filés produits par collage, par feutrage ...).

La production de filés, sur continus, représente presque 100 % de la production algérienne de filés de coton. La filature open-end (OE) à rotor n'occupe qu'une très faible place, (environ 500 têtes de filage en production).

Les filés produits sur continus sont destinés: soit au tissage (chaîne et trame), soit à la bonneterie, soit par assemblage et torsion avec d'autres filés à la production du fil à coudre, de la ficelle, des câbles et cordes

Par cette étude, on essayera de contribuer à l'amélioration de la production des continus à filer, en quantité et qualité par le respect des paramètres de torsion et de régularité de la masse linéique des filés.

Dans ce chapitre on traitera, brièvement, de l'évolution de la filature du coton dans l'industrie textile en général et algérienne en particulier et des problèmes qui lui sont posés, ainsi que la présentation de la démarche méthodologique de ce travail de recherche.

I.1.1. LA FILATURE DE COTON DANS L'INDUSTRIE TEXTILE

La production textile est l'une des plus anciennes branches de l'industrie. La filature du coton a été connue, en Egypte, il y a de cela 10 000 ans [01]. Par filature, on entend l'ensemble des opérations nécessaires à la transformation des fibres brutes en fils. Les fils sont la base de tout article textile tissé ou tricoté.

La fibre brute, est la fibre telle que l'achète le filateur. Le coton fibre est cultivé, récolté sous forme de produit agricole puis égrené et conditionné sous forme de balles.

La filature est l'ensemble des opérations qui consistent à transformer les fibres brutes en un fil de grosseur fixée d'avance. Elle constitue donc le cycle des opérations qui aboutissent à la fabrication textile. Son principe est simple: tirer les fibres, d'une masse fibreuse désordonnée, les placer parallèlement les unes par rapport aux autres en une sorte de boudin fragile de la grosseur du pouce (ruban), puis affiner progressivement celui-ci en l'étirant, mais aussi en le tordant,

pour qu'il ne se rompe pas (mèche). C'est en renouvelant l'étirage et la torsion, sur cette ensemble de fibres parallèles de plus en plus affiné, que l'on obtient le fil.

L'application de ce principe, à priori simple, est rendue assez complexe par la diversité des caractéristiques propres aux différentes matières textiles que l'on traite; particulièrement la fibre de coton, dont le comportement est influencé par les conditions climatiques.

L'opération de filage sur continu à filer à anneaux (caf) consiste à affiner les mèches du banc à broches (bab) pour former un fil de masse linéique déterminée et à lui communiquer une torsion nécessaire en vue d'obtenir une résistance, une souplesse et une élasticité déterminées.

Le continu à filer exécute ordinairement les processus technologiques suivants:

- * étirage ou affinage des mèches en un fil de masse linéique (tex) déterminée;
- * torsion du fil obtenu, pour lui communiquer la résistance et la souplesse désirées;
- * renvidage du fil sur des fuseaux (cops).

I.1.2. LA TECHNOLOGIE DE LA FILATURE DE COTON ET SON EVOLUTION

La filature de coton date de plusieurs millénaires, mais la première fileuse n'est apparue qu'au 18^{ème} siècle. C'est la machine de filature de John WHITE, inventée en 1735 [02], qui a annoncée la révolution industrielle.

Par la suite, en 1764 [01], l'anglais James HARGREAVES créa sa machine "Jenny" première fileuse dans le monde. Plus tard, en 1790, un autre anglais, Samuel CRAMPTON [01], proposa une machine plus commode, qu'il a appelée "métier intermittent ou selfacting". Et le 1^{er} métier continu n'est apparu qu'en 1825.

C'est par la branche du textile que l'industrie a pris l'essor; constitués durant le siècle passé, les procédés de production textile (filature, tissage et finissage) n'ont connu un véritable développement qu'après la seconde guerre mondiale. Dès les années quarante, les selfacting (renvideurs) se voient remplacés, par des continus à filer à anneaux, avec des trains d'étirage ayant des taux d'environ égal à 20. Actuellement, les trains à double manchons, installés sur des caf à alimentation par mèches, ont un taux de l'ordre de 60 et même plus (par exemple ceux de la firme SKF ALLEMAGNE). Leur construction s'est perfectionnée continuellement et la qualité des matériaux améliorée. Aussi, si l'on compare les paramètres essentiels, des caf d'aujourd'hui à ceux de 1890, on peut indiquer [03] que:

- * la puissance des trains d'étirage a augmenté de 4+60;
- * le diamètre de l'anneau a augmenté de 38+75 mm;
- * la course du chariot est passée de 140+350mm;
- * la vitesse des curseurs [04], jusqu'à 52 m/s.

Il faut également noter que le caf a, depuis ce temps, subi plusieurs perfectionnements, notamment:

- * le guide-fil mobile, les anneaux anti-ballons, les

séparateurs, les anneaux tournants, les anneaux et curseurs spéciaux, etc

Grâce à l'amélioration de la qualité des curseurs, des anneaux et de l'équilibre des broches, leur nombre de tours ne cesse d'augmenter pour atteindre, aujourd'hui, 20 000 t/min (caf de la firme ZINSER ALLEMAGNE); surtout après le remplacement du système de commande des broches par sangle, par courroie tangentielle .

La dernière génération des continus à filer à anneaux est à commande tangentielle des broches. Tout le processus de fabrication est automatique (alimentation, arrêts de la mèche en cas de casse de fil, rattaché, levée, transport des fuseaux vers les passages ultérieurs...).

La saisie électronique de toutes les données concernant la machine (casses de fil, rendement de la broche, production ...) se fait directement sur un enregistreur incorporé, ZINSER [05].

Au plan industriel, les caf se voient actuellement concurrencer par les machines open-end (OE) à rotor, surtout en ce qui concerne les gammes de fils de numéros moyens et bas; où la production de ces machines peut parfois atteindre jusqu'à cinq (05) fois celle du caf (avec un nombre de tours du rotor pouvant atteindre 110 000 t/min).

I.1.3. OBJET DE L'ETUDE

Les différentes études théoriques et la pratique ont montré que la torsion joue un rôle important sur la production du continu à filer. Celle-ci est en rapport inverse de la torsion. En effet, un fil ayant subi la torsion retréci; par conséquent il diminue en longueur. S'il diminue en longueur, il y a manque de production (longueur par unité de temps, km/min).

Par ailleurs, la résistance à la rupture du fil dépend directement de la torsion; un fil peu tordu casse facilement; ce qui engendre une grande fréquence de casses de fil sur le caf et sur le métier à tisser (mat), par conséquent le temps de service de la machine augmente (C_{tu} - coefficient de temps utile, diminue et la norme de service aussi), ce qui occasionne des frais supplémentaires et diminue le rendement.

Une forte torsion retréci le fil , le rend rigide et parfois fragile, ce qui occasionne une perte de production due à la longueur fabriquée et à l'augmentation du nombre de ruptures.

En outre, la destination de l'article ne permet pas d'appliquer n'importe quelle valeur de la torsion. Habituellement, un fil de chaîne n'aura pas la même torsion qu'un fil de trame ou qu'un fil devant subir la teinture. C'est pourquoi, le choix de la torsion doit obéir aux critères suivants:

- la qualité de la matière première;
- la destination et la qualité de l'article;
- la production.

La torsion coûte de l'argent, aussi, il faut l'utiliser rationnellement.

I.2. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Comme approche de cette étude, on a analysé la répartition de la torsion le long d'un fil retors irrégulier simulé, dont la méthode et les résultats sont présentés au chap.II § II.3.2. Analogiquement, on a étudié la distribution de la torsion le long d'un fil simple soumis à des variations d'épaisseur. Le fil sera fabriqué sur le caf à anneaux en trois séries (S₁, S₂ et S₃) respectivement à partir d'une seule mèche de l'assemblage de deux mèches et de trois mèches.

Chaque série comprendra trois variantes γ_1 , γ_2 et γ_3 (cf. fig.3-07, 3-08 et 3-09). Chaque variante a son niveau de torsion (cf.tabl.N3-04). Mais pour faire varier la torsion du fil, il faut adapter un système qui permet de changer: soit la vitesse de la broche, soit le pignon de torsion Z_t , lié directement à la vitesse du cylindre délivreur V_I . Pratiquement, la torsion est donnée par la relation suivante:

$$T = \frac{n_b}{V_I \cdot C_r} \quad (t/m), \quad (1-01) ;$$

où : C_r - coefficient de rétrécissement.

n_b - nombre de tours de la broche (t/min).

Avec un dispositif, préparé par nos soins, qui permet de changer la torsion en faisant varier " n_b " et en maintenant $V_I = \text{const.}$, autrement dit, avec un pignon de torsion $Z_t = 46$ dents.

Ce dispositif, (cf.§.III-3, fig.3-05)), permet d'entraîner la broche, dont la vitesse est contrôlée par un stroboscope, indépendamment de la transmission de la machine.

Les variations d'épaisseurs d'un produit de filature résultent des différentes étapes du processus de fabrication; mais comme on estime les produits de COTITEX AKB0U de qualité appréciable, on s'est limité à l'analyse des caractéristiques de la matière 1^{ère} de base et de la mèche.

I.2.1. IRREGULARITE DE LA MASSE LINEIQUE

Sur l'USTER TESTER IB (installé au laboratoire de contrôle des matières textiles de l'INIM), on a contrôlé l'irrégularité de la masse linéique des fils.

On a ainsi obtenu les variations des épaisseurs, exprimées par les irrégularités moyennes $U\%$, ainsi que les nombres moyens de défauts de structures (points minces, points gros et boutons) de chaque filé.

Les résultats obtenus permettront d'apprécier la qualité des produits obtenus ainsi que l'état des équipements utilisés pour leur fabrication, grâce aux diagrammes et spectrogrammes (cf. fig.4-04, fig.4-05, fig.4-06)

I.2.2. TORSIONS

Par la méthode de la double torsion, la torsion de chaque gamme de fil fabriqué est contrôlée sur le torsiomètre. Le taux de torsion "T" et le poids de chaque éprouvette de fil, de longueur égale à 250 mm, sont déterminés. Connaissant la longueur et le poids de chaque échantillon, on détermine les masses linéiques moyennes " T_f ".

La détermination de ces caractéristiques permet également d'aboutir aux calculs des coefficients de variation respectifs $C_{vT}\%$ et $C_{v\ell}\%$, ainsi qu'aux coefficients de corrélation entre la torsion et la masse linéique des filés.

I.2.3. RESISTANCES ET ALLONGEMENTS

Pour mieux interpréter l'influence de la masse linéique sur la distribution de la torsion, il fallait déterminer les paramètres de résistance et d'allongement des fils; car la résistance est une caractéristique importante du fil. Un fil résistant se comporte convenablement au tissage, de même que l'allongement du fil détermine son élasticité.

Un fil de trame demande un grand allongement; pour cette raison on lui donne une torsion plus faible que celui de la chaîne, sinon on lui fait subir un traitement sur l'évaporiseuse.

Pour toutes ces raisons, on a jugé utile de compléter cette étude par la détermination des caractéristiques dynamométriques de chaque variante de fil. Sur le dynamomètre, on a déterminé la résistance et l'allongement des fils sur des tronçons de 500 mm.

Le choix rationnel des paramètres de production (surtout les écartements et les vitesses) joue un rôle important sur la qualité des produits ainsi que sur l'économie. En effet, l'utilisation de grandes vitesses favorise l'usure rapide des pièces de machines et la naissance des irrégularités supplémentaires dues aux battements et aux vibrations des organes.

La torsion dépend de la matière première, de la qualité du processus de fabrication et des paramètres de production. Au continu à filer, de grandes vitesses de la broche permettent d'obtenir de grandes valeurs de torsion, ce qui provoque le retrécissement du fil qui devient fragile. En revanche de faibles vitesses de la broche donnent de faibles valeurs de torsion, ce qui rend le fil de faible résistance. En plus un mauvais choix de la torsion influe sur la qualité du tissu, autrement dit sur le processus du tissage. Aussi il est primordial de bien choisir la torsion des fils, en fonction de leurs masses linéiques et c'est le but de ce travail.

CHAP.II: PARTIE THEORIQUE

II.1. INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LA QUALITE DU FIL

La filature réceptionne le coton en bourre, sous forme de balles. Les fibres devront ensuite être distribuées sur de grandes longueurs, tout en étant redressées et parallélisées. Dans le fil, le nombre de fibres dans la section transversale doit être presque constant. Les facteurs perturbateurs qui influencent négativement sur le procédé de fabrication doivent être reconnus et saisis par la technique de la métrologie.

Dans la filature de coton, la matière première livrée à l'entreprise n'est pas homogène et la réaction des machines de la filature y est très sensible, surtout dans le cas de variations de longueurs des fibres. Mais il est bien évident que les facteurs telles que la finesse et la résistance des fibres auront également une influence très importante sur le fil. Il serait donc plus avantageux de prévoir un mélange possédant moins de variantes possibles. Car selon M.PREYSCH [06], dans la filature de fils cardés de coton, les frais de la matière 1^{ère} représentent à eux seuls les 2/3 du prix de revient du fil.

II.1.1. INFLUENCE DES PROPRIETES DES FIBRES

Aucune machine de filature ne s'adapte automatiquement aux variations de la matière première. Pour cette raison, les propriétés des fibres doivent être connues, le mieux possible. C'est seulement à partir de cette connaissance qu'il sera possible de réaliser un mélange de matière le plus homogène possible et d'escompter des résultats optimisés, avec des réglages des machines adaptés à cette matière. Le contrôle de la matière première devrait comprendre les caractéristiques suivantes :

- longueurs et régularité de leur distribution;
- finesse;
- résistance à la rupture;
- élasticité;
- degré de maturité;
- proportion de corps étrangers;
- humidité de la fibre;
- couleur.

Pour les besoins de réglage des laminages, il est évident que la présentation du mélange exige, en premier lieu, un triage des balles d'après la longueur des fibres. Mais chaque propriété de la fibre aura une influence sur le procédé de fabrication et la qualité du produit fini.

A titre d'exemple, le coefficient de corrélation "C", entre la résistance d'un fil de masse linéique $T_f = 26,8$ tex et de coefficient de torsion $\alpha_e = 4$ ($\alpha_m = 30,3 \times \alpha_e$), d'une part, et les caractéristiques des fibres d'autre part, est égal à 0,87, [06].

II.1.2. INFLUENCE DE LA VARIATION DES PROPRIETES DU MELANGE

Le rendement et l'efficience d'un tissage dépendent en grande partie des caractéristiques des filés de chaîne et de trame employés. Les arrêts de métiers à tisser dus à des casses de fils, concernent directement les paramètres de résistance, d'élasticité et de régularité des filés.

Les spécialistes de la filature sont unanimes en déclarant "qu'un mélange optimal ne peut être obtenu en manipulant de gros paquets de fibres, bien concentrés". En revanche, le mélange sera beaucoup plus homogène, quand on opère avec des flocons de fibres les plus petits possibles et bien équilibrés en volume; en outre, le mélange doit s'effectuer le plus tôt possible et avec le plus grand ménagement.

Selon H. FUCHS [07], un certain nombre de variations peuvent se présenter entre les balles et à l'intérieur d'une même balle et notamment entre :

- les capsules supérieures et inférieures de l'arbuste;
- la cueillette manuelle ou mécanique;
- les arbustes situés à la périphérie ou au centre du champ cotonnier;
- les arbustes poussant sur une crête ou dans une vallée;
- les différents procédés d'égrenage;
- les influences humaines et finalement les tests individuels ou en séries.

Malheureusement, il n'est pas toujours possible d'avoir des cotons de qualités voisines et il a été démontré par BARNES [08] que pour diminuer de moitié les variations du mélange, résultant de l'alimentation, il faut quadrupler le nombre de balles présentées (c'est à dire 48 au lieu de 12). Par ailleurs, l'adjonction incontrôlée de déchets engendre des variations des propriétés des rubans et des filés et de leur qualité. La condition première est toujours un nettoyage, préliminaire, en profondeur, de la matière.

II.1.3. INFLUENCE DU PROCESSUS DU FILAGE

Au stade final de la filature, plusieurs facteurs influent sur la qualité du fil; en plus de l'influence de la qualité de la matière première brute, d'autres facteurs affectent aussi la qualité du produit de filature. Parmi les plus importants, on peut citer:

* la qualité de la mèche: en effet la mèche porte toutes les conséquences des perturbations des passages précédents (mélange non homogène, mauvais réglages des écartements, mauvais nettoyages, irrégularités, etc...);

* le personnel a également une influence sur le fonctionnement des continus à filer et sur la qualité du filé (mauvaises rattaches, réglages non conformes, ruptures non liquidées, etc...). Selon E. FELIX [09], la filature continue est dans la fabrication du fil, la partie qui comporte les coûts de main-d'oeuvre les plus élevés. La réduction de la fréquence des

casses de fil, conduit non seulement à un accroissement du rendement, mais encore à une amélioration de la qualité du fil. Cependant le progrès technique tend à écarter cette influence humaine par l'automatisation de certaines opérations effectuées jusque là par l'ouvrier.

* les conditions climatiques dans l'atelier de filage doivent être maintenues stables (45% à 60%, [10]), afin d'éviter les variations importantes de l'humidité qui sont parmi les causes des casses de fil

* le continu à filer proprement dit: le bon fonctionnement dépend du choix judicieux des paramètres de fabrication (vitesses, écartements, pressions sur les rouleaux, etc...) et de l'état général de la machine. Aussi, les effets de la fabrication au continu à filer ne doivent pas être négligés.

Une étude effectuée par H.R. GRUNDER [11], montre que les facteurs qui influent sur la vitesse peuvent être de deux types: ceux liés à la vitesse de la broche, notamment :

- la résistance à l'air du ballon de fil;
- la friction du fil contre le guide-fil et les plaques;
- la friction du curseur sur l'anneau;
- la tension de renvidage;
- le mouvement du porte-anneau;
- les composants à effets apériodiques ou agissant différemment d'une broche à l'autre.

Et ceux qui lui sont indépendants, notamment :

- l'irrégularité dans le filé;
- les défauts de la filature et de la préparation;
- les broches mal centrées;
- le mauvais état de l'ensemble anneau-curseur.

II.2. ANALYSE DES CARACTERISTIQUES D'IRREGULARITES DES FILES

L'irrégularité des demi-produits ou du fil est caractérisée par la variation de leurs caractéristiques géométriques et physiques. Une grande irrégularité du fil engendre :

- l'augmentation du nombre de casses de fil sur le caf, sur le métier à tisser (mat), etc...;
- la non filabilité du filé;
- la détérioration de l'aspect extérieur du tissu.

Les causes de l'irrégularité sont de natures très différentes et compliquées. En pratique, il faut toujours *tâcher* de diminuer l'irrégularité du demi-produit et du fil. Les mesures indispensables pour la prévention de l'irrégularité doivent se prendre dans les ateliers de fabrication, du mélange jusqu'au filage. La diminution de l'irrégularité déjà existante peut être réalisée par le doublage de demi-produits ou par la régulation automatique de leurs épaisseurs.

Toutefois, l'obtention d'un fil régulier, à partir de fibres discontinues, est malheureusement limitée par les caractéristiques de celles-ci. Les fibres sont distribuées uniformément le long du fil, et leur nombre, dans une section déterminée, est soumis à des variations aléatoires.

II.2.1. IRREGULARITE LIMITE ET INDICE D'IRREGULARITE

II.2.1.1. Irrégularité limite

On appelle irrégularité limite, l'irrégularité théorique. Différents chercheurs, parmi eux MARTINDALE [12] et HUBERTY [13], ont étudié la théorie de l'irrégularité limite. En admettant que les fibres dans n'importe quelle section transversale du fil soient distribuées suivant la loi de Poisson et que ces fibres soient de mêmes finesses et de longueurs différentes, alors l'irrégularité limite "CvL" (coefficient de variation limite) peut se déterminer par la formule suivante:

$$CvL = \frac{1}{\sqrt{\bar{n}}} \times 100 (\%), \quad (2-01) ;$$

où : $\bar{n}$ - nombre moyen de fibres dans la section transversale du produit;

pour le fil qui comporte des fibres de finesses et de longueurs différentes, on a la relation suivante :

$$CvL = \frac{100}{\sqrt{\bar{n}}} \times \sqrt{1 + 4(Cvd/100)^2} = \frac{100}{\sqrt{\bar{n}}} \times k_f (\%), \quad (2-01a) ;$$

où : Cvd - irrégularité selon le diamètre des fibres, en %;
 k_f - coefficient qui dépend de la nature des fibres
(pour le coton $k_f = 1,06$).

$$k_f = \sqrt{1 + 4(Cvd/100)^2}, \quad (2-01b);$$

comme le nombre de fibres $\bar{n}$ est égal au rapport de la masse linéique du fil T_f , sur celle de la fibre T_{fb} :

$$\bar{n} = \frac{T_f}{T_{fb}}, \quad (2-02) ;$$

alors la formule (2-01a) prend la forme suivante:

$$CvL = 100 \times \frac{\sqrt{T_{fb}}}{\sqrt{T_f}} \times k_f (\%), \quad (2-03) ;$$

mais CvL ne dépend pas de l'irrégularité de la longueur des fibres.

II.2.1.2. Indice d'irrégularité

On appelle indice d'irrégularité " I_r ", le rapport entre l'irrégularité obtenue (effectivement mesurée) CvE (%) et l'irrégularité limite (irrégularité théorique) CvL (%), [14]. L'irrégularité CvE est toujours supérieure à l'irrégularité CvL.

Toutefois, comme l'irrégularité limite représente le cas idéal, il a l'avantage de servir comme grandeur de référence pour l'appréciation de l'irrégularité effective.

$$I_r = \frac{CvE}{CvL} = \frac{CvE}{100 \times k_f} \times \sqrt{\frac{1}{n}} \quad , \quad (2-04) ;$$

L'indice d'irrégularité " I_r " indique la régularité d'un filé et montre de combien de fois il diffère du cas idéal ($I_r=1$), c'est à dire lorsque $CvL\% = CvE\%$.

La finesse des fibres, utilisée pour l'expérience, est donnée en microgramme/inch, (cf.chap.III tabl.N3-01), obtenue sur le micronaire de Sheffield.

L'indice micronaire moyen de ces fibres est égal à 4,3 $\mu g/inch$; et leur finesse est égale, J.A. COLIN [15], à :

$$N_{fb} = \frac{25400}{4,3} = 5907 \text{ mm/mg} ;$$

puisque $I_{fb} = \frac{1000}{N_{fb}}$, alors la grosseur moyenne des fibres est : $I_{fb} = \frac{1000}{5907} = 0,1697 \text{ tex} = 169,7 \text{ mtex}$.

En appliquant la relation (2-02), on obtient le nombre de fibres dans la section transversale du fil (cf. tabl.N5-05).

Les irrégularités linéaires effectivement mesurées $UE\%$ ($Cv=1,25 \times UE$), et les indices d'irrégularité correspondants sont représentés au tabl.N5-05.

Pour comparer les fils d'épaisseurs différentes, on se sert de la caractéristique "indice d'irrégularité de Barnet I_B ", [16].

$$I_B = \frac{CvE}{100 \times k_f} \times \sqrt{\frac{1}{\bar{m}}} \quad , \quad (2-04a) ;$$

où : $\bar{m}$ - nombre de groupes de fibres dans la section transversale du produit.

Pour le modèle de Poisson:

$$\bar{m} = \frac{\bar{n}}{\bar{m}_g} \quad , \quad (2-04b);$$

Lorsque l'équipement est en bon état, le nombre moyen de fibres dans un groupe est déterminé comme suit :

$$\bar{m}_g = 0,25 \times \sqrt[3]{\bar{n}} \quad , \quad (2-04c);$$

la relation (2-04b) devient :

$$\bar{m} = \frac{\bar{n}}{0,25 \times \sqrt[3]{\bar{n}}} \quad , \quad (2-04d) ;$$

En remplaçant $\bar{m}$ par sa valeur dans la relation (2-04a), on obtient:

$$I_B = \frac{CvE}{50 \times k_f} \times \sqrt[3]{\bar{n}} \quad , \quad (2-04c) .$$

Les résultats de calcul des indices de Barnet I_B sont donnés au tableau N5-05.
Lorsque le nombre de fibres $\bar{n} \geq 64$, on utilise l'indice de Barnet I_B , et lorsque $\bar{n} < 64$ on utilise l'indice I_r , [16].

II.2.2. METHODES D'ANALYSE DE L'IRREGULARITE DES DEMI-PRODUITS ET DU FIL

Actuellement, pour le contrôle de la régularité des filés, on se sert de deux grandeurs : l'irrégularité linéaire $U\%$ et le coefficient de variation $Cv\%$.

Il est clair qu'un chiffre à lui seul ne puisse pas décrire toutes les propriétés de l'irrégularité. On peut bien constater que l'irrégularité d'un filé est trop grande, mais a-t-on une quelconque indication sur les origines de celle-ci ?
Il peut arriver aussi qu'un fil d'une irrégularité plus faible engendre un tissu plus mauvais qu'un fil dont l'irrégularité serait plus grande [17].

Les expériences pratiques ont depuis déjà longtemps rendu souhaitable une analyse plus détaillée de l'irrégularité des filés. On connaît à cette effet les méthodes de mise en valeur suivantes :

- * le spectre de longueurs d'onde;
- * la courbe variance-longueur;
- * l'autocorrélation.

II.2.2.1. Le spectre de longueurs d'ondes

Le spectrogramme est représenté par un système de coordonnées où l'axe des abscisses désigne la longueur d'onde (λ) du défaut du produit textile, en échelle logarithmique (de 1 cm à 20 cm, cf. fig.4-03a) et l'axe des ordonnées les moyennes des amplitudes (A) correspondantes, en échelle linéaire.
Pour apprécier les spectrogrammes, on peut les décomposer de la manière suivante :

- * les défauts périodiques : ce sont des défauts engendrés par des garnitures défectueuses, des cylindres excentrés dans les trains d'étirage, des manchons usés, etc.... Ces défauts peuvent être complètement éliminés;

- * les ondes d'étirage : ces défauts dépendent du réglage du train d'étirage et de la qualité des fibres. Ces défauts peuvent être partiellement éliminés ;

- * les irrégularités aléatoires : elles sont dues à la distribution aléatoire des fibres. Celles-ci ne peuvent pas être influencées. Suivant leurs longueurs d'ondes, tous ces défauts peuvent être divisés en quatre groupes :

1°- les variations à très court terme $\lambda < 3,0$ cm : c'est l'irrégularité créée par la vibration (battement) du cylindre délivreur du continu à filer;

2°- les variations à court terme $\lambda = 3,50$ cm : c'est l'irrégularité causée par le battement des cylindres et des rouleaux ainsi que par les fibres flottantes, sur le café;

3°-les variations à moyen terme $\lambda = 50 \text{ cm} \pm 5 \text{ m}$: c'est l'irrégularité due aux défauts du train d'étirage du banc à broches (bab);

4°-les variations à long terme $\lambda > 5 \text{ m}$: c'est l'irrégularité due aux défauts provenant du train d'étirage du dernier passage du banc d'étirage.

Basé sur une méthode capacitive le spectrogramme est obtenu, en même temps que le diagramme, sur le régularimètre USTER TESTER IB, (cf.chap.III §.III.6).

Les défauts sus-cités sont mis en évidence sur le spectrogramme et sur le diagramme, mais ils sont difficilement détectables sur ce dernier. C'est pourquoi, pour les interpréter, il est plus aisé d'utiliser le spectrogramme [17]. Au cours du même essai, l'appareil met en évidence plusieurs caractéristiques d'irrégularité du fil: l'irrégularité $U\%$, les nombres de points gros, de points minces et les boutons (neps), (cf. tabl.N4-02).

II.2.2.2. La courbe variance-longueur

Les valeurs des irrégularités obtenues par les méthodes gravimétrique et capacitive sont différentes. Ces différences s'expliquent par le fait que les longueurs d'essais utilisées sont différentes.

En effet, sur l'USTER TESTER IB (fentes de mesure 4 et 5), la longueur du champ de mesure est égale à 8 mm. Tandis que par la méthode gravimétrique, on a utilisé des tronçons de fil de 250 mm qu'on a pesé. Après avoir formé un échantillon de 50 valeurs, on a déterminé sa moyenne arithmétique, son écart-type et son coefficient de variation (cf.chap.II §.II.5).

Pour pouvoir comparer les résultats obtenus à l'aide de ces deux méthodes, on utilise la théorie de la courbe variance-longueur. Cette théorie, développée par OLERUP [18] et BRENY [19], est définie par les relations suivantes :

$$\frac{B(L)}{B(0)} = 1 - \frac{L}{3 \times \bar{L}_f} \quad \text{pour } L \leq \bar{L}_f, \quad (2-05);$$

$$\frac{B(L)}{B(0)} = \frac{\bar{L}_f}{L} - \frac{\bar{L}_f^2}{3 \times L^2} \quad \text{pour } L > \bar{L}_f, \quad (2-05a);$$

$$\frac{B(L)}{B(0)} = \frac{\bar{L}_f}{L} \quad \text{pour } L \gg \bar{L}_f, \quad (2-05b);$$

où : $B(L)$ - variance "between" en fonction de la longueur L de l'échantillon ;

$B(0)$ - variance totale ;

D'autres part :

$$B(L) = \left[\frac{Cv(L)}{100} \right]^2, \quad (2-05c);$$

$$B(0) = \left[\frac{Cv(0)}{100} \right]^2, \quad (2-05d);$$

où: $Cv(L)$ - coefficient de variation rapporté à la longueur de coupe, en % ;
 $Cv(0)$ - coefficient de variation rapporté à la longueur de 8 mm, (mesuré sur le régularimètre USTER), en % ;

Puisque $L \gg \bar{l}_f$, c'est la relation (2-05b) qui intéresse notre étude; transformée, elle prend la forme suivante :

$$Cv(L) = Cv(0) \times \frac{\sqrt{\bar{l}_f}}{\sqrt{L}} \quad (\%) , \quad (2-05e) ;$$

L'irrégularité obtenue sur l'USTER TESTER IB est exprimée en U%; lorsque le diagramme d'irrégularité suit une distribution normale, USTER [17], on recommande de prendre :

$$CvE = Cv(0) = 1,25 \times U\% , \quad (2-06) ;$$

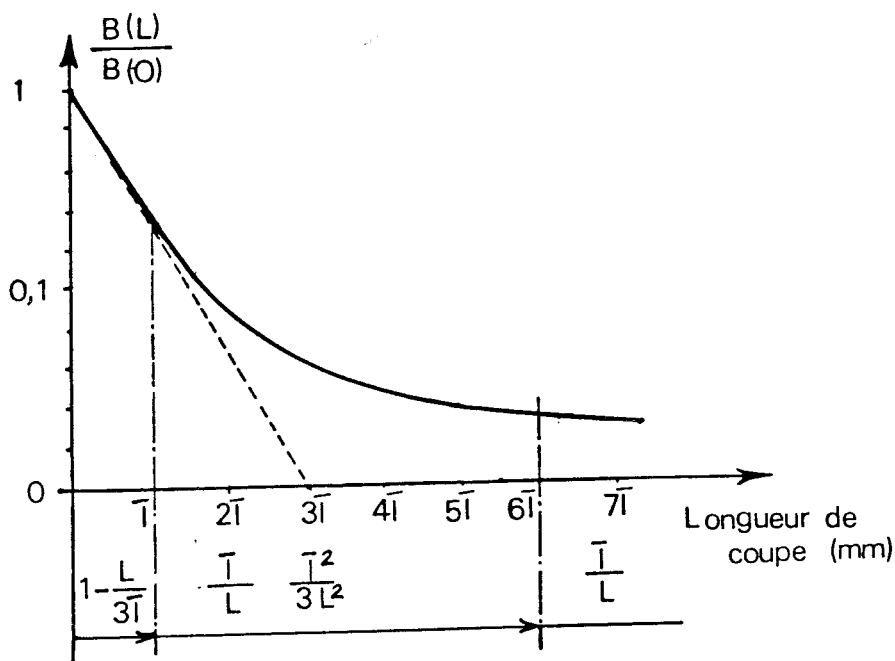


fig.2-01 Courbe variance-longueur hypothétique.

On peut déduire que la valeur de l'irrégularité, exprimée par le coefficient de variation $Cv\%$ ou de l'irrégularité $U\%$, n'a de signification que lorsque la vraie longueur d'essai "L" est connue; car lorsque "L" augmente, le Cv diminue, comme le montre la relation (2-05e) et le graphe de la fig.2-01.

II.2.2.3. L'autocorrélation

WIENER [20], COX et TOWNSEND [21,22] ont prouvé que ces trois méthodes (le spectre des longueurs d'onde, la courbe variance-longueur et l'autocorrélation) d'analyse sont équivalentes au point de vue mathématique. Toutefois, leur utilité pratique est très différente.

Comme la fonction d'autocorrélation s'obtient de façon compliquée. De plus, elle est difficile à interpréter. Elle n'est donc pas d'une valeur pratique intéressante pour l'analyse du fil; pour cette raison, elle ne fera pas l'objet dans cette étude.

II.2.3. INFLUENCE DES POINTS MINCES, DES POINTS GROS ET DES BOUTONS SUR LA QUALITE DU FIL

Ces défauts peuvent influencer la qualité du produit fini. De part leurs fréquences plus ou moins grandes et de leurs dimensions, ils peuvent avoir un effet néfaste sur les procédés ultérieurs de fabrication.

II.2.3.1. Points minces et points gros

Les points minces et les points gros peuvent avoir un effet indésirable sur l'aspect du tissu ou du tricot. Par ailleurs l'augmentation de la fréquence de ces défauts indique que la matière ou les procédés de fabrication se sont dégradés. En raison du nombre de fibres dans la section transversale du fil, les points minces présentent une plus forte torsion.

D'ailleurs, A. BARELLA [23], souligne qu'en dépit de la connaissance du phénomène de l'accumulation de la torsion dans les endroits minces du fil, ce problème n'est abordé que depuis quelques temps.

La résistance à la rupture du fil, en ces endroits, ne diminue pas. Cette diminution est surtout reconnue lorsque la torsion tend vers la torsion critique.

En revanche, dans le cas de points gros, le nombre de fibres dans la section du fil augmente, ce qui engendre une faible torsion et une faible résistance à la rupture.

II.2.3.2. Boutons

Les boutons n'ont pas la même origine que les points minces et les points gros, mais leur présence dans le fil est tout aussi néfaste. Ils peuvent être engendrés par la matière 1^{ère} et par le procédé de fabrication.

Dans le coton les boutons, dûs à la matière 1^{ère}, sont engendrés surtout par les restes de capsules et les fibres non mûres. A la fabrication, les boutons sont engendrés à l'égrenage et surtout au cardage (sur les cardes).

Une étude effectuée, par USTER [17], montre une forte corrélation ($C = 0,944$) entre le nombre de boutons dans le voile de carde et le nombre de boutons dans le fil.

On peut conclure qu'en filature de coton, la matière première joue un rôle important. De la qualité des fibres utilisées dépendra la qualité du fil à fabriquer. La surveillance de la tenue des caractéristiques optimales des demi-produits (voile, rubans cardés et étirés, mèche ...) lors de la fabrication entraîne l'amélioration de la qualité du fil. Les défauts de train d'étirage (écartements mal réglés, étirages mal choisis ...) engendrent des irrégularités de la masse linéique des demi-produits. Ces irrégularités (caractérisées par les endroits minces et gros) vont se retrouver dans le fil et favoriseront la naissance de l'irrégularité de la torsion. Les endroits minces recevront une forte torsion et les endroits gros une faible torsion conformément à la relation (2-15). Une telle structure ainsi que la présence de boutons dans le filé favoriseront, à coup sûr, les casses de fil.

II.3. THEORIE DE LA TORSION

La torsion est une opération indispensable dans la fabrication de la mèche et du filé. Cette caractéristique est d'autant plus importante, car son niveau déterminera la qualité et le comportement des filés et influencera le produit fini (tissu ou tricot). Sur le continu à filer à anneaux, la torsion a lieu entre le curseur et le 1^{er} cylindre du train d'étirage. A chaque tour du curseur sur l'anneau, correspond un tour de torsion du fil.

II.3.1. MOMENT DE TORSION

En mécanique, la torsion est considérée comme une déformation subie par un corps sollicité. Plusieurs auteurs ont traité de ce problème, notamment P. CHILLON et M. KERGUINAS [24], J. COURBON [25], et S. TIMOSHENKO [26]. Des spécialistes du textile, G.V. SOKOLOV [27], ont repris la théorie de la torsion pour l'appliquer aux fils.

L'analyse de cette théorie, appliquée sur un tronçon de fil de section S et S' , distantes de " d_x " et d'une fibre " mn " définie par " ρ_x " sa distance à l'axe (cf.fig.2-02), montre que l'application du moment de torsion M_t crée un pivotement relatif des sections S et S' , d'un angle $d\varphi$ égal à l'arc pm . Soit γ l'angle de déformation (ou de torsion) aussi $\text{tg}\gamma = pm/mn$. Comme l'angle γ est faible, alors on peut écrire que :

$$\text{tg}\gamma \simeq \gamma, \text{ puis } \gamma = pm/mn, \text{ ou bien } pm = \gamma \cdot mn;$$

d'autre part : $mn = d_x$; d'où : $pm = \gamma \cdot d_x$. Puisque pm est l'arc de rayon ρ_x , alors $pm = \rho_x \cdot d\varphi$; ainsi : $\gamma \cdot d_x = \rho_x \cdot d\varphi$ ou bien :

$$\gamma = \rho_x \cdot \frac{d\varphi}{d_x}, \quad (2-07);$$

Pour un fil soumis à la torsion, l'angle de torsion est proportionnel à la longueur et le rapport $d\varphi/d_x$, qui représente l'angle de torsion par unité de longueur, est constant. En designant ce rapport par β , l'équation (2-07) s'écrit :

$$\gamma = \rho_x \cdot \beta, \quad (2-08);$$

la connaissance de la déformation γ , entraîne celle de la contrainte τ , car : $\tau = G.\gamma$; soit :

$$\tau = G.\rho_x.\beta , \quad (2-08a);$$

ou: G module de cisaillement du fil (N/mm^2);

par conséquent la contrainte τ est proportionnelle au rayon ρ_x et sera maximale à la périphérie, c'est à dire :

$$\tau_{\max} = G.\beta .r_x , \quad (2-09) ;$$

La relation entre le moment de torsion et les contraintes qu'il produit est donnée par l'intégrale suivante:

$$M_t = \int_{\varphi} \tau . r_x . d\varphi = \int_{\varphi} G . \beta . r_x^2 . d\varphi = G . \beta \int_{\varphi} r_x^2 . d\varphi , \quad (2-10) .$$

Par définition : $I_o = \int_{\varphi} r_x^2 . d\varphi$, et le moment d'inertie pour une

section cylindrique pleine, soumise à la torsion, est :

$$I_o = \pi . d^4 / 32 \cong 0,1 . d^4 .$$

Ainsi le moment de torsion peut s'écrire de la manière suivante:

$$M_t = G . I_o . \beta , \quad (2-10a);$$

en généralisant le rapport $d\varphi/dx = \beta$ à un fil de longueur l et ayant subi "n" tours de torsion, on obtient :

$$\varphi = 2\pi n \quad \text{et} \quad \frac{\varphi}{l} = \frac{2\pi n}{l} = \beta .$$

Le remplacement de n/l par la torsion T (t/m) donne :

$$\beta = 2\pi T .$$

En portant ce résultat dans l'expression (2-10a), on aura :

$$M_t = 2\pi T . G . I_o = 0,2\pi T . G . d^4 , \quad (2-10b);$$

le diamètre du fil peut être aussi exprimé par sa masse linéique T_f (tex) et son volume peut être déterminé par :

$$V = \frac{\pi d^2}{4} . l , \quad \text{et par définition , le volume } V = g/\delta ;$$

$$\text{d'où : } \frac{g}{\delta} = \frac{\pi d^2}{4} . l \quad \text{et} \quad \frac{g}{l} = \frac{\pi d^2}{4} . \delta$$

Par définition la masse linéique (tex) est exprimée par:

$$T_f = g/l \quad (\text{gr/km}); \text{ ainsi :}$$

$$T_f = \frac{\pi d^2}{4} . \delta \quad (\text{gr/cm}) ;$$

en exprimant le diamètre en km, on obtient :

$$T_f = \frac{10^6 . \pi d^2}{4} . \delta \quad (\text{gr/km}) ;$$

en remplaçant "d" par sa valeur dans l'expression (2-10b), on

obtient :

$$M_t = \frac{16.T_f^2}{10^{12}.\pi^2.\delta^2} . 0,2\pi T.G = \frac{G.T.T_f^2}{10^{12}.\delta^2} . \quad (2-10c).$$

Par ailleurs, dans une analyse théorique de la résistance du fil à la torsion, S.G.S. ZARETSKAS [28] a montré que le moment réactif du fil hypothétique est exprimé par:

$$M_t = \xi_{st}.G \frac{\alpha_m}{10^{10}} . \frac{T_f^{1,5}}{\delta^2} \quad (2-10d).$$

$$M_t = 2,82.\xi_{st}.\frac{G.tg\beta}{10^{10}} . \left[\frac{T_f}{\delta}\right]^{1,5} \quad (2-10e).$$

où: ξ_{st} - coefficient qui tient compte de la forme de la section transversale du fil.

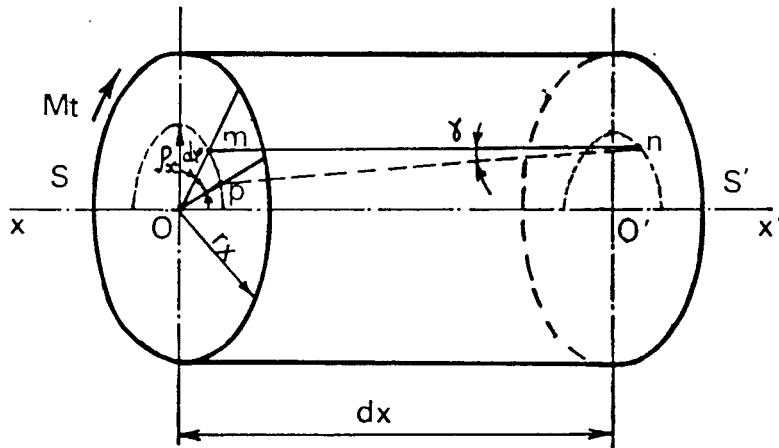


fig.2-02 Schéma de torsion d'un élément de fibre.

Dans ce cas la valeur du degré d'influence de la masse linéique T_f diminue de $B = 2,0$ à $B = 1,5$. De la relation (2-10d), l'étude, [28], a montré que pour un fil de densité linéique T_f et de masse volumique δ donnés, l'augmentation du coefficient α_m augmente le moment M_t suivant une loi linéaire lorsque $G = \text{const.}$.

II.3.2. RESULTAT D'UNE SIMULATION PHYSIQUE D'UN RETORS IRREGULIER

Une étude expérimentale permettant de trouver la variation du retors simulé, en fonction de la masse linéique, aux différents taux de torsion, a été réalisée par S.G.S. ZARETSKAS et coll. [29]. Cette simulation physique du retors, de masse linéique variable le long du fil, a été réalisée de la manière suivante:

L'éprouvette de fils assemblés à six (06) bouts, de longueur 500 mm, a été divisée en cinq (05) zones égales, par des goutelettes de colle. Dans quatre (04) zones, on a éliminé un nombre croissant de bouts (brins), en y laissant ainsi 5, 4, 3 et 2 bouts identiques (de même tex). Dans tous les cas, on y a laissé un bout de couleur contraste.

L'éprouvette préparée a été tordue graduellement à l'aide du torsiomètre KY-500, sous une tension préalable constante. Après chaque gradin de torsion donnée, on a déterminé les nombres de spires (tours de torsion) dans chacune des cinq (05) zones et on a mesuré les changements de leurs longueurs. La simulation du retors a été réalisée sur 3 genres de composants:

- filé simple de coton de 12,5 tex;
- fil multifilaments de polyamide de 20 tex f 32;
- fil retors de coton de 25x 2 tex.

Les corrections, de la torsion calculée, ont été faites pour chaque zone, en tenant compte du raccourcissement de la zone correspondante. Après avoir traité et généralisé les résultats des mesures réalisées, on a construit les fonctions, de la torsion, suivantes : $T_{zi} = f(T_d)$ et $T_{zi} = \psi(T_{fzi})$;

ou : T_{zi} - torsion réelle dans chaque zone "i" du retors, t/m;
 T_d - torsion donnée à l'éprouvette (retors), t/m;
 T_{fzi} - masse linéique dans une zone "i" de l'éprouvette, tex.

On a trouvé que dans les limites de confiance, en pourcentage de la moyenne ($mg = \pm 5\%$; $P = 95\%$), la fonction $T_{zi} = f(T_d)$ est pratiquement linéaire jusqu'à une certaine torsion donnée ($T_d = 720$ t/m, cf. fig. 2-03). Cette loi est vérifiée pour tous les fils examinés et pour toutes les zones de masses linéiques (T_{fzi}) différentes. En dépassant cette valeur, les déviations de la loi linéaire deviennent plus significatives et ne sont plus du même caractère pour toutes les zones des retors examinés. Dans certains cas des vrilles, engendrées par un déséquilibre excessif du retors tordu, apparaissent et se développent dans les endroits à faibles T_{fzi} . Le phénomène de la saturation des tours, dans ces zones, a lieu, lui aussi, avant d'atteindre un taux de torsion destructif.

L'influence de la masse linéique du fil sur la répartition de tours donnés, c'est à dire la fonction $T_{zi} = \psi(T_{fzi})$ peut être exprimée par l'intermédiaire des courbes de 2^{ème} degré présentées sur la fig. 2-03. On voit que les zones de retors plus grosses absorbent moins de tours donnés. Cette dépendance reste la même pour tous les taux de torsion donnés T_d , mais le caractère de cette dépendance varie progressivement, quand la torsion T_d augmente (comparer les courbes 1, 2 et 3 de la fig. 2-04).

L'analyse théorique de la résistance du fil à la torsion a montré que le moment réactif du fil hypothétique, donné par la relation (2-10b), conditionne le taux de torsion absorbé dans chaque zone, parce qu'il y développe le même moment, et :

$$M_{zi} = M_t = M_a, \quad (2-11);$$

où : M_a - moment actif provoquant la torsion du fil.

La condition (2-11) montre que le moment de torsion M_t joue le rôle de moment répartissant des tours de torsion le long du fil irrégulier. L'équation (2-10b) montre que la masse linéique T_f est le facteur déterminant de cette répartition, car les changements de δ sont moindres surtout lorsqu'ils approchent de la grandeur de la masse spécifique γ_f du fil. Ce rapprochement a lieu pendant le retordage. En transformant l'équation (2-10b) selon le but de ce travail, on obtient la torsion réelle dans une zone, égale à :

$$T_{zi} = \frac{10^{12} \cdot M_t \cdot \delta_{zi}^2}{\xi_{stzi} \cdot G_{zi} \cdot T_{fzi}^2} = \frac{10^{12} \cdot M_t}{\xi_{stzi} \cdot G_{zi} \cdot S_{zi}^2}, \quad (2-12);$$

où : S_{zi} - surface de la section transversale du fil dans la zone correspondante, m^2 .

De la formule (2-12) on peut tirer les conclusions suivantes :

1°- pour le fil hypothétique ayant $\xi_{stzi}=1,0$; $G_{zi}=\text{const.}$ et $\delta_{zi}=\text{const.}$, la torsion répartie $T_{fzi} \sim S_{zi}$ et même, $T_{fzi} \sim 1/T_{zi}$;

2°- pour le fil réel, assez tordu, le coefficient $\xi_{st}=1,0$ et prend, environ, la même valeur dans toutes les zones. Ainsi son rôle devient négligeable. En même temps le rôle de la masse volumique δ est, dans une certaine mesure, diminué parce que δ_{zi} s'approche de γ_f et change peu pendant la torsion ultérieure. Le rôle du module de la rigidité G_{zi} devient plus important. Il s'agit de l'augmentation progressive de l'interaction des fibres des composants et de la masse linéique; l'accumulation des tours dans les zones à T_{fzi} moindre y engendre une interaction renforcée des fibres et, par conséquent, le module G_{zi} y est beaucoup plus grand que dans les zones à T_{zi} élevées;

3°- jusqu'à une certaine limite du taux de torsion donné, les tours introduits dans un retors irrégulier se répartissent, sur toute sa longueur et dans les différentes zones, en proportions inverses de ses masses linéiques.

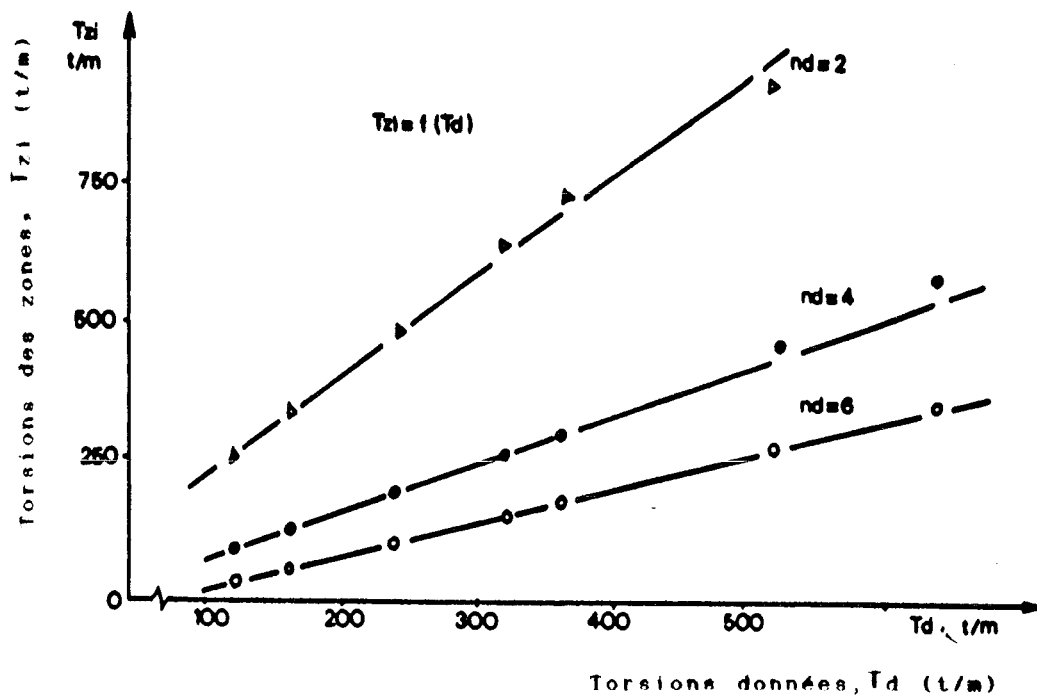


fig.2.03 Torsion dans les zones, en fonction de la torsion donnée.

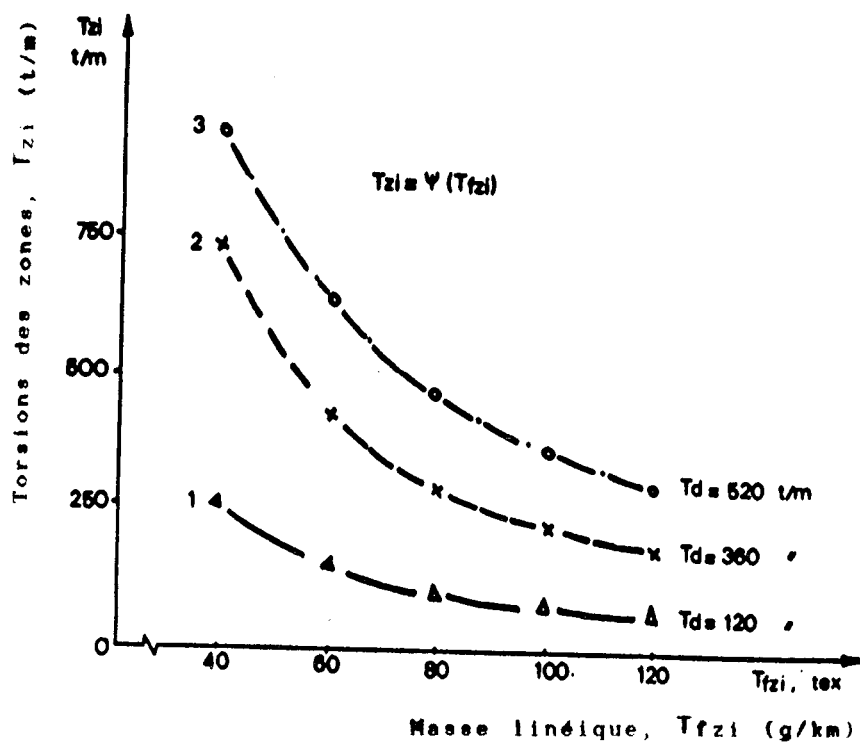


fig.2.04 Torsion dans les zones, en fonction de la masse linéique.

II.3.3. LA TORSION

On a déjà vu que le moment de torsion M_t permet au fil de recevoir une torsion, caractérisée par le nombre de tours par unité de longueur. De nombreux auteurs ont traité le problème de la torsion pour aboutir à la relation universelle de Koechline [30], (cf. relation 2-15).

De nombreux auteurs, dont N.I. TROUEVTSEV [31] et G.S. SOKOLOV [27], ont supposé le fil comme un cylindre. En le dépliant, on obtient un rectangle $ABCD$, dont la base AB est égale à πd et le côté BC est égal à la hauteur h du tronçon de fil (cf. fig. 2-05). La hauteur h de ce tronçon est aussi égale au pas d'une spire de torsion $1/T$ et la diagonale AC représente la développante de cette spire, formant ainsi l'angle γ avec le triangle ABC :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{AB}{BC} = \frac{\pi d}{h}, \quad (2-13);$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi d T}{1000}, \quad (2-13a).$$

La liaison entre la masse linéique du fil (numéro métrique N_f), et son diamètre d , est déterminée comme suit: le volume " V " du tronçon de fil, de diamètre " d " et de longueur " ℓ " (égale à la hauteur " h "), est exprimée par la relation suivante:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \ell \quad (\text{m}^3), \quad (2-14);$$

en multipliant cette expression par la masse volumique du fil δ , on obtient la masse du tronçon en question:

$$g = V \cdot \delta = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \ell \cdot \delta \quad (\text{gr}), \quad (2-14a);$$

d'autre part, le numéro métrique est donné par la relation suivant:

$$N_f = \frac{\ell}{g} \quad (\text{m/gr}), \quad (2-14b);$$

$$\text{d'où: } N_f = \frac{4}{\pi d^2 \cdot \delta}, \text{ et : } d^2 = \frac{4}{\pi \cdot \delta \cdot N_f};$$

ou bien :

$$d = \frac{2}{\sqrt{\pi \cdot N_f \cdot \delta}} \quad (\text{mm}), \quad (2-14c);$$

en remplaçant d par sa valeur dans l'expression (2-13a), on obtient:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2\pi \cdot T}{1000 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{N_f \cdot \delta}}, \quad (2-14d);$$

$$\text{d'où: } T = 282 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sqrt{\delta} \cdot \sqrt{N_f} \quad (\text{t/m}), \quad (2-14e).$$

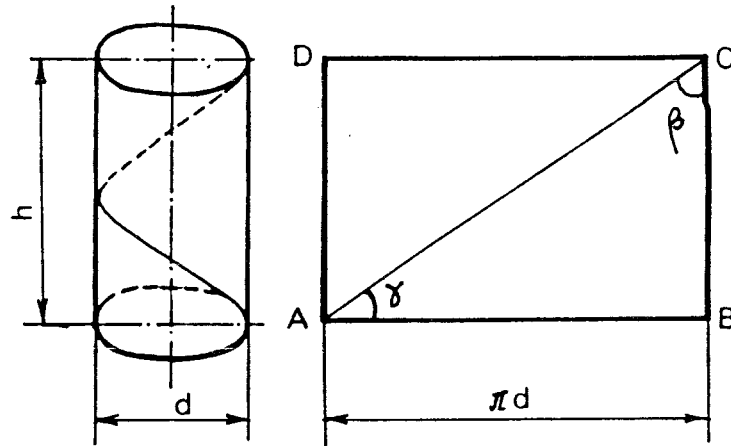


fig.2-05 Schéma de torsion d'un tronçon de fil.

En désignant le terme $282 \cdot \text{tg} \beta \cdot \sqrt{\delta} = \alpha_m$, on aboutit finalement à l'expression suivante:

$$T = \alpha_m \cdot \sqrt{N_f} \quad (\text{t/m}), \quad (2-15);$$

qui représente la relation universelle de Koechline, R. THIEBAUT [30];

où : N_f - numéro métrique du fil (ou de la mèche), en m/g;

α_m - coefficient de torsion dans le système métrique, il dépend de la longueur de la fibre, de la destination de l'article, du système de filature, etc....

La relation (2-15) exprimée dans le système tex, puisque $N_f = 1000/T_f$, donne :

$$T = \frac{\alpha_m \cdot \sqrt{1000}}{\sqrt{T_f}} = \frac{31,62 \cdot \alpha_m}{\sqrt{T_f}} \quad (\text{t/m}), \quad (2-15a);$$

Le terme $(31,62 \cdot \alpha_m = 100 \cdot \alpha_T)$ est appelé constante de torsion dans le système tex [27]; et l'expression (2-15a) prendra la forme suivante :

$$T = \frac{100 \cdot \alpha_T}{\sqrt{T_f}} \quad (\text{t/m}), \quad (2-15b);$$

où : α_T - coefficient de torsion dans le système tex.

L'expression (2-15b) permet de conclure, qu'en plus de l'influence de la masse linéique T_f sur la torsion T , il y a aussi l'influence du coefficient de torsion α_T (ou α_m).

Par ailleurs, le coefficient de torsion dépend de la longueur des fibres utilisées pour la fabrication de l'article, de sa destination (chaîne, trame, teinture ou tricot) et du système de filature (système cardé, peigné, etc...).

Des recommandations montrent que le coefficient de torsion α_T (ou α_m) augmente dans le cas de la chaîne et des fibres courtes, et diminue dans le cas de la trame (et bonneterie) et des fibres longues.

Dans le paragraphe de l'approche mathématique (§.II.7), le terme $(31,62.\alpha_m)$ ou bien $(100.\alpha_T)$ est considéré comme une constante de valeur inconnue. De même que l'exposant de T_f (désigné par β) est supposé inconnu, et d'après la relation (2-15b), on peut écrire:

$$T = \frac{\text{const.}}{T_f^\beta}, \quad \text{où : } \beta = 0,5, \quad (2-16);$$

D'une étude de V.A. VOROCHILOV [32], dans les limites de la torsion de production, il ressort que :

$$S.T = \text{const.}, \quad (2-16a);$$

où : S - surface transversale de la section du fil, approximativement proportionnelle aux nombres de fibres "n" qui s'y trouvent.

Par ailleurs, S.A. SUSTMANN [33] a abouti à une équation analogue, $S.T = \text{const.}$. Si on exprime S et n à travers la masse linéique T_f , on obtient:

$$T = \frac{\text{const.}}{T_f}, \quad \text{où : } \beta = 1, \quad (2-16b);$$

de l'équation (2-12), il s'ensuit que:

$$T = a \cdot \frac{M_t}{T_f^2}, \quad \text{où : } \beta = 2, \quad (2-16c);$$

où : a - constante;

La comparaison des relations (2-16), (2-16b) et (2-16c), montre d'une part que $a.M_t = \text{const.}$ [28] et d'autre part la différence dans le rang de l'exposant (indice) β de T_f .

Des recherches de A. BARELLA [34], avec des échantillons pris au hasard, ont montré que les grandeurs de l'indice β ($\beta=0,5$; $\beta=1,0$ et $\beta=2,0$) ne se déterminent pas uniquement par la méthode du choix des échantillons. Mais l'augmentation de la torsion considérée contribuera aussi à l'augmentation de β .

En effet, il a été souligné [34] que l'obtention de cas limites, lorsque $\beta=2$, peut exiger une torsion telle qu'elle ne peut être employée dans les usines de filature.

De la sorte, dans la majorité des cas, les résultats des recherches expérimentales et la liaison fonctionnelle entre T et T_f (ou d) n'ont pas été confirmés dans la formule (2-16c) considérée. C'est pourquoi [28], on exprime généralement cette liaison comme suit:

$$T = \frac{\text{const.}}{T_f^\beta} \quad (t/m), \quad (2-16d);$$

où souvent : $\beta = 1 + 2$ [23, 33].

II.4. TORSION ET RESISTANCE DU FIL A LA TRACTION

La résistance du fil à la traction dépend, d'une part des caractéristiques des fibres qui le composent, telles que résistance, longueur, etc..., et d'autre part, du procédé de fabrication et de l'intensité de torsion. D'après A.V. TERIOUCHENOV et coll. [35], seule 40 à 60 % de la résistance des fibres intervient dans celle du fil.

La résistance à la rupture est une caractéristique physique importante, plus grande elle est, meilleure sera la résistance à l'usure du fil et plus grand sera son rendement.

II.4.1. INFLUENCE DES FIBRES SUR LA RESISTANCE A LA TRACTION DU FIL

La résistance des fibres peut ne pas participer à la création de la résistance du fil; l'influence de certains facteurs en est la cause; parmi les plus importants, on peut citer:

1°- la tension non homogène des fibres dans le filé lors de la rupture, d'où la rupture des fibres n'a pas lieu en même temps;

2°- la variation du nombre de fibres et la présence de fibres courtes dans la section de rupture du filé;

3°- la présence, dans le fil, de fibres qui glissent les unes par rapport aux autres, et ne se rompent pas au cours de la traction du fil.

L'analyse successive des facteurs sus-cités, en utilisant le schéma de déformation des fibres, de la fig.2-06, proposé par V. E. ZOTIKOV et coll. [36], montre que:

* le 1^e facteur qui diminue la résistance du fil est la non homogénéité de la tension des fibres.

En effet, dans le tronçon de fil de longueur dx (cf.fig.2-06), l'analyse de la fibre ab qui se trouve sur la surface extérieure du cylindre, de rayon r , montre qu'après la torsion du faisceau de fibres, sous un angle γ , celle-ci prendra la position ac . Ainsi, grâce à la tension, sa longueur augmente et sera égale à:

$$ac = \frac{ab}{\cos \gamma} \text{ (mm)} , \quad (2-17) ;$$

on peut constater (avec précision, car l'angle γ est faible) que l'angle de torsion γ est égal à :

$$\gamma \simeq \text{tg} \gamma = \frac{bc}{ab} = r \cdot \frac{d\varphi}{dx} = r \cdot \beta , \quad (2-17a) ;$$

ou: β - angle de torsion par unité de longueur, (degré/mm).

Cette angle peut être déterminé en utilisant l'intensité de torsion l , sur la même longueur, exprimée dans un tour complet 2π , ainsi:

$$\beta = 2\pi l \quad , \quad \text{d'où :} \quad \gamma = 2\pi l \cdot r , \quad (2-17b) ;$$

En décomposant le terme $1/\cos\gamma$, de l'expression (2-17), en série de Mac Lauren, et en se limitant aux deux premiers membres, on obtient:

$$\frac{1}{\cos\gamma} = 1 + \frac{\gamma^2}{2} \quad , \quad (2-18) ;$$

$$\text{d'où: } ac = ab(1 + \frac{\gamma^2}{2}) \quad , \quad (2-19) ;$$

alors l'allongement relatif de la fibre ab sera :

$$\epsilon_x = \frac{ac - ab}{ab} = \frac{\gamma^2}{2} = 2(\pi T \cdot r)^2 \quad , \quad (2-20) .$$

L'expression (2-20) montre une équation parabolique représentée par les axes r et ϵ_x ; à la condition que l'intensité de torsion soit constante, et qu'il n'y ait pas de retrécissement du faisceau de fibres.

D'autre part, la tension de rupture des corps élastiques, donnée par la loi de Hooke, est:

$$\sigma = E \cdot \epsilon_x \quad , \quad (2-21) ;$$

où: E - module d'élasticité.

La tension de n'importe quelle fibre qui se trouve à l'intérieur du fil, à la distance r de l'axe du produit, peut être déterminée par la formule suivante:

$$\sigma = 2E(\pi T \cdot r)^2 \quad , \quad (2-21a) .$$

Ainsi, lors de la traction d'un fil, toutes les fibres qui le composent se distendront différemment et la rupture commencera par les fibres périphériques.

Dans le cas où le fil contient des fibres à allongements différents (de maturité différente), le coefficient d'utilisation de la résistance des fibres dans le fil sera moindre; parce que pendant la traction, ce sont d'abord les fibres à faible allongement qui se rompent.

Le terme $(\pi T \cdot r)^2$ de l'expression (2-21a) est comme une caractéristique de l'intensité de la torsion et la résistance de ce faisceau en dépend;

* le 2^e facteur qui réduit le coefficient d'utilisation de la résistance des fibres, est la diminution du nombre de fibres dans la section de rupture du fil. Le fil se rompt à cet endroit.

D'après N.M. BELITSINE [37], le nombre de fibres qui participent à la résistance du filé, dans la section de rupture du fil, varie de 91,9 % à 60,4 % . Deux phénomènes importants en sont la cause:

- l'augmentation de l'irrégularité de l'épaisseur qui engendre l'accroissement du nombre de sections faibles et la diminution de la résistance du filé;

- la présence de fibres courtes dans le fil; dont une partie importante ne participe pas pleinement à la création de la résistance du fil. D'ailleurs, elles peuvent y être facilement enlevées (surtout au bobinoir). Elles donnent souvent au fil un aspect poilu et le rendent plus lourd;

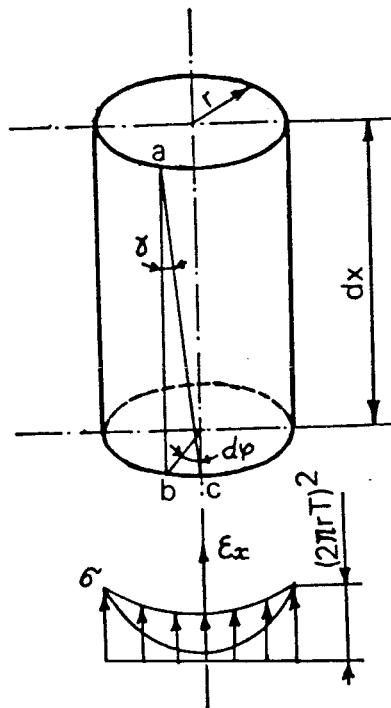


fig.2-06 Schéma de torsion d'un faisceau de fibres

* le 3^e facteur, dans la diminution de la résistance du fil, est lié aux fibres qui glissent et ne se rompent pas lors de la rupture du fil.

Au cours de la traction la force de frottement des fibres ayant subi la torsion, peut être plus grande que la résistance des fibres même. Dans ce cas, les fibres participent pleinement à la rupture du fil; dans le cas contraire, elles glissent les unes par rapport aux autres.

La force de frottement des fibres périphériques est inférieure à celle des fibres internes. Par ailleurs, l'augmentation de la torsion augmente le contact entre les fibres et diminue leur longueur de glissement, c'est à dire, longueur au-dessous de laquelle la fibre peut glisser. En identifiant cette longueur pour la couche considérée, on peut déterminer le nombre de fibres qui se rompent dans la section de rupture.

La méthode [35] consiste à supposer que toutes les fibres qui forment le fil aient même longueur et soient disposées uniformément suivant la développante d'un cercle de longueur $2\pi r$, de façon que les extrémités des fibres s'approchent successivement de la section aa' (cf. fig.2-07).

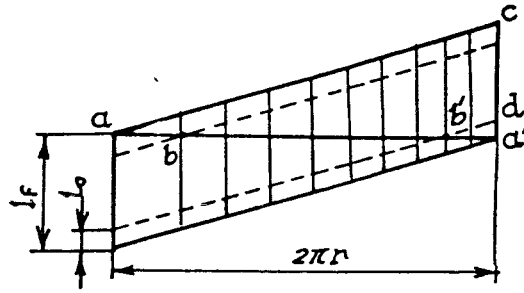


fig.2-07 Schéma de détermination des parties des fibres qui se rompent et celles qui glissent.

A supposer également que le fil se rompt suivant cette section, alors toutes les fibres qui se trouvent sur le tronçon bb' se rompent sous l'effet de la traction, tandis que celles qui se trouvent sur les tronçons ab et $b'a'$ glissent. La part des fibres qui glissent Q_g peut être déterminée comme suit:

$$Q_g = \frac{2b'a'}{aa'} = \frac{2da'}{ca'} = \frac{2l_o}{l_f} , \quad (2-22);$$

où: $ab = b'a'$;

l_o - longueur de glissement des fibres, mm;

et la part des fibres rompues Q_r , par :

$$Q_r = 1 - Q_g = 1 - \frac{l_o}{l_f} , \quad (2-22a);$$

Les relations (2-22) et (2-22a) sont approximatives mais suffisantes dans le domaine expérimental.

Par ailleurs, A.N. SOLOVIEV [38], donne la formule empirique de détermination de la part des fibres rompues, suivante:

$$Q_r = 1 - \frac{2025}{\alpha_m^2} , \quad (2-22b).$$

A la lumière de ces résultats, la résistance à la rupture R du fil, composée de deux composantes, sera :

$$R = R_1 + R_2 , \quad (2-23) ;$$

où: R_1 - force dépensée pour la rupture des fibres, cN;

R_2 - force dépensée pour surmonter le glissement des fibres, cN;

$$R_1 = \frac{T_f}{T_{fb}} \cdot \left(1 - \frac{2l_o}{l_f}\right) \cdot R_{fb} \cdot q , \quad (2-23a);$$

q - coefficient qui tient compte de la différence du temps de rupture des fibres.

$$R_2 = \frac{T_f}{T_{fb}} \cdot \frac{2l_o}{l_f} \cdot F_m , \quad (2-23b);$$

F_m - valeur de la résistance moyenne au glissement des fibres, cN;

$$F_m = R_{fb} / 2, \text{ d'où :}$$

$$R_2 = \frac{T_f}{T_{fb}} \cdot \frac{I_0}{L_f} \cdot R_{fb}, \quad (2-23c).$$

Les termes $\frac{T_f}{T_{fb}} \left[1 - \frac{2I_0}{L_f} \right]$ et $\left[\frac{T_f}{T_{fb}} \times \frac{2I_0}{L_f} \right]$ représentent respectivement le nombre de fibres qui se rompent et celui qui glissent lors de la rupture du fil.

En remplaçant R_1 et R_2 par leurs valeurs respectives, dans l'expression (2-23), on obtient l'expression finale, de la résistance à la rupture du fil, suivante:

$$R = \frac{T_f}{T_{fb}} \cdot R_{fb} \left[\left(1 - \frac{2I_0}{L_f} \right) \cdot q + \frac{I_0}{L_f} \right], \quad (2-24);$$

D'après l'expression (2-24), on peut constater que, si on augmente la torsion du fil, la longueur de glissement I_0 des fibres diminue, puisque la cohésion entre les fibres augmente, par conséquent la résistance à la rupture du fil augmente (au début de la torsion, l'influence du coefficient "q" est moins importante).

La longueur de glissement I_0 continue à diminuer jusqu'à une valeur déterminée; après quoi, l'influence du coefficient q devient plus importante et la résistance du fil commence à diminuer. La courbe de variation de la charge à la rupture aura un maximum conformément à la torsion critique (cf.fig.2-09).

II.4.2. CARACTERISTIQUES DYNAMOMETRIQUES DES FILS

L'appréciation des caractéristiques dynamométriques des filés, se fait en général, d'après la valeur de la force de rupture, au cours d'essais statiques de traction.

II.4.2.1. Tenacité-allongement

Pour les filés en fibres discontinues, les sections des produits sont variables. Pour cela, la résistance à la rupture est exprimée par la tenacité (cN/tex) ou par la résistance kilométrique "Rkm" (km).

D'après la norme ISO 2062 [39] relative à la détermination de la force de rupture et de l'allongement de rupture du fil simple, la tenacité moyenne de rupture est égale à la force de rupture, en cN, sur la moyenne de la masse linéique, en tex. La résistance kilométrique est égale à la tenacité moyenne sur l'accélération due à la pesanteur $g = 0,98 \text{ m/s}^2$.

Au cours du même essai de traction, on obtient l'allongement à la rupture de chaque éprouvette, représentant l'allongement mesuré sous la force de rupture, en mm, divisé par la longueur nominale de l'éprouvette, en mm, par 100.

Il faut noter que lors de l'utilisation du produit, les forces de traction, qui s'exercent sous forme de tension de fil, sont souvent inférieures aux tenacités moyennes déterminées par les essais dynamométriques. Il est souvent vrai que les difficultés, qui surgissent au cours de l'exploitation du produit et qui se traduisent par une production déficiente, ne sont pas dues à un manque de tenacité, mais dans beaucoup de cas à un manque d'homogénéité de la matière et à la présence de sections variables des filés.

II.4.2.2. Influence des caractéristiques des fibres sur la tenacité-allongement

Les caractéristiques tenacité-allongement des fils, fabriqués à partir de fibres discontinues, dépendent en premier lieu des caractéristiques des fibres utilisées. De même que l'influence de l'humidité relative et de la température n'est pas à négliger (surtout que la fibre de coton est très hygroscopique).

Au cours de la fabrication, les sections de fils surétirées sont renvidées de manière plus compacte. Selon une étude effectuée par H. STEIN [40], les phénomènes de relaxation conduisent à une annulation lente des contraintes, engendrées par l'action qui a provoquée l'allongement, et que les forces de traction données, dans une certaine limite, ne conduisent pas à une perte de résistance, mais toujours à une modification des comportements à l'élasticité, si les limites de l'élasticité instantanée sont dépassées (loi de Hooke).

II.4.2.3. Influence de la torsion sur la tenacité-allongement

La tenue des filés est assurée, dans la section du fil par l'adhésion des fibres entre elles. La torsion appliquée durant le filage a pour but de communiquer aux fibres la force de pression. On a déjà vu, que sous l'action du moment de torsion, les fibres périphériques reçoivent une plus grande torsion. En réalité, la distribution de la torsion n'est pas si exacte, car au début du tordage les fibres peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres et peuvent passer d'une couche à une autre en changeant de tension.

Par ailleurs, l'augmentation de la torsion provoque la diminution de la longueur des fibres (les fibres se disposent, le long du fil, en spirale) créant ainsi le retrécissement du fil pendant lequel la tension des fibres internes diminue.

Pour étudier la tension des fibres d'un fil ayant subi la torsion, N.I. TROUEVTSEV [31] a considéré un tronçon de fil, formé d'une section de fibres pincées aux extrémités *A* et *B*, et en déployant ce tronçon, on a obtenu le rectangle *AA'B'B* (cf. fig. 2-08).

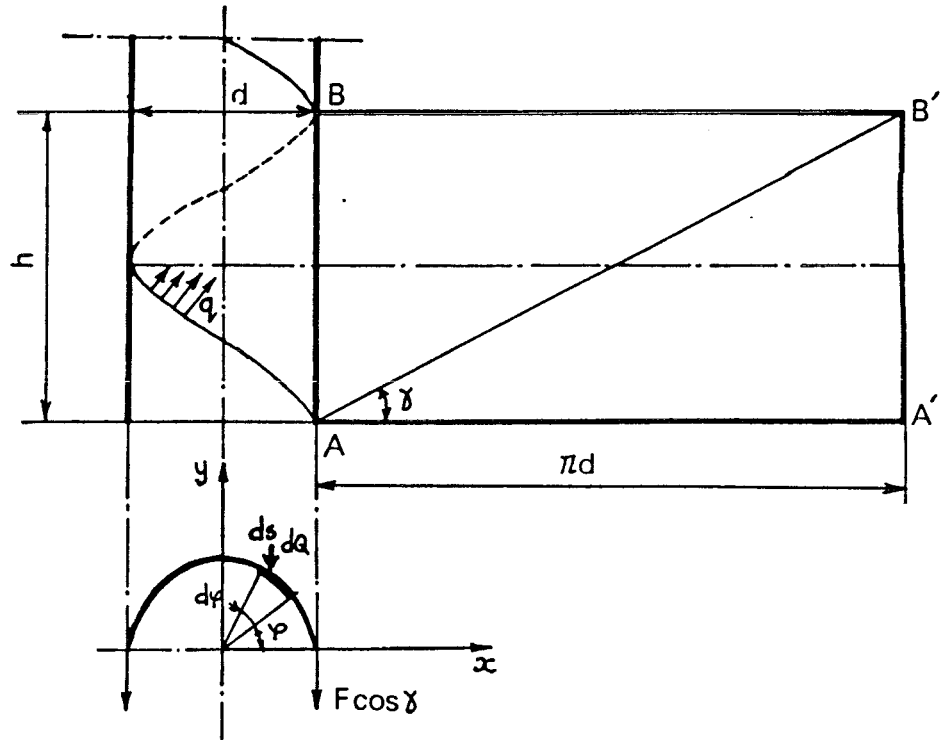


fig.2-08 Forces agissant sur un élément de fibre pendant la torsion.

Avant la torsion, les fibres sont disposées parallèlement à l'axe du produit, et la longueur du tronçon de fibres est $l_1 = AB$. Après la torsion, si le produit n'a pas retréci, la longueur sera $l_2 = AB'$, et l'allongement sera :

$$\epsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{1}{\sin \gamma} - 1, \quad (2-25);$$

En supposant que cette élongation des fibres a lieu dans les limites d'élasticité, alors, d'après la loi de Hooke, leur tension correspondante serait :

$$\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1 \right), \quad (2-26);$$

Si l'aire de la section transversale de ces fibres est S , alors leur force axiale serait :

$$F_a = \sigma \cdot S = S \cdot E \cdot \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1 \right), \quad (2-27);$$

Si la pression par unité de surface est q_0 , alors, sur l'élément bd_s , la pression serait, [31] :

$$dQ = q_0 \cdot b \cdot ds, \quad (2-28);$$

où : b - largeur occupée, par la fibre, dans le fil, en mm;

ds - élément d'arc de la spire, sur lequel s'est disposée la fibre, en mm.

Finalement, on obtient, [31], la pression par unité de surface:

$$Q_0 = \frac{2 \cdot S \cdot E}{b \cdot d} \cdot \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1 \right) \cdot \cos^2 \gamma , \quad (2-29);$$

où : d - diamètre du fil, en mm.

La relation (2-29) montre que, si les propriétés des fibres (S, E, b) restent constantes, la pression normale Q_0 dépendra du diamètre d du fil et de l'angle de déformation γ .

Sous l'effet de la pression entre les fibres (torsion du fil), surgissent des forces de frottement qui résistent à leur glissement et à la rupture du fil. La force de frottement, correspondant à l'unité de surface de contact, sera :

$$T_0 = f \cdot Q_0 = f \cdot \frac{2 \cdot S \cdot E}{b \cdot d} \cdot \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1 \right) \cos^2 \gamma , \quad (2-30);$$

où : f - coefficient de frottement entre les fibres.

Par ailleurs, l'analyse de la dépendance entre la résistance et la torsion, représentée sur la fig.2-09, montre que lorsque la torsion augmente (le frottement entre les fibres augmente) jusqu'à la valeur critique (appelée torsion critique), la résistance du fil augmente aussi. Cette augmentation se fait d'abord rapidement, puis doucement. Après la torsion critique, la résistance à la rupture du fil diminue, (cf.fig.2-09).

En outre, lorsque la torsion du fil augmente, son élasticité diminue jusqu'à ce que la torsion ait atteint sa valeur critique, puis elle augmente. Par expérience, il est démontré que la plus grande valeur de l'élasticité est atteinte après la torsion critique.

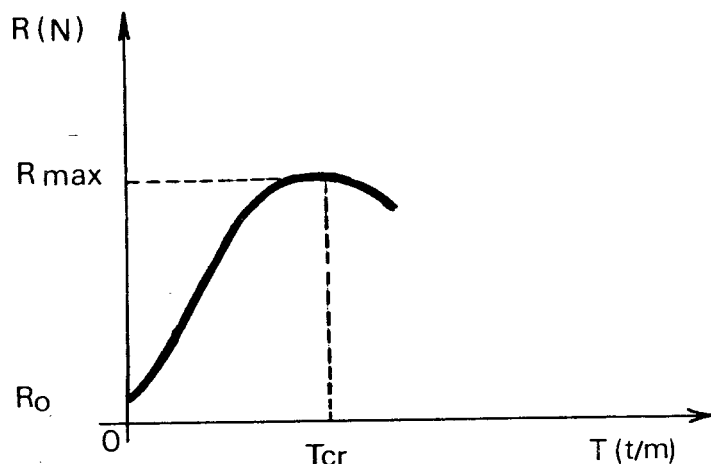


fig.2-09 Courbe de variation torsion-résistance.

On peut conclure, qu'à faible torsion, la casse de fil n'aura pas pour origine la rupture, pure et simple, des fibres qu'il contient, mais sera causée par leur glissement les unes par rapport aux autres, d'où l'aspect particulier du point de rupture en forme de pinceau.

En approchant la torsion critique, la pression entre les fibres augmente, ce qui engendre une bonne adhésion entre elles et évite, de ce fait, leur glissement lors de la rupture du fil. Ainsi la résistance des fibres participe à la résistance du filé.

Après la torsion critique, la résistance du fil diminue, à cause de la destruction même des fibres périphériques, ce qui donne au fil un aspect duveteux. Par ailleurs, la distribution de la torsion est fortement liée à la régularité de la masse linéique du produit.

II.5. ANALYSE STATISTIQUE UTILISEE

A l'heure actuelle, l'appréciation correcte de la qualité des demi-produits et des produits de la filature est rendue possible grâce à l'utilisation de méthodes statistiques. Aussi, dans le cadre de ce travail, pour aboutir à une interprétation correcte des résultats des essais (dont les valeurs brutes sont présentées en l'annexe I), on a fait appel aux statistiques pour traiter les données expérimentales. On se propose de donner, ci-après, les formules de calcul des différents paramètres statistiques. Tous les résultats sont présentés en les annexes II et III). Ces calculs ont été effectués sur le mini-ordinateur HP-250 dont les programmes sont donnés en l'annexe IV.

II.5.1. ELIMINATION DES VALEURS ANORMALES

Lors de l'obtention d'une série de résultats d'essais, certaines valeurs paraissent, à priori, anormales, mais seul un test statistique peut en décider. Puisque les valeurs sont déjà ordonnées, on commence par tester les valeurs maximale et minimale, en utilisant la formule proposée par S. AIVAZIAN [41] :

$$V_n = \left| \frac{Y_m - Y_1}{D_t} \right|, \quad (2-33) ;$$

ou : Y_m - moyenne arithmétique de la série;

Y_1 - valeur maximale ou minimale (valeur à tester);

D_t - écart-type de la série de valeurs de la torsion.

Pour les essais textiles, GRAF et coll. [42] recommandent de travailler avec un seuil de probabilité $P = 95\%$. En se donnant un seuil de signification $\alpha = 0,05 = 5\%$, on peut tester les valeurs aberrantes, en vérifiant si l'inégalité suivante est remplie:

$V_n < V_{max}(N, Q)$, alors la valeur douteuse est acceptée.

où: N - taille de l'échantillon;

α - seuil de signification, $\alpha = Q/200\%$.

En revanche, si $V_n > V_{max}(N, Q)$, la valeur testée est rejetée, et cette (ou ces) observation (s) est éliminée de toute considération ultérieure. Par ailleurs, si l'essai contient plus d'une observation douteuse, on applique ce critère, successivement, à chacune d'elles séparément.

Dans les valeurs tabulées de Q , [41], on trouve :

$$Q = 200 \cdot \alpha = 200 \cdot 0,05 = 10 \% ;$$

et si $N = 50$, alors $V_{max}(N=50, Q=10\%) = 2,987$.

Par exemple, pour T_{11} (initialement $N=50$, cf.annexe II tabl.II.1), le calcul des paramètres statistiques de l'essai a donné : $\bar{Y} = 510,6$; $D_t = 28,45$; et les valeurs maximale et minimale sont respectivement :

$$Y_{50} = 597 ; Y_1 = 460,2 ;$$

puisque $V_{50} = 3,06$ et comme $V_{50} > V_{max}(N, Q) = 2,987$, alors la valeur $Y_{50} = 597$ est rejetée.

tandis que $V_1 < V_{max}(N, Q)$, alors Y_1 est acceptée.

On teste également la valeur immédiatement inférieure à celle rejetée (pour la même taille $N=50$), autrement dit Y_{49} ; et comme $V_{49} < V_{max}(N, Q)$, alors la valeur Y_{49} est acceptée.

Puisque l'échantillon comporte une valeur anormale Y_{50} ; on refait les calculs statistiques en excluant celle-ci, dans ce cas $N=49$.

Les nouveaux calculs ont donné (cf. Annexe II tabl.II.1):

$$\bar{Y}' = 509,23 ; D_t' = 26,47 ;$$

on teste de nouveau Y_1 et Y_{49} , ainsi :

$$V_1' = 1,85 ; V_{49}' = 2,02 ;$$

puisque $V_1' < V'_{max}(N=49, Q=10\%) = 2,980$, et $V_{49}' < V'_{max}(N, Q)$, alors Y_1 et Y_{49} acceptées.

II.5.2. NOMBRE DE CLASSES ET INTERVALLES ENTRE LES CLASSES

Pour faciliter le traitement des résultats bruts, on utilise la méthode dite des classes, qui consiste à diviser la taille de l'échantillon en un certain nombre de classes.

Pour le calcul du nombre de classes, A.G. SEVOSTIANOV [16], et M.R. SPIEGEL [43], recommandent la formule suivante:

$$N_c = 3,332 \cdot \log N + 1 , \quad (2-30) ;$$

$$\text{pour } 50 < N < 100 .$$

Comme le nombre d'essais est, dans notre cas, $N=50$, alors, le nombre de classes retenu est $N_c = 6$.

Les résultats des essais obtenus sont ensuite rangés par ordre croissant (ou décroissant), puis on détermine leur étendue, qui représente la différence entre les valeurs maximale et minimale:

$$E = Y_{max} - Y_{min} , \quad (2-31) ;$$

ensuite on détermine l'intervalle entre les classes comme suit :

$$I = \frac{E}{N_c} = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{N_c} , \quad (2-32) ;$$

Pour simplifier les calculs et éviter que des valeurs de la série n'appartiennent simultanément à deux classes voisines, on arrondit l'intervalle I à la valeur légèrement supérieure à la valeur calculée.

II.5.3. MOYENNE ARITHMETIQUE ET ECART-TYPE

Après avoir disposé tous les résultats sous forme de tableau (cf. Annexe II), on procède :

- au calcul des centres des classes (borne supérieure + borne inférieure divisées par 2);
- à la détermination de la fréquence absolue M_i (ou relative de chaque classe);
- au choix de la valeur modale Y_0 (valeur ayant la plus grande fréquence);
- à la détermination de la déviation des centres des classes par rapport à la valeur modale, en utilisant la relation suivante :

$$U_i = \frac{Y_i - Y_0}{I} , \quad (2-34) ;$$

- à la détermination des moments d'ordre 1, donné par le produit : $M_i U_i$ et d'ordre 2, donné par le produit : $M_i U_i^2$.

La valeur de la moyenne arithmétique est calculée d'après la formule suivante:

$$Y_m = Y_0 + I \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_c} M_i U_i , \quad (2-35) ;$$

et l'écart-type D_t est :

$$D_t = I \cdot \sqrt{\frac{\sum M_i U_i^2}{N} - \left(\frac{\sum M_i U_i}{N} \right)^2} , \quad (2-36) ;$$

II.5.4. COEFFICIENT DE VARIATION

En textile, le coefficient de variation est une caractéristique importante qui représente un facteur d'appréciation de la qualité des demi-produits et du fil. Le coefficient de variation est exprimé en pourcentage, il est égal au rapport de l'écart-type (dispersion) sur la moyenne arithmétique, en effet :

$$C_v = \frac{D_t}{Y_m} \cdot 100 \quad (\%) , \quad (2-37) ;$$

II.5.5. INTERVALLES DE CONFIANCE

La détermination des intervalles de confiance permet d'affirmer avec une certaine probabilité d'erreur, que la moyenne arithmétique ou la dispersion de la population se situe à l'intérieur d'un certain intervalle, appelé intervalle de confiance.

II.5.5.1. Erreur absolue de la moyenne

Selon la formule proposée par M.R. SPIEGEL [43], l'erreur absolue de la moyenne est déterminée comme suit:

$$\epsilon_m = Z_c \cdot \frac{D_t}{\sqrt{N}} , \quad (2-38) ;$$

où : Z_c - critère de la loi de distribution normale.

Puisque $N > 30$, on peut utiliser la valeur de $Z_c = 1,96$, dans la distribution normale réduite, [44]. En effet :

$$Z_c = Z(P/2) = Z(0,95/2) = Z(0,475) ;$$

Alors, la moyenne arithmétique de la population sera:

$$M_p = Y_m \pm \epsilon_m , \quad (2-39) ;$$

II.5.5.2. Erreur relative de la moyenne

Ce paramètre permet de vérifier si l'erreur de l'échantillon traité reste toujours inférieure au seuil de signification de 5% et si la taille de l'échantillon est correcte.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_m}{Y_m} \cdot 100 (\%) , \quad (2-40) ;$$

et la taille de l'échantillon est vérifiée par la relation suivante , [16] :

$$N = \left(Z_c \cdot \frac{D_t}{Y_m \cdot \epsilon_r} \right)^2 = \left(Z_c \cdot \frac{C_v}{\epsilon_r} \right)^2 , \quad (2-41) ;$$

II.5.5.3. Erreur absolue de l'écart-type

Elle est déterminée par la relation suivante :

$$\epsilon_d = Z_c \times \frac{D_t}{\sqrt{2N}} , \quad (2-42) ;$$

et l'écart-type de la population sera :

$$D_p = D_t \pm \epsilon_d , \quad (2-43) ;$$

II.5.6. CORRELATION DES DONNEES BRUTES

Le calcul du coefficient de corrélation, des données brutes, permet de montrer, dans notre cas, la relation linéaire ou non, qui existe entre la torsion du fil et sa masse linéique. Par expérience, on sait que la torsion croît lorsque la masse linéique décroît (et inversement); cette hypothèse est confirmée après analyse des résultats bruts obtenus. On peut donc affirmer que la corrélation est négative.

A priori, même avec le diagramme de dispersion des résultats des essais, il est difficile de prédire la forme exacte de la dépendance. Il s'avère donc nécessaire de calculer le coefficient de corrélation. Si celui-ci est voisin de ± 1 , on dit que les variables étudiées sont fortement corrélées. Dans le cas de l'inexistence de l'information, on choisit le modèle le plus simple et dont le caractère graphique ressemble beaucoup à la répartition des données expérimentales.

II.5.6.1. Coefficient de corrélation "c"

Le coefficient de corrélation est donné par la relation suivante:

$$C = \frac{Dxy}{\sqrt{Dx \cdot Dy}}, \quad (2-44) ;$$

où : Dxy - covariance des variables x et y (T_f et T) ;
 Dx - variance de la variable x (masse linéique T_f) ;
 Dy - variance de la variable y (taux de torsion T) .

La formule (2-44) développée prend la forme suivante:

$$C = \frac{\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y) / N}{\sqrt{\sum X^2 - (\sum X)^2 / N} \cdot \sqrt{\sum Y^2 - (\sum Y)^2 / N}}, \quad (2-45) ;$$

L'expression (2-45) du coefficient de corrélation, proposée par A.R. MILLER [45], a été utilisée dans le programme en basic du traitement des données de l'expérience (cf. annexe IV). Un exemple de calcul est proposé en l'annexe V (cf. tabl.V-1).

II.5.6.2. Détermination de la liaison entre la torsion et la masse linéique.

L'utilisation du critère de Student permet d'apprécier l'importance des coefficients de corrélation entre T et T_f et d'affirmer l'existence (ou non) d'une corrélation entre ces deux caractéristiques.

Plusieurs auteurs, entre autres, A.G. SEVOSTIANOV [16] S. AIVAZIAN [41], et M.R. SPIEGEL [43], ont proposé une méthode de calcul basée sur la vérification de l'hypothèse de signification du coefficient de corrélation par les critères de Student calculé T_c et tabulé T_t ; où :

$$T_c\{c\} = \frac{|C| \sqrt{N-2}}{\sqrt{1 - C^2}}, \quad (2-46) ;$$

la valeur tabulée du critère de Student T_t donne :

$$T_t [P = 0,95; \nu = N-2 = 49 - 2 = 47] = 2,000 ;$$

puisque le critère calculé T_c est supérieur au critère tabulé T_t ($T_c > T_t$), alors, on peut dire que le coefficient de corrélation calculé est important (cf. annexe V) et la corrélation entre la torsion et la masse linéique existe.

II.5.6.3. Transformation $\mathcal{Z}$ de Fisher

Pour tout paramètre statistique calculé, d'un échantillon, il est nécessaire de trouver son intervalle de confiance pour estimer sa population.

Le calcul des intervalles de confiance du coefficient de corrélation se fait à l'aide de la transformation suivante:

$$\mathcal{Z} = \frac{1}{2} \times \ln \times \frac{1+C}{1-C}, \quad (2-47) ;$$

appelée transformation $\mathcal{Z}$ de Fisher.

Fisher a montré que la grandeur $\mathcal{Z}$, définie par la relation (2-47), suit avec une bonne approximation, même pour de petites valeurs de N , une loi normale de moyenne:

$$\mathcal{Z}_m = \frac{1}{2} \times \ln \times \frac{1+C}{1-C} + \frac{C}{2(N-1)}, \quad (2-48) ;$$

et de variance:

$$S^2\{\mathcal{Z}\} = \frac{1}{N-3}, \quad (2-49) ;$$

cela permet de construire l'intervalle de confiance ($\mathcal{Z}_1$ et $\mathcal{Z}_2$) de la moyenne $\mathcal{Z}_m$.

II.5.6.4. Erreur absolue de la transformation

L'erreur absolue de $\mathcal{Z}_m$ est déterminée comme suit:

$$\mathcal{E}\{\mathcal{Z}_m\} = Z_c [P/2 = 0,95/2 = 0,475] \times S\{\mathcal{Z}\}, \text{ ou bien :}$$

$$\mathcal{E}\{\mathcal{Z}_m\} = \frac{1,96}{\sqrt{N-3}}, \quad (2-50) ;$$

$$\mathcal{Z}_1 = \mathcal{Z}_m + \mathcal{E}\{\mathcal{Z}_m\}, \quad (2-51) ;$$

$$\mathcal{Z}_2 = \mathcal{Z}_m - \mathcal{E}\{\mathcal{Z}_m\}, \quad (2-52) .$$

II.5.6.5. Intervalle de confiance du coefficient de corrélation

Après avoir déterminé l'erreur absolue de $\mathcal{Z}_m$, on cherche les limites inférieure $\mathcal{R}_i$ et supérieure $\mathcal{R}_s$ du coefficient de corrélation en utilisant les formules, proposées par A.G. SEVOSTIANOV [16], suivantes:

$$\mathcal{R}_i = \frac{e^{2\mathcal{L}_1} - 1}{e^{2\mathcal{L}_1} + 1} , \quad (2-53) ;$$

$$\mathcal{R}_s = \frac{e^{2\mathcal{L}_2} - 1}{e^{2\mathcal{L}_2} + 1} , \quad (2-54) .$$

Aussi, le coefficient de corrélation $\mathcal{P}$ de la population sera compris entre les valeurs inférieure $\mathcal{R}_i$ et supérieure $\mathcal{R}_s$:

$$\mathcal{R}_i \leq \mathcal{P} \leq \mathcal{R}_s ;$$

S. AIVAZIAN [41], a proposé une autre méthode de détermination des limites $\mathcal{R}_i$ et $\mathcal{R}_s$, basée sur l'utilisation de la tangente hyperbolique de l'argument $\mathcal{L}$, définie par la relation suivante :

$$\text{th } \mathcal{L} = (e^{\mathcal{L}} - e^{-\mathcal{L}})(e^{\mathcal{L}} + e^{-\mathcal{L}}) , \text{ ou bien}$$

$$\text{th } \mathcal{L} = (e^{\mathcal{L}} - 1)(e^{\mathcal{L}} + 1) , \quad (2-55) ;$$

dont les valeurs sont tabulées.

Dans notre cas, c'est la méthode par calcul qui a été utilisée, car jugée plus précise.

II.5.7. CHOIX DU MODELE MATHEMATIQUE DE LA DEPENDANCE

Les résultats de calcul, de la corrélation des données brutes, ont donné des valeurs des coefficients négatives. Il faut donc choisir une forme de dépendance qui exprime la relation entre la torsion T et la masse linéique T_f .

Dans l'analyse de la théorie, on a montré (cf. §.II.3) que la torsion d'un fil est liée à sa masse linéique par la relation (2-15). De même que l'étude des différents travaux, développés dans le même paragraphe, montre que cette liaison peut être généralement exprimée par la relation (2-16d), soit:

$$T = \frac{\text{const.}}{T_f^B} \quad (t/m), \text{ où: } B = 0,5 + 2.$$

On peut donc admettre que l'indice B (de T_f) est variable (selon que l'on parle de torsion ou de moment de torsion) et qu'on peut le remplacer par une inconnue.

Aussi, dans l'équation (2-16d), on remplace :

$$T \Rightarrow y ; \quad T_f \Rightarrow x ; \quad \text{const.} \Rightarrow a ; \quad \text{et } B \Rightarrow b ;$$

on obtient alors la fonction de type puissance suivante :

$$y \cdot x^b = a , \quad (2-56) .$$

Pour pouvoir utiliser la méthode des moindres carrés ordinaires, afin d'ajuster les données de la torsion T et de la masse linéique T_f , on doit linéariser la fonction (2-56).

Plusieurs auteurs, notamment A.G. SEVOSTIANOV [16], S. AIVAZIAN [41], M.R. SPIEGEL [43], D. SALVATORE [44] et O.S. VINOGRADOV [46] ont proposé une méthode de résolution simple, qui consiste en une transformation logarithmique de l'équation (2-56), (programme de calcul donné en l'annexe IV). Par suite, elle devient:

$$\log y + b \cdot \log x = \log a , \quad (2-57) ;$$

ou bien :

$$\log y = \log a - b \cdot \log x \quad , \quad (2-57a);$$

en posant :

$$\log y = Y_L \quad , \quad (2-57b);$$

$$\log x = X_L \quad , \quad (2-57c);$$

$$\log a = B_0 \quad , \quad (2-57d);$$

$$-b = B_1 \quad , \quad (2-57e);$$

on obtient la relation suivante :

$$Y_L = B_0 + B_1 \cdot X_L \quad , \quad (2-58) \quad .$$

Pour simplifier le traitement, on prend les valeurs centrées de la variable x , et l'équation (2-58) devient :

$$Y_L = B_0 + B_1 \cdot (X_L - \bar{X}_L) \quad , \quad (2-59) \quad ;$$

Pour déterminer les éléments qui composent la relation (2-59), on commence par disposer les valeurs brutes de la masse linéique T_f et de la torsion T , respectivement par ordre croissant et décroissant (puisque la corrélation est négative entre ces deux caractéristiques). Puis on transforme les valeurs, respectivement, en valeurs logarithmiques, ensuite on détermine les paramètres de l'équation (2-59), (cf. tabl.V-2 de l'annexe V où, un exemple de calcul de γ_{11} ainsi que les résultats complets, sont donnés), comme suit:

$$1^\circ - \text{les } \log x_i \quad \implies X_L(I);$$

$$2^\circ - \text{la somme des } X_L(I) \quad \implies \sum X_L(I) \quad ;$$

$$3^\circ - \text{la moyenne des } X_L(I) \quad \implies \bar{X}_L$$

$$4^\circ - \text{la différence entre } X_L(I) \text{ et } \bar{X}_L, \text{ appelée valeur centrée de } x:$$

$$X_0(I) = X_L(I) - \bar{X}_L \quad , \quad (2-60) \quad ;$$

$$5^\circ - \text{le carré de la différence } X_0(I)^2;$$

$$6^\circ - \text{la somme des carrés de la différence: } \sum X_0(I)^2 = \sum X_2(I);$$

$$7^\circ - \text{les } \log y_i \quad \implies Y_L(I) \quad ;$$

$$8^\circ - \text{la somme des } Y_L(I) \quad \implies \sum Y_L(I);$$

$$9^\circ - \text{le coefficient libre de l'équation } B_0 = \bar{Y}_L$$

$$10^\circ - \text{le produit } P(I):$$

$$P(I) = Y_L(I) \cdot [X_L(I) - \bar{X}_L] = Y_L(I) \cdot X_0(I) \quad , \quad (2-61) \quad ;$$

$$11^\circ - \text{la somme des produits } \sum P(I);$$

$$12^\circ - \text{le coefficient } B_1 \text{ de l'équation :}$$

$$B_1 = \frac{\sum [X_L(I) - \bar{X}_L] \cdot Y_L(I)}{\sum [X_L(I) - \bar{X}_L]^2} \quad , \quad (2-62) \quad ;$$

En remplaçant B_0 , B_1 et $\bar{X}_L$, par leur valeur respectives, dans la relation (2-59), on obtient les formules du tabl.N4-11, analogues à la relation générale (2-56).

Pour apprécier l'importance des coefficients de régression des équations obtenues, on procède au test de signification des paramètres estimés.

II.5.8. TEST DE SIGNIFICATION DES PARAMETRES ESTIMES

La méthode des moindres carrés ordinaires (M.C.O), implique la minimisation de la somme des carrés des écarts des résultats d'observation des variables dépendantes $Y_L(I)$ et leurs estimateurs $Y_2(I)$:

$$\text{ainsi: } [Y_L(I) - Y_2(I)]^2 \implies \text{minimum};$$

$$Y_2(I) = B_0 + B_1 \cdot [X_L(I) - \bar{X}_L], \quad (2-64);$$

pour aboutir aux calculs des critères de Student, $T_c\{B_0\}$ et $T_c\{B_1\}$, permettant d'apprécier l'importance des coefficients B_0 et B_1 , on détermine :

$$1^\circ - \text{le produit } B_1 \cdot [X_L(I) - \bar{X}_L] = B_1 \cdot X_0(I);$$

$$R(I) = B_1 \cdot X_0(I), \quad (2-65);$$

$$2^\circ - \text{la valeur calculée de } Y_L \implies Y_2(I);$$

$$Y_2(I) = B_0 + B_1 \cdot X_0(I) = B_0 + R(I), \quad (2-66);$$

$$3^\circ - \text{la valeur résiduelle (résidu } R) \implies R_1(I);$$

$$R_1(I) = Y_2(I) - Y_L(I), \quad (2-67);$$

$$4^\circ - \text{le carré des résidus:}$$

$$R_1(I)^2 = [Y_2(I) - Y_L(I)]^2, \quad (2-67a);$$

$$5^\circ - \text{la somme des carrés des résidus:}$$

$$\sum R_1(I)^2 = 343 \cdot 10^{-5}, \quad (2-67b);$$

II.5.8.1. Variance résiduelle D_{2y}

$$S_e^2\{Y\} = D_{2y} = \frac{1}{N-k} \sum R_1(I)^2, \quad (2-68);$$

ou : k - nombre de coefficients de regression ($k = 2$, B_0 et B_1);

II.5.8.2. Variance de B_1 (D_4)

$$S^2\{B_1\} = D_4 = \frac{S_e^2\{Y\}}{\sum [X_L(I) - \bar{X}_L]}, \quad (2-69);$$

II.5.8.3. Variance de B_0 (D_6)

$$S^2\{B_0\} = D_6 = \frac{S_e^2\{Y\}}{N} = \frac{D_{2y}}{N}, \quad (2-70);$$

II.5.8.4. Critères calculés de Student, T_c

$$1^\circ - \text{Critère calculé du coefficient } B_1 :$$

$$T_c\{B_1\} = \frac{|B_1|}{S\{B_1\}} = \frac{|B_1|}{\sqrt{D_4}}, \quad (2-71);$$

- 2° Critère calculé du coefficient B_0 :

$$T_c\{B_0\} = \frac{|B_0|}{S\{B_0\}} = \frac{|B_0|}{\sqrt{D_6}} , \quad (2-72) ;$$

Les critères $T_c\{B_0\}$ et $T_c\{B_1\}$ sont comparés au critère tabulé

$T_t[P = 0,95 ; \nu = N-k = 49 - 2 = 47]$.

Puisque $T_t=2,021$ est inférieur aux critères calculés: $T_c\{B_1\}$ et $T_c\{B_0\}$, alors, on dit que les coefficients calculés B_0 et B_1 sont importants.

Pour apprécier le type d'ajustement utilisé, on procède au test d'efficacité de l'ajustement par le coefficient de corrélation.

II.5.9. TEST D'EFFICACITE DE L'AJUSTEMENT ET COEFFICIENT DE CORRELATION "R".

Pour tester l'efficacité de l'ajustement, on doit déterminer, (cf.annexe V tabl.V.1):

1°- la variation totale (somme des écarts à la moyenne);

l'écart à la moyenne est:

$$R_3(I) = Y_L(I) - \bar{Y}_L , \quad (2-73a) ;$$

et la variation totale est:

$$S^2 \{Y\} = \sum R_3(I)^2 , \quad (2-73b) ;$$

2°- la variation expliquée (somme des écarts des résidus à la moyenne);

l'écart des résidus à la moyenne est:

$$R_5(I) = Y_2(I) - Y_L , \quad (2-73c) ;$$

et la variation expliquée est :

$$S^2 \{Y_2\} = \sum R_5(I)^2 , \quad (2-74) ;$$

3°- la variation résiduelle (ou la somme des carrés des résidus) est donnée par la relation 2-67b;

puisque, [44]:

$$S^2 \{Y\} = S^2 \{Y_2\} + S_e^2 \{Y\} , \quad (2-75a) ;$$

ou bien:

$$\sum R_3(I)^2 = \sum R_5(I)^2 + \sum R_1(I)^2 , \quad (2-75b) ;$$

$$S_9 = S_7 + S_8 , \quad (2-75c) ;$$

l'expression (2-75c), divisée par la variation totale S_9 , donne:

$$1 = \frac{S_7}{S_9} + \frac{S_8}{S_9} , \quad (2-76) ;$$

comme le coefficient de signification " R^2 " est égal au rapport de la variation expliquée sur la variation totale [44]:

$$R^2 = \frac{S_7}{S_9} , \quad (2-77) ;$$

alors, la relation (2-76) devient :

$$1 = R^2 + \frac{S_8}{S_9}, \text{ d'où :}$$

$$R^2 = 1 - \frac{S_8}{S_9}, \quad (2-78) ;$$

R^2 est une grandeur sans dimension, comprise dans l'intervalle de 0 à 1. ($0 \leq R^2 \leq 1$). $R^2 = 1$, lorsque tous les points de l'échantillon appartiennent à la droite de regression estimée; ce qui dénote un ajustement parfait.

"R" prendra le signe du coefficient de regression B_1 .
Pour les valeurs de "R" se référer au chap.IV et à l'annexe V).

II.5.10. VERIFICATION DE L'ADEQUATION DU MODELE

Pour vérifier l'adéquation du modèle mathématique choisi, on se sert du critère calculé de Fisher (F_c), donné par relation suivante:

$$F_c = \frac{S^2 \{Y\} / N}{S^2 \{Y_2\} / N-k}, \quad (2-79);$$

ou bien :

$$F_c = \frac{S_9 / N}{S_7 / N-k}, \quad (2-79a);$$

qu'il faut comparer au critère tabulé:

$$F_t [P = 0,95; \nu_1 = N, \nu_2 = N-k] :$$

où : ν_1 - degrés de liberté de la plus grande variance;
 ν_2 - degrés de liberté de la plus petite variance;
 k - nombre de coefficient de regression ($k = 2$).

et pour $F_t [P = 0,95; \nu_1 = 49, \nu_2 = 47] = 1,60; [44]$.

Puisque la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée ($F_t = 1,60$), $F_c < F_t$, on peut dire que les modèles mathématiques obtenus (cf. tabl.N4-11) sont adéquats. Tous les résultats sont présentés en l'annexe V.

Les résultats obtenus ont montré que la corrélation entre la masse linéique T_f et la torsion T est négative, confirmant ainsi le fait que la distribution de la torsion d'un fil est en rapport inverse à sa masse linéique (tex).

Partant de cette hypothèse, et grâce aux méthodes statistiques utilisées, on a pu aboutir à un modèle mathématique qui montre la vraie dépendance, entre T_f et T , de l'échantillon considéré.

CHAP.III: PARTIE EXPERIMENTALE

Ce chapitre est consacré au dispositif expérimental utilisé pour fabriquer les fils et au matériel qui a servi aux contrôles de leurs caractéristiques et leurs traitements, ainsi que les conditions de mesure. Notre étude se base sur l'utilisation d'un coton turc de longueur technique 1'1/16", traité au complexe textile velours d'AKBOU. Elle constitue une série d'analyses de la torsion et de la masse linéique.

Avec un montage permettant de varier la vitesse de la broche d'un continu à filer à anneaux, on fabrique, trois gammes de fils de tex différents.

La variation du nombre de tours de la broche, permettant d'aboutir à trois niveaux de torsion pour chaque gamme de fils, est donnée grâce à un moteur électrique, dont le réglage de la vitesse est obtenue à l'aide d'un potentiomètre qui règle la tension du réseau. Un stroboscope permet de fixer les vitesses d'essais pré-établies.

Après la fabrication, on a procédé à l'analyse de la régularité de la masse linéique et de la torsion des fils, respectivement, sur le régularimètre USTER TESTER IB et sur le torsiomètre KY-500.

Pour mettre en évidence l'influence de la torsion et de la masse linéique, sur la résistance et l'allongement des fils, des essais dynamométriques de traction ont été effectués sur le dynamomètre FRANK et ce pour chaque gamme de fils.

III.1. MATIERE PREMIERE

La matière première utilisée, pour la fabrication, est le coton turc "good middling" de 1'1/16" à 1'1/8". Les caractéristiques moyennes de ses fibres sont données dans le tabl.N3-01.

Caractéristiques moyennes des fibres

Tabl.N3-01

N	caractéristiques	unités	valeurs
01	longueur technique 1'1/16"	mm	27
02	longueur de rupture	km	23,6
03	résistance à la rupture	cN	4,0
04	indice micronaire	µg/inch	4,3
05	élasticité	%	5,2
06	longueur moyenne	mm	17,2
07	longueur maximale	mm	36,1
08	coefficient de variation CvH	%	46,8
09	pourcentages de fibres courtes	%	30
10	pourcentage d'impuretés	%	4,2

L'analyse des diagrammes, de la longueur des fibres, obtenus sur l'ALMETER AL-100, montre que:

- le diagramme "hauteur H" montre, de façon pondérée, la longueur de chaque groupe de fibres de l'échantillon. Comme le diagramme représente la valeur de toutes les longueurs des fibres rapportées au nombre de fibres, il met en relief le pourcentage de fibres pouvant engendrer des problèmes au cours du processus de la filature. Ces problèmes sont proportionnels au nombre de fibres courtes (par exemple, le pourcentage de fibres courtes, dont la longueur est inférieure à 12,5 mm [47] est égal à 34,8 % (cf. tabl.3-02), ce qui est important). Le diagramme de la fig.3-01 indique que la valeur médiane est $L_{50\%} = 16,8$ mm.

La valeur $L_{5\%}$ [48] est très souvent choisie pour le réglage des laminages dans la filature des fibres courtes (recommandation de la firme RIETER-SUISSE pour les fibres courtes);

- le diagramme "barbe B" représente la valeur moyenne de toutes les longueurs des fibres rapportée au poids des fibres. L'utilisation de ce diagramme nous a permis de déterminer les longueurs modale et technique de la fibre (pour l'échantillon considéré).

Par définition la longueur modale est la longueur qui correspond à la plus grande fréquence. Elle peut être déterminée par la relation suivante [44]:

$$L_{mod} = L_i + \frac{g_1}{g_1 + g_2} \times A, \quad (3-01);$$

où : L_i - borne inférieure de la classe modale (la classe contenant le mode, c'est à dire ayant la plus grande fréquence), en mm ;

g_1 - excédent d'effectifs de la classe modale sur la classe précédente, en % ;

g_2 - excédent d'effectifs de la classe modale sur la classe suivante, en % ;

A - amplitude de l'intervalle de classe, en mm.

D'après le diagramme barbe B de la fig.3-02, on tire :

$L_i = 25$ mm ; $g_1 = 3,8$ % ; $g_2 = 7,6$ % et $A = 2,5$ mm;

d'où : $L_{mod} = 25,8$ mm ;

et la longueur technique est donnée par la relation pratique suivante:

$$L_t = 1,1 \times L_{mod} \quad (3-02);$$

Toutes les caractéristiques importantes, données par les diagrammes "hauteur H" et "barbe B" des fibres, sont consignées en le tableau N3-02.

Des standards, spécifiques à l'ALMETER AL-100, recommandés par le système Peyer Texlab, indique que le coton contient un fort pourcentage de fibres courtes, lorsque son C_vH varie entre 42 et 47 % . Le coton utilisé pour l'expérience contient donc un fort pourcentage de fibres courtes.

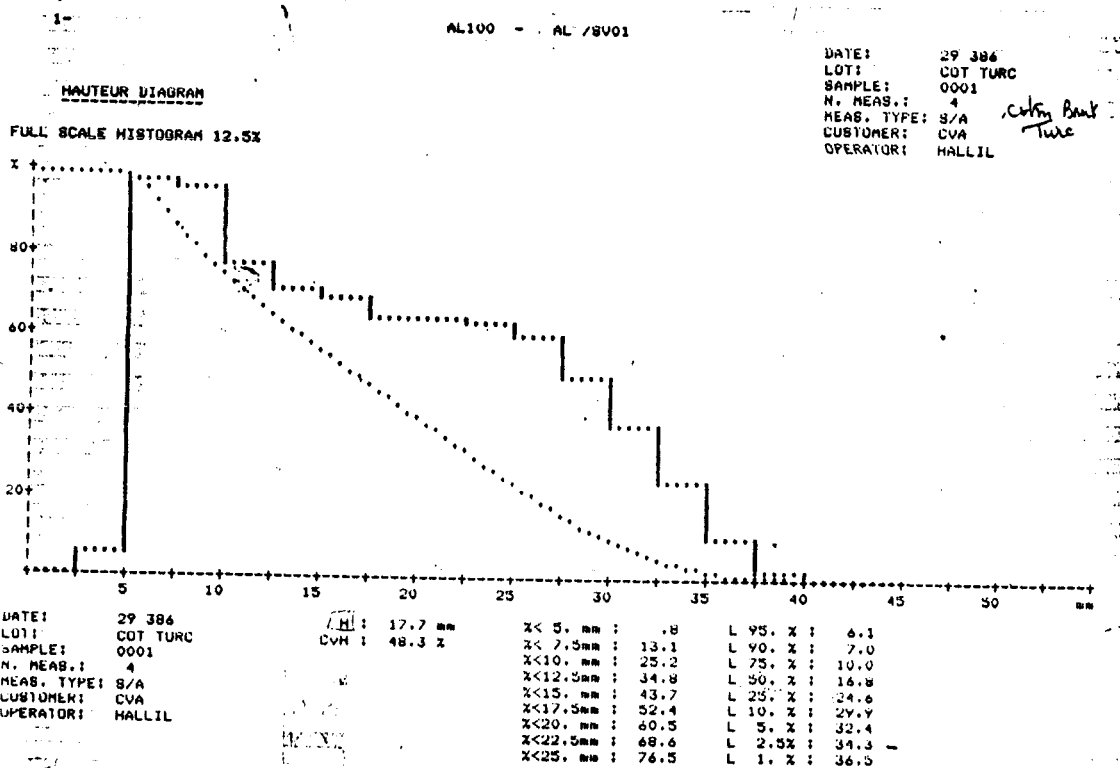


fig.3.01 Diagramme "Hauteur".

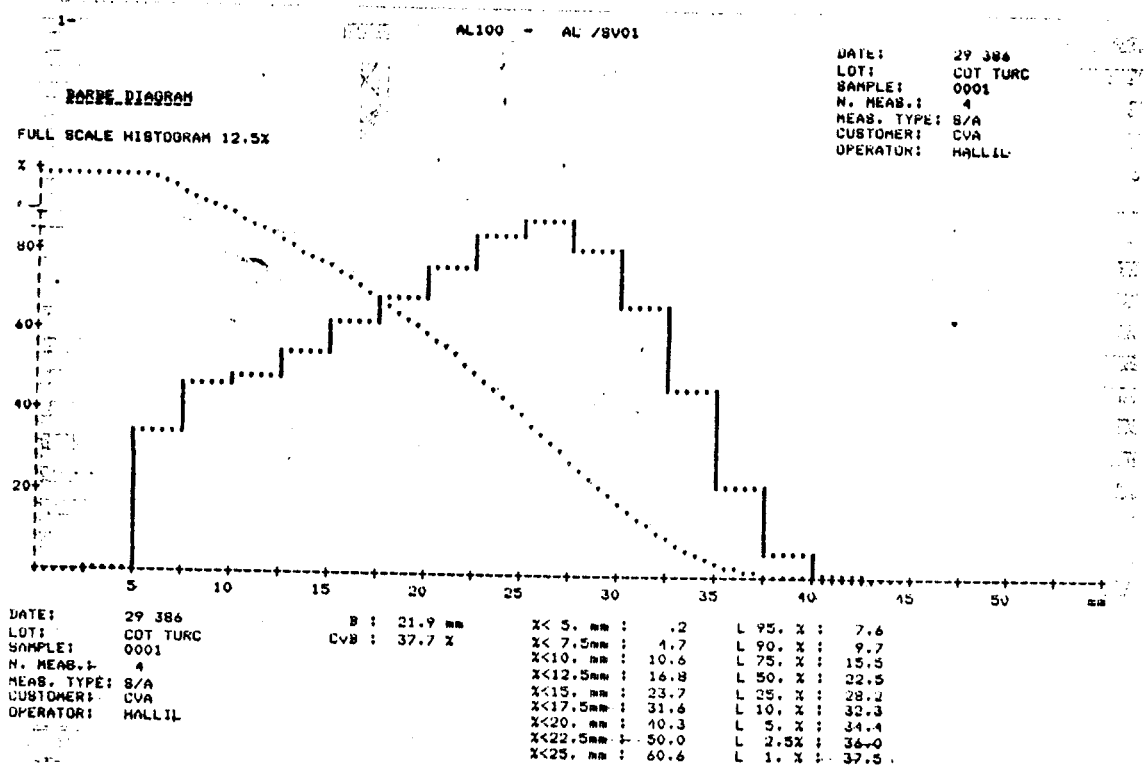


fig.3.02 Diagramme "barbe".

caractéristiques des fibres obtenues des diagrammes Hauteur et Barbe

Tabl.N3-02

Caractéristiques de la fibre						proportions de fibres courtes		proportions de fibres longues	
Long. Moy.		coef. Var.		longueur		% de fibres de long. < à 12,5 mm		% de fibres de long. ≥ 32,4 mm	
LmH	LmB	CvH	CvB	Lmod	Lt	Hauteur	Barbe	Hauteur	Barbe
mm	mm	%	%	mm	mm				
17,7	21,9	48,3	37,7	25,8	28,4	34,8	16,8	5	10

III.2. MECHE

L'unité de filature du complexe textile d'AKBOU est équipée de machines de filature de la firme RIETER (SUISSE). Le coton, en forme de balles, subit l'ouvraison et le battage, puis par un système aérofeed, les flocons de coton sont transportés à la carde où ils forment le ruban cardé. Pour le système de filature cardé (système utilisé), les rubans cardés passent ensuite, (cf.fig.3-04), sur les bancs d'étirage 1^{er} et 2^{eme} passages.

Les rubans du 2^{eme} passage du banc d'étirage sont travaillés sur les bancs à broches. En fonction des articles de fil à fabriquer, les bancs à broches (bab) sont réglés pour obtenir différents numéros de mèche.

Pour les besoins de l'expérience, on a fabriqué sur la même broche du bab (N6), trois bobines de mèches de masse linéique $T_m = 556 \text{ tex}$ ($N_m = 1,8 \text{ m/g}$). La fig.3-03 représente un exemple de diagramme de l'irrégularité de la masse linéique de la mèche $U = 5,20 \%$.

D'après USTER Statistics [49], la valeur $U = 5,20 \%$ (pour une masse linéique $T_m = 556 \text{ tex}$) correspond à un classement de 50 % Ce qui montre que la mèche utilisée est de qualité moyenne.

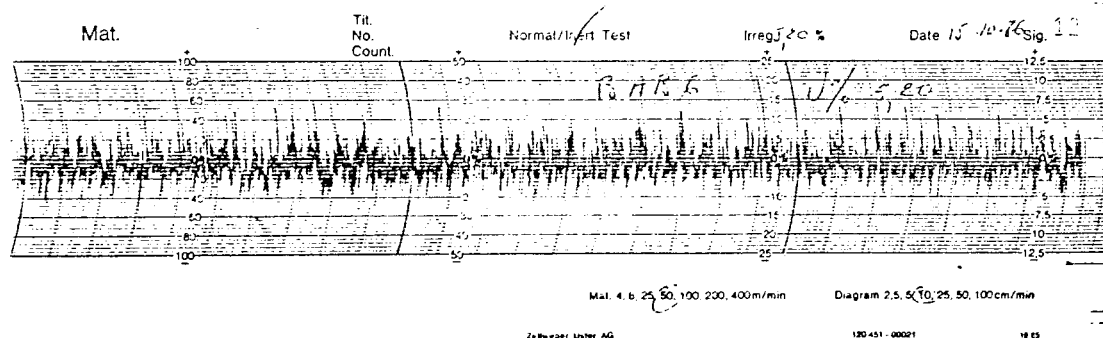


fig.3-03 Diagramme d'irrégularité de la mèche.

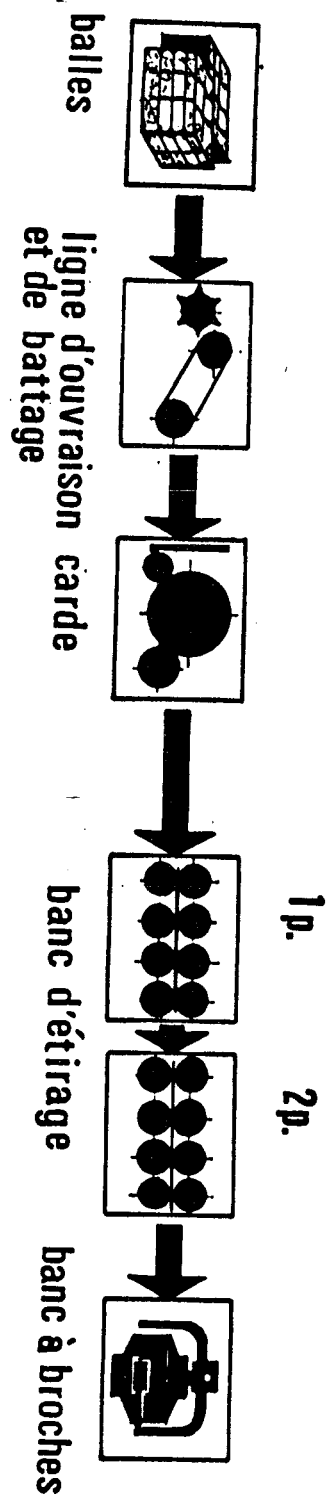


fig.3-04 Processus technologique d'une filature cardée (du mélange à la mèche).

III.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Ce dispositif est composé essentiellement d'un moteur électrique, à courant alternatif, type TLN-2, N5090 de caractéristiques 220 v, 50 Hz et de 280 VA. Il compte sept (07) gammes de vitesses dont la plus grande est égale à 8000 t/min. Ce moteur installé sur le bâti du caf PENZMACH (cf.fig.3-05), modèle P-83-5M, année de fabrication 1960, commande une seule broche.

Par l'intermédiaire d'une poulie de diamètre $\varnothing = 100$ mm, le moteur transmet, par sangle, le mouvement à la broche de diamètre $d_b = 28$ mm. Le rapport de transmission du moteur à la broche sera:

$$i = \frac{100}{28} \times 0,98 = 3,5 ;$$

où : 0,98 - représente le rendement de la sangle (ou coefficient de glissement).

Le nombre de tours maximal que peut recevoir la broche sera de :
 $n_{\max} = 8000 \times 3,5 = 28\ 000$ t/min.

A l'aide d'un potentiomètre, type LATR-1M, 220 V, 9 A et 50 Hz, on fait varier la tension de réseau (variation contrôlée par un voltmètre); cette variation entraîne un changement du nombre de tours de la broche.

Un stroboscope MESSBEREICHE TOURO-STROB type 551 XW, 220V, 50 Hz, 40 VA et à (03) trois gammes de vitesses:

- I (200 - 1 100 t/min),
- II (1 000 - 4 500 t/min),
- III (4 000 - 18 000 t/min),

permet de fixer la vitesse de rotation des broches.

III.4. REGLAGE DU CONTINU A FILER

La réalisation des expériences a lieu sur le caf, sur lequel des réglages, du train d'étirage et du système de torsion ont été effectués.

III.4.1. TRAIN D'ETIRAGE

Cette machine est équipée d'un train d'étirage, type BP-2 (système 3x3), à manchon inférieur (cf.fig.3-06). Il donne un étirage total de 11 à 50 et un étirage préliminaire (zone e1 sur la fig.3-06) de 1,5 à 2,3. Le réglage de l'écartement se fait en fonction de la longueur technique des fibres. La valeur recommandée est égale à $L_t + 5 + 7$ mm [50]. Dans notre cas l'écartement est égal à $E_c = 27 + 5 = 32$ mm.

Après l'installation du nouvel écartement, on passe au réglage des pressions sur les rouleaux, en utilisant l'appareil de mesure de la pression des rouleaux pour continu à filer à anneaux, K.I. BADALOV et coll. [51]. Pour ce type de trains d'étirage, les pressions recommandées par le constructeur sont:

- 85 à 100 N sur le 1^{er} rouleau;
- 60 à 80 N sur le 2^e rouleau;
- 50 à 60 N sur le 3^e rouleau.

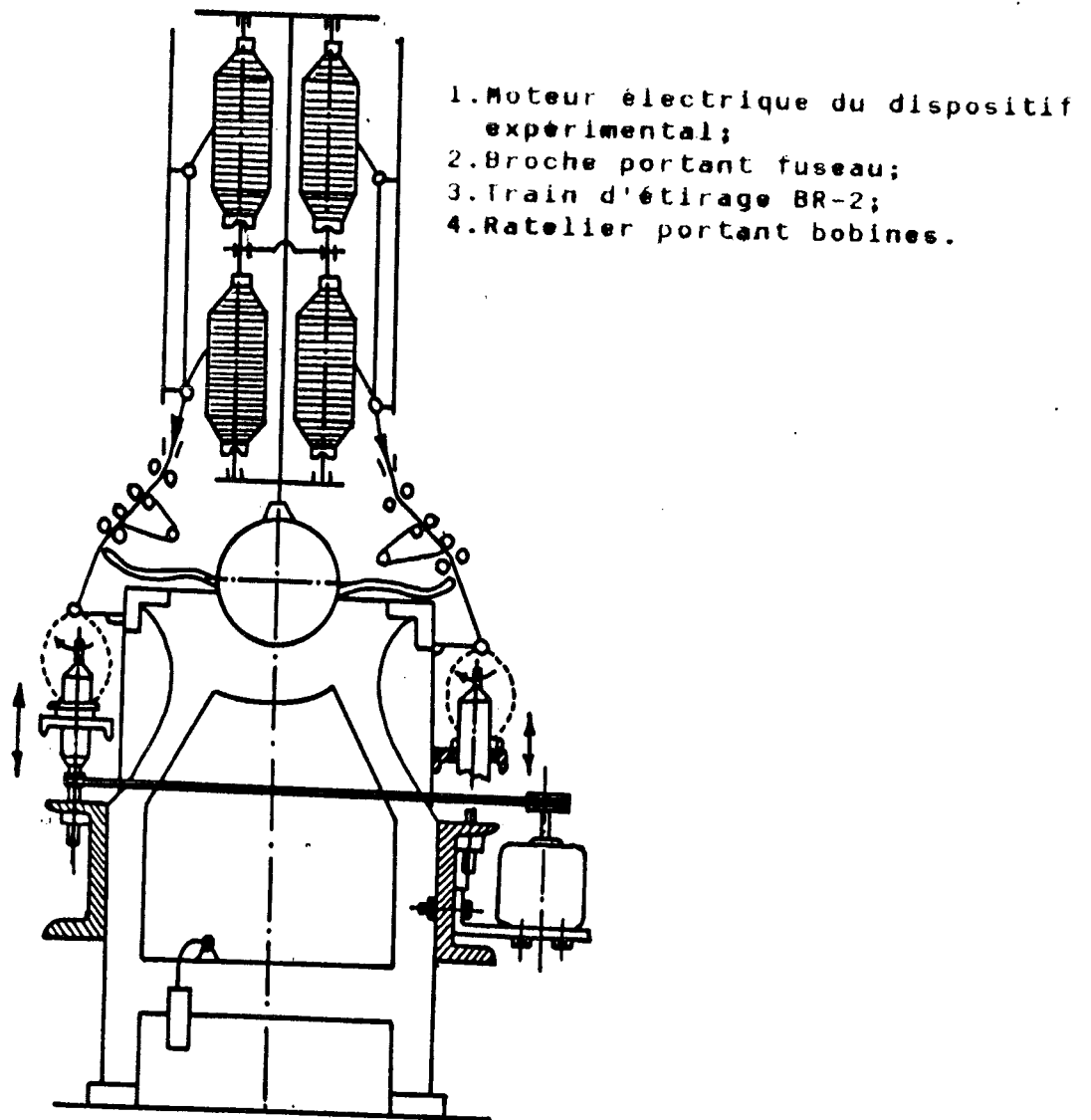


fig.3-05 Schéma technologique du continu à filer P-83-5M avec le dispositif expérimental

Les pressions installées, durant l'expérience sont respectivement: 100 N, 80 N et 60 N.

Le train d'étirage étant réglé, il faut passer au choix des étirages. Après plusieurs essais à blanc, pour obtenir les mêmes numéros métriques, que ceux fabriqués au complexe textile d'AKBOU, notamment $N_f=76$ ($T_f=13,16$), $N_f=40$ ($T_f=25$) et $N_f=24$ ($T_f=41,67$). Nous n'avons pas réussi à obtenir le numéro $N_f=76$ à cause de trop de casses de fil.

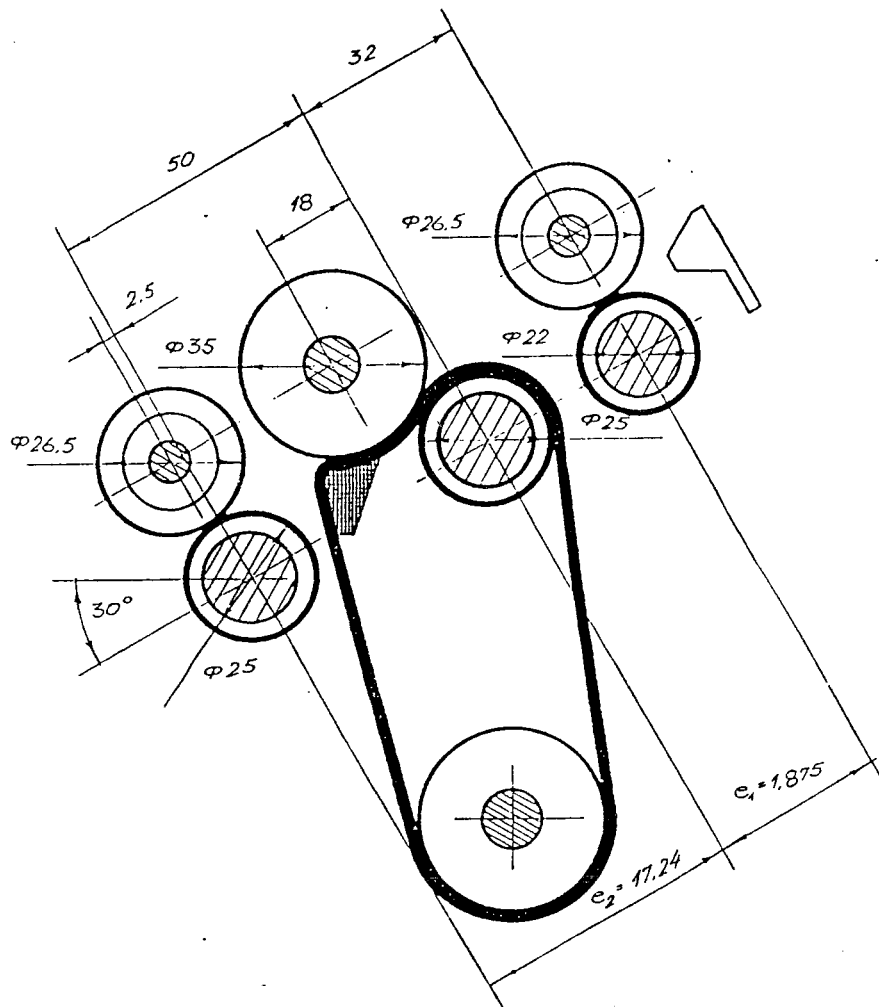


fig.3-06 Schéma du train d'étirage BP-2

Finalement, nous sommes arrivés à fixer (sans trop de casses de fil) les étirages suivants:

- l'étirage partiel entre les 2^e et 3^e cylindres:
 $e_1 = 1,875$;

- l'étirage partiel entre les 1^{er} et 2^e cylindres:
 $e_2 = 17,24$;

et l'étirage total $E_t = e_1 \times e_2 = 32,32$.

Il faut noter que tous ces réglages (écartement, pressions et étirages) sont maintenus constants pendant toute la durée de l'expérience.

A partir de l'étirage total, on peut déterminer les masses linéiques des fils à fabriquer, puisque le numéro de la mèche est connu : $N_m = 1,8$ m/g ($T_m = 556$ tex). Les fils à fabriquer, à partir de (01) mèche, de (02) mèches et de (03) mèches, auront respectivement les valeurs suivantes:

$$N_{f1} = 1,8 \times 32,32 = 58,2 \text{ m/g} \Rightarrow T_{f1} = 17,2 \text{ (g/km)};$$

$$N_{f2} = (1,8/2) \times 32,32 = 29,1 \text{ m/g} \Rightarrow T_{f2} = 34,4 \text{ (g/km)};$$

$$N_{f3} = (1,8/3) \times 32,32 = 19,4 \text{ m/g} \Rightarrow T_{f3} = 51,5 \text{ (g/km)}.$$

A noter qu'après, le calcul de ces masses linéiques (N_{f1} , N_{f2} et N_{f3} ou T_{f1} , T_{f2} et T_{f3}), des essais à blanc ont été effectués. On a pesé un certain nombre d'échevettes (100 m) de fil, pour vérifier la conformité du taux d'étirage ($E_t = 32,32$) calculé à partir du schéma cinématique de la machine.

III.4.2. SYSTEME DE TORSION

Après le train d'étirage, le fil délivré par le 1^{er} cylindre à la vitesse $V_1 = 10,31$ m/min (vitesse obtenue après remplacement du pignon de torsion $Z_t = 39$ dents par $Z_t = 46$ dents), passe dans le guide-fil puis par un curseur tournant sur l'anneau.

La vitesse du 1^{er} cylindre, la position du guide-fil et le diamètre de l'anneau sont maintenus constants pour tous les numéros de fil à fabriquer.

A chaque masse linéique du fil correspond un numéro de curseur, obtenu à l'aide de la formule de KORITSKI, [52], suivante:

$$p = 0,00155 \times T_f \times (H_c + h_g + R_a)^2 / D_a, \quad (3-03);$$

où : p - poids en gramme de 1000 curseurs;

H_c - course du chariot, pour cette machine, $H_c = 200$ mm;

h_g - distance entre le guide-fil et l'extrémité supérieure de la broche, $h_g = 52$ mm;

D_a - diamètre de l'anneau, $D_a = 48$ mm (le rayon $R_a = 24$ mm).

Cette formule est approximative; elle est surtout valable dans le cas de fils de masse linéique moyenne.

En utilisant la formule (3-03), on a calculé les numéros des curseurs utilisés pour la fabrication des fils. Les valeurs, obtenues, respectivement, pour les masses linéiques T_{f1} , T_{f2} et T_{f3} , sont:

$$p_1 = 42,30 \text{ gr} ; p_2 = 84,46 \text{ gr} \text{ et } p_3 = 126,92 \text{ gr}.$$

Comme ces valeurs ne sont pas standardisées, d'après GOST 11031-76 [53], il est recommandé de choisir les numéros dont la valeur est égale au standard (cf. tabl.N3-03).

La masse linéique du fil influe sur le choix du diamètre de l'anneau. Pour vérifier si le diamètre à installer est convenable, pour la fabrication des trois gammes de fils (T_{r1} , T_{r2} et T_{r3}), on utilise la formule, de A.A MAGNITSKY [54], basée sur la vérification de la vitesse circonférentielle du curseur, V_c :

$$V_c = \sqrt[3]{\frac{10^5 \times D_a}{215 + 1,86 \times T_f}} \quad (\text{m/s}) , \quad (3-04) ;$$

Les résultats de calcul des vitesses des curseurs sont présentés en la tabl.N3-03.

Sur les continus à filer à anneaux, qui produisent des filés de coton, les vitesses des curseurs recommandées peuvent atteindre 40 m/s et même plus [52, 55]. Ces vitesses sont généralement fonction du nombre de tours de la broche, du diamètre de l'anneau et du titre du fil à fabriquer.

A travers les vitesses calculées, V_{c1} , V_{c2} et V_{c3} , on constate que l'anneau installé (de diamètre $D_a = 48 \text{ mm}$) peut convenir pour fabriquer les trois articles T_{r1} , T_{r2} et T_{r3} .

III.4.3. CHOIX DE LA VITESSE DES BROCHES

Pour fabriquer ces articles de fils, il faut choisir les vitesses des broches. Pour cela, il faut au préalable déterminer les torsions de chaque fil. Le coefficient de torsion critique, correspondant à la torsion maximal, est donné par la formule empirique, de SOLOVIEV [56], suivante:

$$\alpha_c = \frac{(1120 - 70 \times R_{fb})}{L_t} \times R_{fb} + \frac{56,92}{\sqrt{T_f}} , \quad (3-05) ;$$

Ainsi, pour les différentes masses linéiques des fils, on obtient les coefficients de torsion critique (cf.tabl.N3-03).

Les torsions correspondantes sont calculées à partir de la relation (2-15a); les valeurs respectives sont consignées en la tabl.N3-03.

La vitesse du premier cylindre est maintenue constante. En outre, la torsion a lieu entre le curseur et ce cylindre. Puisqu'à chaque tour du curseur correspond un tour de torsion du fil, alors en pratique, on détermine la torsion à l'aide de la relation suivante:

$$T = \frac{n_c}{V_I} \quad (\text{t/m}) , \quad (3-06a) ;$$

Pour Les résultats de calcul des nombres de tours des curseurs, voir tabl.N3-03.

Pour qu'il y ait renvidage du fil sur le fuseau (cops), le curseur a un retard de rotation sur la broche. Dans le cas des continus à anneaux, à filer les fibres non continues, ce retard ne dépasse, en général, pas 1,5 % [04, 35, 57].

En le supposant égal à 1 %, alors les nombres de tours de la broche, pour fabriquer chaque fil, seront déterminés par les formules suivantes:

$$n_{b1} = n_{c1} + 0,01 \times n_{c1} \quad (\text{t/min}), \quad (3-06b);$$

$$n_{b2} = n_{c2} + 0,01 \times n_{c2} \quad (\text{t/min}), \quad (3-06c);$$

$$n_{b3} = n_{c3} + 0,01 \times n_{c3} \quad (\text{t/min}), \quad (3-06d).$$

A partir de ces valeurs, on fixe les nombres de tours réels pour la réalisation des essais (cf. tabl.N3-03). En utilisant les nombres de tours des curseurs déterminés, on peut calculer les vitesses circonférentielles réelles correspondantes, en utilisant la formule 3-07, ci-dessous:

$$V_c = \frac{\pi D_a n_c}{60} \quad (\text{m/s}), \quad (3-07);$$

Valeurs de base utilisées pour la réalisation de l'expérience

tabl.N3-03

DESIGNATION	Série à une mèche (S1)	Série à deux mèches (S2)	Série à trois mèches (S3)
Nombre de mèches alim.	01	02	03
Tex des filés	Tf1=17,2	Tf2=34,4	Tf3=51,5
N° curseurs	P1=40	P2=85	P3=125
Vitesses des curs. (m/s)	Vc1=26,89	Vc2=25,82	Vc3=24,90
coef. torsion critique α_c	α_{c1} =138,2	α_{c2} =134,3	α_{c3} =132,5
Taux de tors. obtenu de α_c	T1=1054	T2=724	T3=584
Nbre de tours curs. (t/mn)	n_{c1} =10864	n_{c2} =7464	n_{c3} =6019
Pas du rochet	01	02	03

III.5. METHODOLOGIE DES ESSAIS

Chaque série d'essais comprend trois variantes:

- 1°- la 1^{ère} variante (γ_1) avec des vitesses de la broche (n_{11} , n_{21} , n_{31}) correspond à la torsion calculée à partir de α_c ;
- 2°- la 2^{ème} variante (γ_2) avec des vitesses de la broche (n_{12} , n_{22} , n_{32}) inférieures aux premières de 10 %;
- 3°- la 3^{ème} variante (γ_3) avec des vitesses de la broche (n_{13} , n_{23} , n_{33}) inférieures aux premières de 20 % (ou aux deuxièmes de 10 %, cf. tabl.N3-04).

Pour donner une forme identique au fuseau, on a réglé le pas de déplacement du rochet, du mécanisme de renvidage (cf. tabl.N3-03).

Pour les besoins de l'expérience, le ratelier de cette machine a été modifié, pour contenir les bobines plus longues du banc à broches RIETER; de même que le guide-mèche remplacé a un orifice plus large.

Après la fabrication, les fuseaux de fils ont été conditionnés pendant 48 heures et plus (recommandation de ISO-1142 [58]), puis analysés sur les appareils de mesure.

III.5.1. SERIE A UNE MECHE

On place une bobine de mèche sur le ratelier du caf, et on introduit la mèche dans le guide-mèche. Ensuite, on installe un curseur de numéro $p_1=40$ et on règle le pas du rochet sur (01) dent, puis on met la machine en marche et on fait la rattache. La machine est ainsi prête pour la fabrication du fil de masse linéique $T_{f1}=17,2 \text{ tex}$ (cf.fig.3-07).

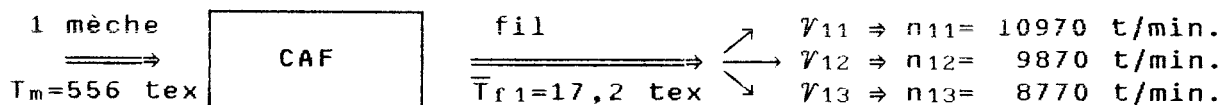


fig.3-07 schéma de réalisation de la série 01.

Variante V_{11}

A l'aide du stroboscope et du potentiomètre, on fixe le nombre de tours initial de la broche égal à $n_{11}=10970 \text{ t/min.}$ Toutes les dix minutes, on la contrôle à l'aide du stroboscope. Après 90 minutes de fonctionnement, le premier essai terminé, on arrête la machine; ensuite on passe à la fabrication d'un 2^e, puis d'un 3^e fuseaux, dans les mêmes conditions que le 1^{er}. En remettant chaque fois le chariot porte anneaux à sa position initiale. Pour chaque variante, on fabrique trois (03) fuseaux de fil identiques, deux (02) seront destinés à l'analyse sur le régularimètre USTER et le 3^e pour la détermination de la torsion et de la résistance.

Variante V_{12}

Pour cette variante, on diminue le nombre de tours de la broche de 10 % par rapport à la première, c'est à dire:

$$n_{12} = n_{11} - 0,1 \times n_{11};$$

tandis que tous les autres paramètres sont maintenus constants.

Variante V_{13}

Le nombre de tours de la broche sera diminué de 20 % par rapport à n_{11} , c'est à dire :

$$n_{13} = n_{11} - 0,2 \times n_{11};$$

et les autres paramètres sont maintenus constants.

les vitesses moyennes obtenues au moyen du stroboscope et leurs étendues (relevées toutes les 10 minutes) sont données en le tabl.N3-04.

III.5.2. SERIE A DEUX MECES

On place deux bobines de mèche sur le ratelier du caf, et on introduit les deux mèches, de même masse linéique, dans le même orifice du guide-mèche, puis on règle le pas de déplacement du rochet sur deux (02) dents et on installe le curseur correspondant, $p_2 = 85$.

Le nombre de tours de la broche de la première variante de cette série est: 7540 t/min.

En procédant de la même manière que pour la série (01), et pour un fil de masse linéique $T_{f2} = 34,4$ tex, on obtiendra les valeurs représentées ci-dessous (cf.fig.3-08).

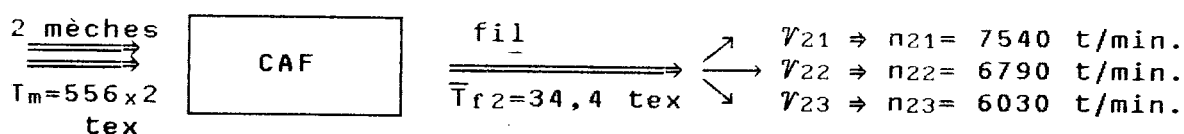


fig.3-08 schéma de réalisation de la série 02.

Pour les vitesses moyennes enregistrées et leurs étendues, voir tabl.N3-04.

III.5.3. SERIE A TROIS MECES

On place trois (03) bobines de mèches sur le ratelier du caf, (cf.fig.3-09), et on introduit dans le même orifice du guide-mèche les 03 mèches (de même masse linéique), afin d'obtenir un fil de masse linéique $T_{f3} = 51,5$ tex.

On règle le pas du rochet sur 03 dents et on installe le curseur correspondant, $p_3 = 125$. Le nombre de tours de la broche de la première variante V_{31} de cette série est: $n_{31} = 6080$ t/min.

En procédant de la même manière que précédemment, on obtient les valeurs représentées sur la fig.3-09, ci-après.

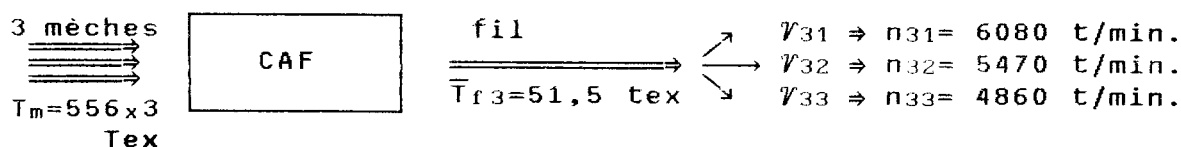


fig.3-09 schéma de réalisation de la série 03.

Les vitesses moyennes enregistrées et leurs étendues ainsi que Toutes les valeurs, qui ont servies de base à la fabrication des fils, sont récapitulées dans le tabl.N3-04, ci-après.

nombres de tours de la broche réglés pour la
fabrication des filés

Tabl.N3-04

Série	Variantes d'essai	n broche (t/mn)	Torsion (t/m)	$\bar{n}$ broche moy. (t/mn)	Etendues $\bar{n}$ (t/mn)
S1	V11	n11=10970	T11=1054	$\bar{n}$ 11=10530	E11=450
	V12	n12= 9870	T12= 948	$\bar{n}$ 12= 9300	E12=350
	V13	n13= 8770	T13= 843	$\bar{n}$ 13= 8230	E13=300
S2	V21	n21= 7540	T21= 724	$\bar{n}$ 21= 7200	E21=300
	V22	n22= 6790	T22= 652	$\bar{n}$ 22= 6150	E22=350
	V23	n23= 6030	T23= 579	$\bar{n}$ 23= 5120	E23=300
S3	V31	n31= 6080	T31= 584	$\bar{n}$ 31= 6200	E31=350
	V32	n32= 5470	T32= 526	$\bar{n}$ 32= 5250	E32=350
	V33	n33= 4860	T33= 467	$\bar{n}$ 33= 4350	E33=300

Pendant la fabrication, le nombre de tours de la broche est repéré par la valeur de la tension du réseau, indiquée par le voltmètre. Il faut, en outre, remarquer qu'il était difficile d'obtenir précisément les pourcentages de 10 % et 20 % entre les vitesses fixées au préalable.

Néanmoins, le but recherché, consistant en l'obtention des torsions bien distinctes, permettant de faire une analyse (cf.valeurs moyennes des vitesses de la broche, tabl.N3-04), a été atteint.

Cette difficulté peut s'expliquer par le fait que le moteur électrique du dispositif expérimental, étant à courant alternatif et de faible puissance, réagit très sensiblement même à de très faibles perturbations. Aussi, lors du contrôle de la vitesse de la broche, à l'aide du stroboscope, on a remarqué des variations dues, d'une part, à la position du chariot et au poids du fuseau de fil et, d'autre part, à l'instabilité de la tension du réseau (chutes de tension très fréquentes).

Le continu à filer qui a servi à l'expérience est installé dans un atelier non climatisé; néanmoins la fabrication a lieu pendant une période où les conditions climatiques étaient favorables, c'est à dire voisines de $t^{\circ} = 20 \div 22^{\circ} \text{C}$ et de l'humidité relative $h = 45 \div 60 \%$, [10].

III.6. CONTROLE DE L'IRREGULARITE PAR L'USTER

Le régularimètre USTER TESTER IB sert à l'indication continue d'une grandeur proportionnelle à la masse par unité de longueur du produit (rubans, mèches ou fils). L'unité de longueur est définie par la longueur du champ de mesure; cette longueur est de 8 à 20 mm (les fils 8 mm, rubans 20 mm).

Simultanément avec la mesure, l'enregistreur indique, sur une bande de papier diagramme, la marche du poids par unité de longueur. Cette indication est toujours donnée de façon relative, c'est à dire, on obtient une indication proportionnelle à la masse de la matière qui se trouve entre les électrodes du condensateur de mesure.

De même qu'il enregistre le spectre des défauts de fonctionnement des machines qui ont servies à la fabrication du produit contrôlé, ainsi que les défauts de structure, notamment du fil (points gros, points minces et boutons).

Pour éviter l'influence de certains facteurs perturbateurs sur les résultats des essais, le constructeur recommande de faire fonctionner le régularimètre USTER TESTER IB dans un climat normal de température $t = 20 \pm 2$ °c et d'humidité relative $h = 65 \pm 2$ %.

Le régularimètre est mis en marche, dans l'ordre suivant:

PRINTER-SPECTROGRAPH-IMPERFECTION INDICATOR-CONTROL, au moins 20 minutes avant le début des essais. Après ce temps d'attente, on procède aux choix des paramètres à fixer. On a donné les vitesses d'avance de la matière ($V_m = 200$ m/min) et du papier diagramme ($V_p = 10$ cm/min), puis on a choisi:

- la gamme de sensibilité des points minces (-50 %), des points gros (+50 %) et des boutons (+200 %);
- le temps d'évaluation (01 minute);
- la sensibilité du diagramme (100 %), [59];
- les fentes de mesure (4 et 5, selon la masse linéique T_r du fil), [59].

On introduit ensuite toutes ces données dans le data processor [60] et l'installation est prête pour l'essai.

On enfile, en faisant passer le fil par le tendeur (incorporé au monitor), puis avant de l'introduire dans la fente de mesure correspondante (4 ou 5), on appuie d'abord sur la touche "AJUSTEMENT WITHOUT MATERIAL" pour ramener l'aiguille du galvanomètre du control à la position (- 100 %), celle-ci s'allume; une fois éteinte, on appuie sur la touche "INERT TEST" et on introduit le fil dans la fente de mesure choisie.

L'aiguille du galvanomètre dévie doucement vers zéro (0). Si elle s'arrête loin du zéro, on l'y ramène en tournant le bouton "AVERAGE VALUE" dans le sens qui convient, puis on relâche la touche "INERT TEST" et on travaille en "NORMAL TEST". Pour éviter toute erreur de mesure, il faut s'assurer que tous les compteurs sont aux zéros (0); sinon on le fait à l'aide des touches "CLEAR" respectives.

Ensuite on met en marche les rouleaux délivreurs du "MONITOR" et on enclenche les touches "START" et "RECORDER" du "CONTROL", (08) huit secondes après l'appareil commence à

enregistrer. Une fois le temps d'évaluation écoulé, la touche (1 minute) s'allume et une sonnerie retentit, le "DATA PROCESSOR" affiche: ATTENDRE! ATTENDRE! ATTENDRE!. Environ 20 secondes après, le son de la sonnerie change et, à ce moment là, c'est la fin de l'essai en question.

Pour passer à l'essai suivant, on remet tous les compteurs et, s'il y a lieu, l'aiguille du galvanomètre aux zéros.

A la fin de l'essai, les spectrogrammes et les diagrammes sont imprimés avec les données du fil (U%, thin places, thick places et neps; cf. fig.4-04, fig.4-05 et fig.4-06).

III.7. CONTROLE DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE

Après le contrôle de l'irrégularité, sur le régularimètre, on procède aux contrôles de la torsion et de la masse linéique des fils fabriqués.

Sur le torsiomètre KY-500, on contrôle la torsion d'un tronçon de fil de longueur 250 mm, par la méthode de la double torsion. Ce tronçon de fil est ensuite pesé sur une balance analytique, de type SARTORIUS, de capacité 20 gr.

Entre les pinces du torsiomètre, on fixe la longueur d'essai égale à 250 mm; en ayant au préalable fixé la prétension égale à 0,5 cN/tex. On cale le verrou du balancier et on prend l'extrémité du fil du côté de la pince mobile, en tirant dessus légèrement de sorte que l'aiguille du balancier atteigne zéro (0). Puis on coupe ce bout de fil à ras de la pince (côté extérieur) pour éviter l'enchevêtrement lors de la détorsion. On s'assure que le compteur est au zéro (0), puis on donne à la pince le sens de rotation contraire à celui de la torsion du fil (ici, on donne le sens Z, car le fil est fabriqué avec une torsion de sens S).

Selon les recommandations de GOST 66113-73 [61], lors de l'utilisation de la méthode de la double torsion, il est conseillé de limiter le déplacement de l'aiguille du balancier à quelques divisions, afin d'éviter l'allongement du fil par le glissement des fibres les unes par rapport aux autres.

Pour cela, on cale l'aiguille du balancier à environ 10 divisions et on continue à faire tourner, toujours dans le même sens, jusqu'à ce que celle-ci revienne à zéro (0). Ainsi, on a détordu et retordu le tronçon de fil. Une fois l'aiguille au zéro, on enregistre l'indication du compteur de mesure, puis on verrouille le balancier.

Cette méthode est appelée "méthode de la double torsion", et le résultat sera, dans ce cas, tours/ 50 cm et non tours/ 25 cm (correspondant à la longueur de l'éprouvette d'essai).

A l'aide d'une lame de rasoir, on coupe le tronçon de fil de 250 mm (compris entre les deux points de pincage des deux pinces); lequel tronçon est ensuite pesé. Comme la longueur et le poids du tronçon sont connus, on peut déterminer la masse linéique du fil (tex). Ainsi à chaque valeur de la torsion correspond une valeur de la masse linéique, ce qui nous permettra de faire l'analyse de la dépendance entre ces deux caractéristiques du fil.

III.8. CONTROLE DE LA FORCE ET DE L'ALLONGEMENT DE RUPTURE

Cet essai est réalisé après avoir déterminé les irrégularités de la torsion et de la masse linéique des fils. Pour déterminer la résistance et l'allongement de rupture des fils, on a utilisé le dynamomètre FRANK, à commande numérique, de puissance 5 kN, fonctionnant selon le principe de l'allongement à vitesse constante (Constant Rate of Elongation).

Ce dynamomètre permet de mesurer les forces maximale et de rupture ainsi que les allongements correspondants. La longueur d'essai est normalisée à 500 mm, le temps de rupture de l'éprouvette, à la vitesse choisie, doit être compris dans l'intervalle de 20 ± 3 s, ISO 2062 [39]. Le climat de contrôle exige une humidité relative $h = 65 \pm 2$ % et une température $t = 20 \pm 2$ °C.

Après avoir choisi et installé les têtes de serrage (têtes de mesure pour fil), on enclenche l'appareil. A l'aide d'un chronomètre, on contrôle le temps de rupture de l'éprouvette à la vitesse choisie. Si ce temps est compris dans l'intervalle de 17 à 23 s, alors cette vitesse est acceptée. Dans le cas contraire, on la change, en prenant une vitesse supérieure si le temps enregistré est supérieur à 23 s et une vitesse inférieure dans le cas où celui-ci est inférieur à 17 s. Pour la réalisation des différents tests, les vitesses choisies sont respectivement 60, 90 et 110 mm/min pour les masses linéiques Tr_1 , Tr_2 , et Tr_3 .

On introduit le critère de rupture par la touche ΔF , (par exemple $\Delta F = 0,5$ N). Si la valeur maximale de la force est égale à 10 N, la rupture est reconnue lorsque la valeur maximale de la force d'essai est inférieure de 0,5 N, c'est à dire elle est égale à $10 - 0,5 = 9,5$ N.

Les valeurs des forces sont mesurées toutes les 10 ms et comparées. Si la chute de la force entre 10 ms est plus grande que la valeur entrée, alors la rupture est reconnue.

Un autre critère important, c'est celui de la préforce F_v . La valeur de la préforce doit être aussi petite que possible, afin d'éviter que le résultat ne soit affecté d'imprécisions initiales. En effet, la mesure du déplacement est remise à zéro (0), lorsque la mesure de la préforce a été atteinte (par exemple $F_v = 0,01$ N).

Une fois tous les paramètres introduits, on appuie sur les touches PAR et PRINT pour imprimer l'entête (date, N°, V1, cycle, l_0 ...), et sur les touches DSP et S pour voir à l'affichage les valeurs instantannées de la force et de l'allongement.

Au commencement de l'essai, on fixe l'éprouvette avec une prétension de 0,5 cN/tex. Si au cours d'un essai, l'éprouvette se casse à 5 mm du point de pincage de l'une des deux pinces, l'essai en question est considéré comme nul, ISO 2062 [39]. A l'aide de la touche CORR, on élimine cette valeur de toute considération ultérieure.

Hormis la détermination des caractéristiques des fibres et la fabrication de la mèche, qui ont été réalisées au complexe

textile d'AKBOU, toutes les expériences ont été effectuées aux laboratoires de l'INIM.

Toutes les normes de fonctionnement, concernant le caf et le dispositif expérimental ainsi que les appareils de mesure et de contrôle des caractéristiques des filés (le régularimètre USTER, le torsiomètre KY-500 et le dynamomètre FRANK), ont été respectées, et les conditions de mesure sont également conformes aux différentes normes internationales.

Les essais ont été réalisés dans les mêmes conditions de température $t=20\pm 2$ °C et d'humidité $h=65\pm 2\%$, ISO 139 [62].

CHAP.IV: RESULTATS EXPERIMENTAUX

Cette recherche est centrée sur l'étude des caractéristiques d'irrégularité de la masse linéique T_r (tex), de la torsion T (t/m), de la résistance R_f (N) et de l'allongement E_f (mm), d'un fil de coton cardé.

Avant d'aboutir à l'étude de l'influence de la masse linéique T_r sur la torsion T , il fallait cerner tous les paramètres qui pouvaient influencer d'une manière directe (fortement) sur les enseignements à tirer et la confirmation des déductions par l'étude de la résistance R_f et de l'allongement E_f du fil.

Les résultats ci-après représentent les valeurs moyennes des différentes caractéristiques obtenues par les méthodes capacitive et gravimétrique.

IV.1. IRREGULARITE DE LA MASSE LINEIQUE

Les résultats ci-après (tabl.N4-01 et tabl.N4-02) ont été repris des différentes valeurs obtenues sur USTER TESTER IB.

Le tableau N4-01 représente les valeurs des irrégularités $U\%$ des neuf (09) variantes obtenues par la méthode capacitive. La moyenne des valeurs $U\%$ (ou $C_v\% = 1,25 \times U\%$) est donnée sur 1km. Comme la vitesse de déroulement de la matière $V_m = 200$ m/min et le temps d'évaluation est de 01 minute, alors la longueur totale contrôlée (pour les 04 essais) correspond à:

$$200 \times 4 = 800 \text{ m ;}$$

tandis que le régularimètre donne une moyenne par km ($U\%$ et défauts).

Irrégularités $U\%$ et $C_v\%$ USTER

Tabl.N4-01

N	U1%			U2%			U3%		
	$T_{f11} =$ 15,4	$T_{f12} =$ 16,4	$T_{f13} =$ 16,6	$T_{f21} =$ 35,3	$T_{f22} =$ 33,7	$T_{f23} =$ 33,6	$T_{f31} =$ 55,0	$T_{f32} =$ 52,2	$T_{f33} =$ 51,7
1	20,79	20,40	22,37	14,78	14,48	14,16	11,00	12,74	25,56
2	20,21	20,40	19,82	14,67	14,61	14,40	13,92	11,00	16,97
3	20,70	20,40	20,14	14,45	14,25	14,30	—	13,05	13,52
4	20,44	20,61	20,55	14,32	14,29	14,10	—	10,83	18,77
$U\%$ km	20,53	20,45	20,72	14,55	14,40	14,24	—	11,90	18,70
$C_v\%$ km	25,67	25,56	25,90	18,19	18,00	17,80	*	14,88	23,38

En comparant les valeurs moyennes $U\%$ ($Cv\%$) des variantes $Tf12$, $Tf22$ et $Tf32$ (les variantes $Tf31$ et $Tf33$ possèdent beaucoup de défauts et peuvent donc influencer les déductions), on remarque que l'irrégularité de la masse linéique diminue avec l'augmentation de l'épaisseur du fil (cf. tabl.N4-01).

Le graphe (*-Cv USTER) de la fig.4-01 montre clairement cette dépendance ($Cv\% = f(Tf)$), pour les trois variantes choisies et confirme les études théoriques en ce domaine. En revanche, la torsion n'a pas une grande influence sur l'irrégularité de la masse linéique.

IV.2. DEFAUTS DES FILES

Le tabl.N4-02 ci-après, montre la répartition des défauts dans le fil, enregistrés par le régularimètre USTER, caractérisés par les points gros (graphe Δ), les boutons (graphe *), et les points minces (graphe + de la fig.4-02), en fonction de la masse linéique.

On remarque, à travers ce tableau, que les défauts dans le filé sont plus importants dans le cas du fil fin. Tandis que, l'augmentation de l'intensité de torsion n'engendre qu'un faible accroissement du nombre de défauts (comparer les variantes $Tf11$ à $Tf13$ et $Tf21$ à $Tf23$).

Pour mettre en relief ce phénomène, l'analyse de la fig.4-02 donne un meilleur reflet de la variation du nombre de défauts en fonction de la masse linéique Tf des fils des variantes $Tf12$, $Tf22$ et $Tf32$.

Défauts des filés

Tabl.N4-02

DEFAUTS	N	S1			S2			S3		
		$Tf11$	$Tf12$	$Tf13$	$Tf21$	$Tf22$	$Tf23$	$Tf31$	$Tf32$	$Tf33$
POINTS MINCES	1	334	300	285	22	12	24	01	22	102
	2	310	320	327	21	21	17	36	07	38
	3	339	320	291	21	24	16	—	18	30
	4	345	308	309	24	16	13	—	00	62
TOTAL/km	—	1660	1560	1515	110	91,2	87,5	—	58,7	290
POINTS GROS	1	521	541	475	168	124	140	20	32	54
	2	535	548	491	144	144	152	30	23	102
	3	552	489	487	135	111	132	—	22	34
	4	558	544	521	126	125	127	—	17	27
TOTAL/km	—	2707	2652	2467	716	630	688	—	117	271
BOUTONS	1	368	311	300	50	45	39	06	11	12
	2	338	352	304	44	39	41	19	11	18
	3	345	299	276	60	35	35	—	08	16
	4	331	336	320	35	41	44	—	09	04
TOTAL/km	—	1727	1622	1500	236	200	201	—	48,7	62,5

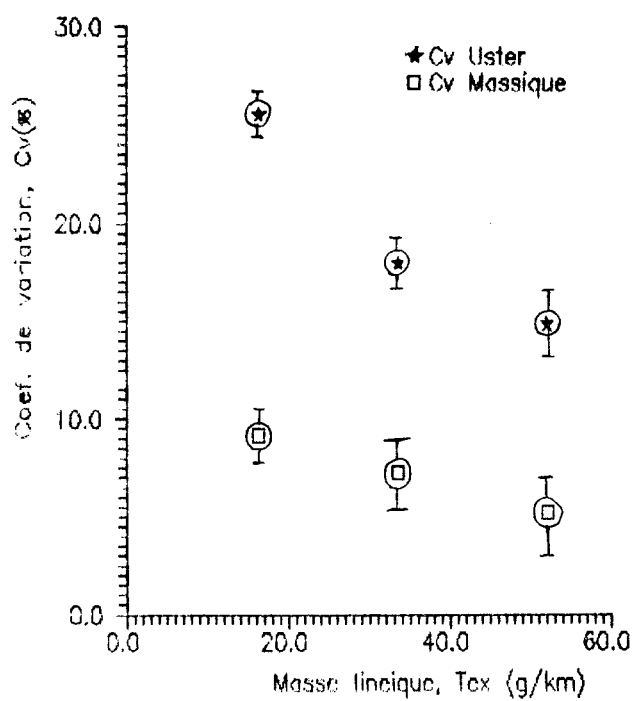


fig.4.01 Coefficient de variation en fonction du Tex du fil.

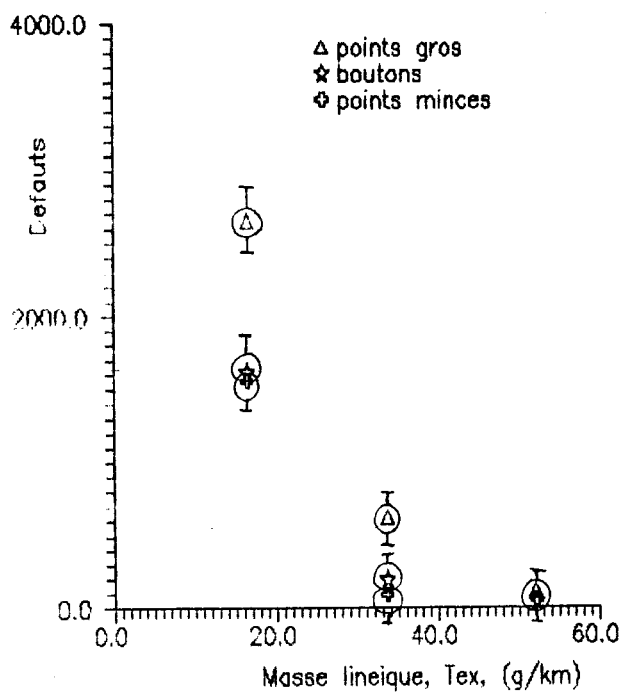


fig.4.02 influence de la masse lineique sur les defauts des files.

IV.3. SPECTRES DES LONGUEURS D'ONDE

L'analyse des spectres des variantes V_{12} , V_{22} et V_{32} montre que les défauts ne sont pas répartis uniformément. En effet, l'analyse des spectres de ces essais montre un premier défaut situé à environ 07 cm; l'amplitude de la pointe (sommet) est plus importante dans les essais de la variante V_{32} (comparer les fig.4-04, fig.4-05 et fig.4-06).

Ce défaut est provoqué par l'étirage, puisque sa longueur d'onde peut être calculée d'après la formule suivante:

$$\lambda_1 = C_t \times \bar{l}_r, \quad (4-01);$$

ou : C_t - constante comprise entre 2,5 ÷ 3; pour le fil, on prend la valeur moyenne $C_t = 2,75$; [59];

En général la longueur d'onde d'étirage est comprise entre 04 et 10 cm, [59].

Le 2^{ème} défaut détecté est situé à une longueur d'onde $\lambda_2 = 160 \pm 200$ cm, notamment sur les spectres de la variante V_{12} (fig.4-04); ce défaut peut avoir pour origine le rouleau intermédiaire, puisque:

$$\lambda_2 = \pi \times d_2 \times e_2 \quad (4-02);$$

où : d_2 - diamètre du rouleau, $d_2 = 35$ cm (cf.fig.3-06);
 e_2 - étirage principal entre le 1^{er} et le 2^{ème} cylindres,
 $e_2 = 17,24$.

Ce défaut peut être dû au manque de pression sur le rouleau intermédiaire dans le cas de la variante V_{12} , puisque ce même défaut disparaît partiellement dans les spectres de la variante V_{22} (fig.4-05) et complètement dans les spectres de la variante V_{32} (fig.4-06).

Le 3^{ème} défaut est situé à une longueur d'onde $\lambda_3 = 10 \pm 20$ m. Cette longueur d'onde se trouve donc en dehors du continu à filer (cf.chap.II §.II.2.2.1); ce défaut peut probablement provenir du bab; puisque la plus grande longueur d'onde, que peut avoir le spectre de défaut du fil (dans notre cas), est celle provoquée par le manchon, autrement dit:

$$\lambda_m = l_m \times e_2, \quad (4-03);$$

où : l_m - longueur du manchon, $l_m = 270$ mm.

En effet, l'analyse du spectrogramme de la mèche (obtenu à COTITEX AKB00), (cf. fig.4-03), montre que celle-ci possède deux (02) défauts apparents provoqués par le banc à broches. Ces défauts sont situés à des longueurs d'onde λ_{b1} et λ_{b2} (cf.tabl.N4-03).

Sur le cas ces défauts auront respectivement pour longueurs d'onde:

$$\lambda_4 = \lambda_{b1} \times E_t, \quad (4-04);$$

$$\lambda_5 = \lambda_{b2} \times E_t, \quad (4-04a);$$

Ces défauts sont difficiles à détecter précisément sur les spectres de longueurs d'ondes du fil, aussi on a souvent recours aux spectres des demi-produits pour faire les analyses.

Mais pour les variantes V31 et V33 certaines zones du diagramme sont complètement déviées. Ce phénomène est, probablement, engendré par des tronçons de fils non étirés, ou par l'accumulation de fibres.

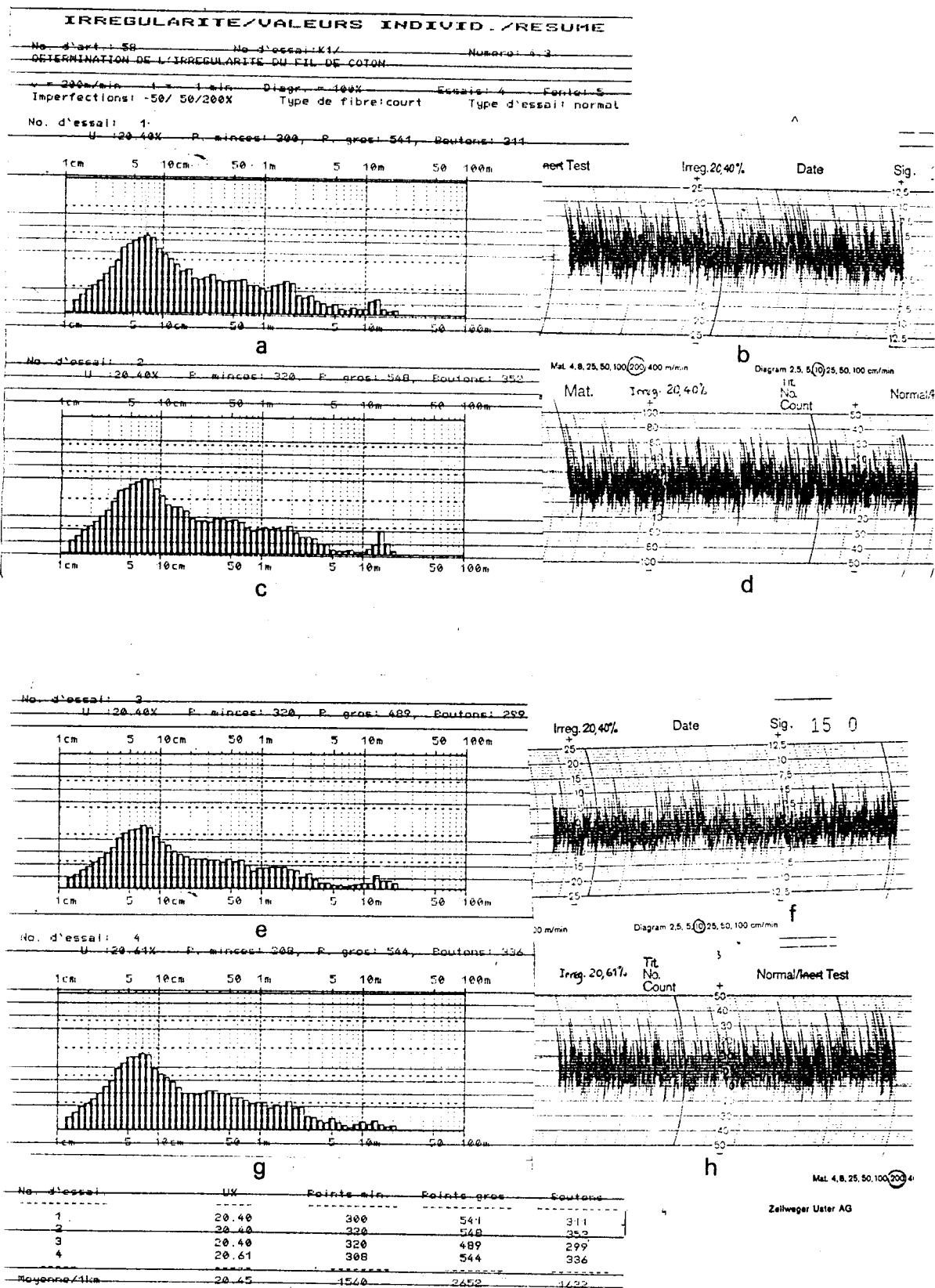
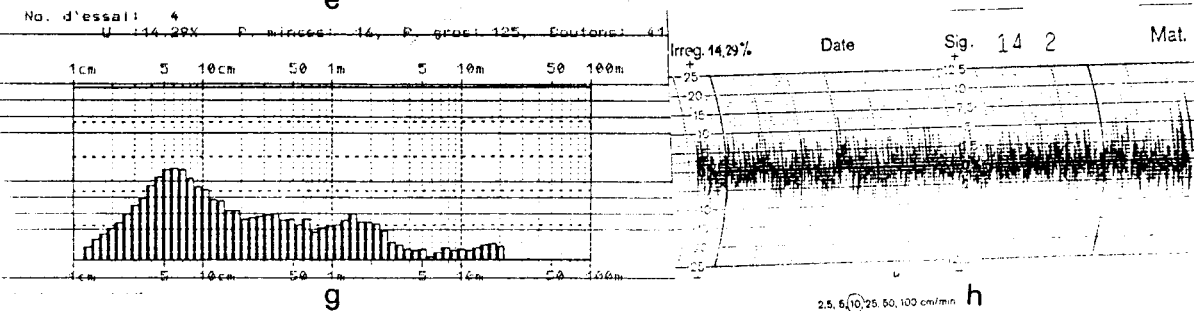
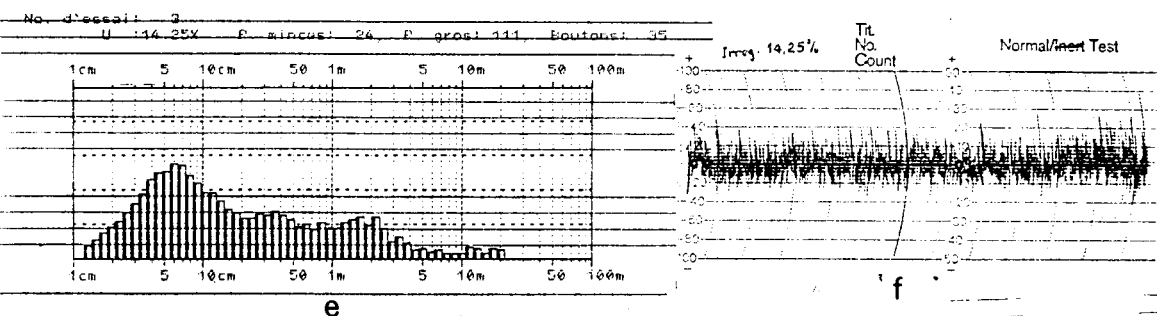
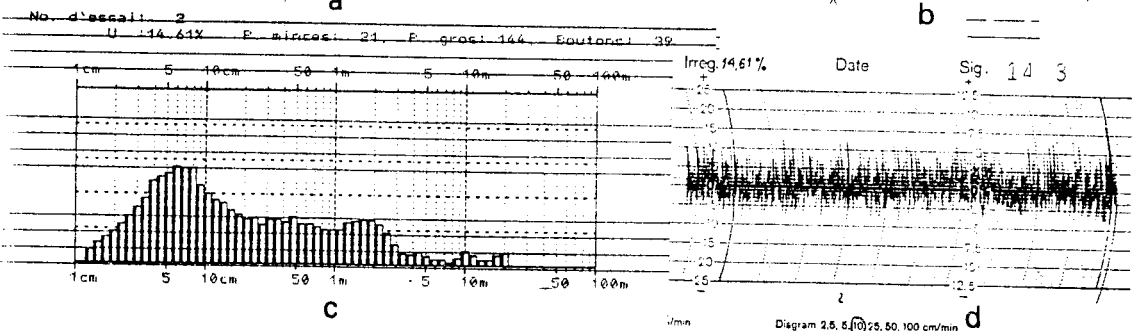
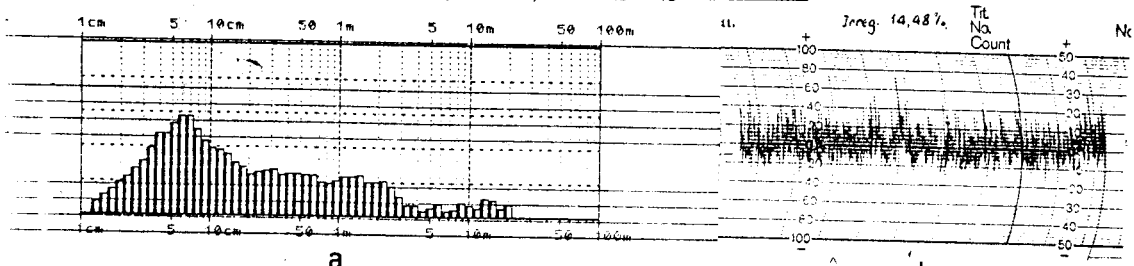


fig.4-04 Spectrogrammes et diagrammes
 du fil 712

IRREGULARITE/VALEURS INDIVID./RESUME

No. d'essai: 20 No. d'essai: K2/ Numero: 4.3
 DETERMINATION DE L'IRREGULARITE DU FIL DE COTON
 v = 200m/min t = 1 min Diag. 100% Essai: 4 Points: 4
 Imperfections: -50/ 50/200X Type de fibre: court Type d'essai: normal
 No. d'essai: 1
 U: 14.48% P. minces: 12, P. gros: 124, Boutons: 45



No. d'essai	UX	Points min	Points gros	Boutons
1	14.48	12	124	45
2	14.41	21	144	39
3	14.25	24	111	35
4	14.29	16	125	41
Moyenne/1km	14.40	91.2	130	200

fig.4-05 Spectrogrammes et diagrammes du fil 722

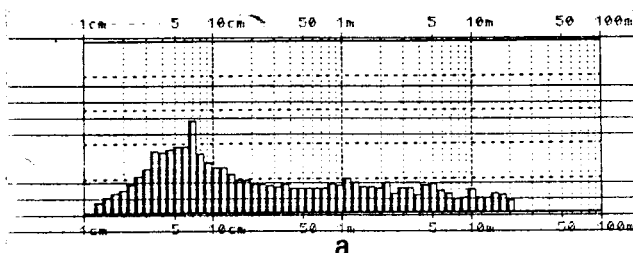
USTER TESTER I B V2.02 Ve 3.4.00 9:55 OPERATEUR: A. IGUEDAD
INIT FILATURE IRR FIL

IRREGULARITE/VALEURS INDIVID./RESUME

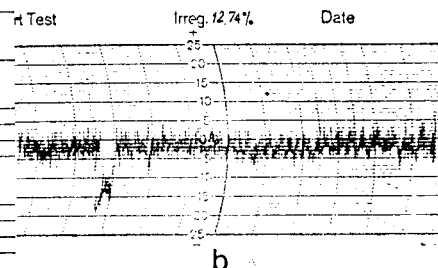
No. d'essai: 1 No. d'essai: K3/ Numeral: 4.3
DETERMINATION DE L'IRREGULARITE DU FIL DE COTON

v = 200m/min t = 1min Diagr = 100X Essais: 4 Foutel: 4
Imperfections: -50/ 50/200X Type de fibre: court Type d'essai: normal

No. d'essai: 1
U: 12.74X P. fines: 22, P. gros: 32, Boutons: 11

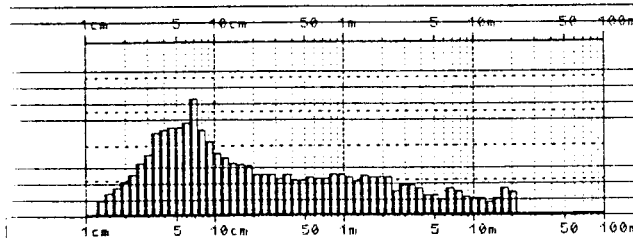


a

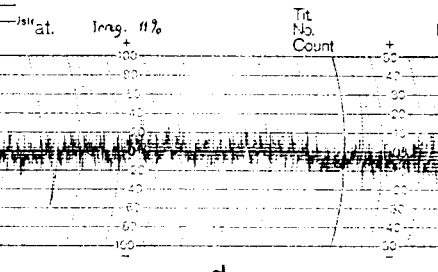


b

No. d'essai: 2
U: 11.00X P. fines: 7, P. gros: 23, Boutons: 11

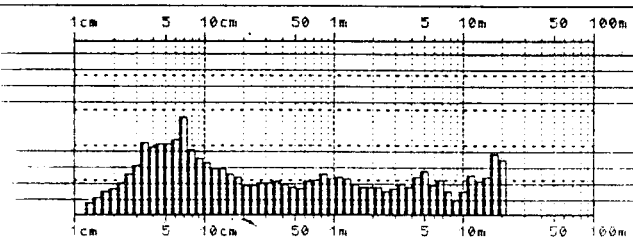


c

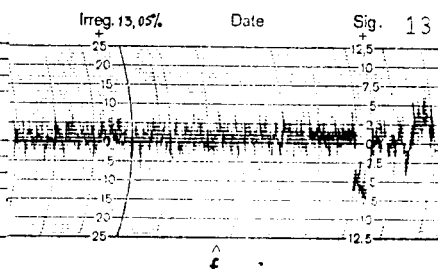


d

No. d'essai: 3
U: 13.05X P. fines: 18, P. gros: 22, Boutons: 8

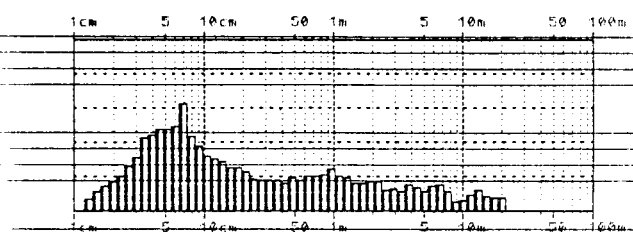


e

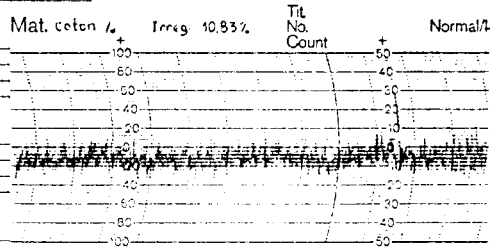


f

No. d'essai: 4
U: 10.83X P. fines: 0, P. gros: 17, Boutons: 9



g



h

No. d'essai	UX	Points min	Points gros	Boutons
1	12.74	22	32	11
2	11.00	7	23	11
3	13.05	18	22	8
4	10.83	0	17	9
Moyenne/11cm	11.90	58.7	117	48.7

fig.4-06 Spectrogrammes et diagrammes du fil 732

IV.4. LA TORSION ET LA MASSE LINEIQUE

En plus de l'irrégularité du filé, d'autres facteurs influent de façon aléatoire sur la torsion et la masse linéique. Parmi les plus importants, on peut citer:

- * le nombre de tours du curseur ou de la broche (n_c , n_b);
- * la vitesse du cylindre de sortie (V_I , m/mn);
- * le coefficient de rétrécissement du fil (C_r);
- * le diamètre de renvidage (d_r , mm).

Tous ces facteurs sont liés entre eux par la relation [63] suivante:

$$n_c = n_b - \frac{V_I \cdot C_r}{\pi \cdot d_r} \text{ (t/mn)}, \quad (4-05);$$

d'autres parts, la torsion est donnée par la relation suivante, (cf. relation 3-06a):

$$T = \frac{n_c}{V_I} \text{ (t/m)};$$

finalement, on obtient:

$$T = \frac{n_b}{V_I} - \frac{C_r}{\pi \cdot d_r} \text{ (t/m)}, \quad (4-06).$$

Au cours de leurs mouvements dans le train d'étrépage (cf.fig.3-06), Les fibres changent de vitesse de V_I à V_2 et à V_3 , ce qui amène le changement de la pression de charge sur les rouleaux. Pour toutes ces raisons nous avons pensé utile à déterminer le coefficient de corrélation entre la torsion et la masse linéique du fil.

Les résultats présentés ci-après ont été déterminés par la méthode dite gravimétrique (balance SARTORIUS) et sur le torsiomètre KY-500, (cf.S.III.7) et traités statistiquement (cf.S.II.5).

IV.4.1. VALEURS MOYENNES

L'analyse des résultats du tabl.N4-04, ci-après, montre que lorsque la masse linéique d'un filé augmente, sa torsion diminue, ce qui confirme l'étude théorique en ce sens. Autrement dit, un fil fin nécessite une plus grande torsion qu'un fil gros (comparer les valeurs de γ_{12} à γ_{22} puis à γ_{32}).

La ligne 5, du tabl.N4-04 (torsion T , t/m), est obtenue par la multiplication des valeurs respectives de la ligne 3, du même tableau (torsion T , t/50cm), par 2. Car c'est la torsion (t/m) qui est en usage.

Les dépendances torsion = f (masse linéique) ou bien $y = f(x)$ sont considérées au paragraphe IV.7, tabl.4-11, fig.4-12, fig.4-13 et fig.4-14.

Valeurs moyennes de la torsion et de la masse linéique

Tabl.N4-04

N	DESIG.	S1			S2			S3		
		V11	V12	V13	V21	V22	V23	V31	V32	V33
1	Tex Tf (g/km)	15,38	16,43	16,64	35,28	33,65	33,55	54,95	52,17	51,71
2	Erreur absol. de Tf	0,42	0,43	0,51	0,64	0,68	0,56	0,98	0,78	0,96
3	Tors. T t/50cm	509,2	467,5	432,3	372,7	340,8	315,7	345,8	301,4	262,7
4	Erreur absol. de T t/50cm	7,41	7,08	7,88	4,90	4,01	3,82	4,28	3,14	3,29
5	Tors. T (t/m)	1018	935,0	864,6	745,4	681,6	631,4	691,6	602,8	525,4
6	Erreur absol. de T (t/m)	14,82	14,16	15,76	9,80	8,02	7,64	8,58	6,28	6,58

IV.4.2. IRREGULARITES $C_{vT}\%$ et $C_{vt}\%$

Pour une première analyse, on peut dire que le coefficient de variation de la masse linéique, que ce soit par la méthode capacitive (tabl.N4-01) ou par la méthode gravimétrique (tabl. N4-05), diminue avec l'augmentation de l'épaisseur du fil (comparer les variantes V12, V22 et V23). Ces dépendances sont représentées sur la fig.4-01, graphe *.

En outre, l'irrégularité de la torsion suit celle de la masse linéique (comparer V12, V22 et V32); le graphe de la fig.4-07 montre clairement cette dépendance. Tandis que la diminution ou l'augmentation de la torsion ne montre pas une influence exacte sur la variation de la masse linéique.

Irrégularités de la torsion $C_{vT}\%$ et de la masse linéique $C_{vt}\%$

Tabl.N4-05

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	V11	V12	V13	V21	V22	V23	V31	V32	V33
Cv-Massique Cvt (%)	9,75	9,19	11,0	6,58	7,31	5,93	6,39	5,23	6,58
Cv-Torsion CvT (%)	5,20	5,29	6,38	4,74	4,25	4,32	4,42	3,65	4,43

IV.5. LA RESISTANCE ET L'ALLONGEMENT

IV.5.1. VALEURS MOYENNES

Les valeurs de la résistance R (en N) et des allongements (en mm) ont été obtenues, par la méthode statistique, des différents essais effectués sur le dynamomètre FRANK. Les autres résultats découlent des calculs suivants:

La tenacité de la fibre est donnée par la relation suivante:

$$T_B = \frac{R_{fb}}{T_{fb}} \quad (\text{cN/Tex}) , \quad (4-07) ;$$

analogiquement, on trouve la tenacité du fil T_F . Le coefficient d'utilisation de la résistance des fibres dans le fil CUR est donné par la relation suivante:

$$CUR = \frac{T_F}{T_B} , \quad (4-08) ;$$

où: T_F - tenacité du fil (en cN/Tex);

T_B - tenacité de la fibre (en cN/Tex).

Les valeurs de calculs de T_F et CUR sont consignées dans le tabl.N4-06 ci-après.

Le tabl.N4-06 montre que les allongements des filés de coton se comportent de la même manière que leurs résistances respectives (comparer V_{12} , V_{22} et V_{32}). Il montre également que la résistance d'un fil augmente, avec l'augmentation de son épaisseur, de façon conséquente (cf. fig.4-08, graphe *). Contrairement aux tenacités qui ne reflètent pas, de manière très nette, cette augmentation.

En outre, on remarque que le coefficient d'utilisation de la résistance des fibres dans le fil diminue avec la diminution du taux de torsion. Ce fait démontre que la torsion favorise le contact entre les fibres et engendre l'augmentation de la résistance et la diminution du nombre de fibres qui glissent au moment de la rupture du fil. De même qu'on remarque une certaine différence entre les valeurs de CUR de la série (1) et celles des séries (2) et (3); probablement due à l'influence du nombre de fibres dans la section du filé. En effet l'augmentation du nombre de fibres dans la section du fil peut apporter un supplément de résistance au filé grâce aux contacts réciproques qui seront plus grands.

Pour les trois séries (S_1 , S_2 et S_3), les valeurs des allongements à la rupture des filés ont une tendance à l'augmentation, avec l'augmentation de leurs masses linéiques (cf. fig.4-08, graphe □); mais cette augmentation est moins prononcée que pour la résistance; surtout entre les séries S_1 et S_2 où les valeurs $E_{22} = 6,64$ mm et $E_{33} = 6,78$ mm sont très voisines (cf.tabl.N4-06). En revanche, il est difficile de juger de la tendance de l'allongement par rapport à la distribution de la torsion; sauf peut-être pour la série S_1 où les allongements augmentent avec la diminution du taux de torsion, (cf.fig 4.09, graphe *), ce qui est normal.

Valeurs moyennes des caractéristiques dynamométriques des filés

Tabl.N4-06

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{31}	V_{32}	V_{33}
Tex du fil T_f	15,38	16,43	16,64	35,28	33,65	33,55	54,95	52,17	51,71
Résist. R_f (cN)	150	140	129	405	397	336	649	575	535
Erreur abs. (cN)	6	6	5	9	8	9	12	11	10
Allong. E_f (mm)	3,96	4,10	4,41	6,38	6,64	5,99	7,25	7,20	6,78
Erreur abs. (mm)	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12	0,10	0,11	0,11	0,10
Tena. T_F (cN/Tex)	9,75	8,52	7,75	11,48	11,80	10,01	11,81	11,02	10,35
Coef. CUR	0,41	0,36	0,33	0,49	0,50	0,42	0,50	0,45	0,44

Néanmoins, on peut avancer quelques probables explications:

- soit que les taux de torsion appliqués à ces fils soient égaux ou supérieurs aux taux de torsion critiques, dans ce cas là, l'allongement augmente, ce qui explique les résultats suivants: $V_{21} > V_{23}$ et $V_{31} > V_{33}$.

- soit par le fait que l'assemblage des mèches, (2 ou 3 bouts) dans le train d'étirage, n'a pas eu lieu correctement, c'est à dire qu'une forte probabilité de superposition des mèches existe; ce qui empêche l'étirage d'avoir lieu correctement et change de ce fait la valeur de la masse linéique (sur des tronçons irréguliers) entraînant un changement du taux de torsion.

IV.5.2. IRREGULARITES $C_{VR}\%$ ET $C_{VA}\%$

Les coefficients de variation des résistances $C_{VR}\%$ et des allongements $C_{VA}\%$ suivent exactement la même loi que ceux de la masse linéique $C_{vt}\%$ (comparer V_{12} , V_{22} et V_{32} des tabl.N4-05 et N4-07); autrement dit, ils diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur du fil. En revanche la torsion n'a pas une grande influence sur les irrégularités de la résistance et de l'allongement.

Valeurs des irrégularités $C_{VR}\%$ et $C_{VA}\%$

Tabl.N4-07

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{31}	V_{32}	V_{33}
Résist. $C_{VR} \%$	14,67	14,29	13,18	8,15	7,56	9,23	6,63	6,61	6,73
Allonge. $C_{VA} \%$	10,10	9,76	9,30	7,52	6,46	6,18	5,52	5,69	5,16

IV.6. CORRELATION DES DONNEES BRUTES

IV.6.1. LA CORRELATION TORSION-MASSE LINEIQUE

L'analyse des valeurs du tabl.N4-08 montre que la corrélation entre la masse linéique et le taux de torsion est négative, vérifiant ainsi la relation (2-15a). De plus celle-ci suit sensiblement la même loi, pour toutes les épaisseurs des fils considérées, indépendamment de la valeur de la masse linéique du fil (comparer V_{12} , V_{22} et V_{32} du tabl.N4-08 et le graphe Δ de la fig.4-10).

En revanche la corrélation augmente (en valeur absolue) avec la diminution du taux de torsion du fil (comparer S_1 à S_3). Le graphe $\square$ de la fig.4-10 montre clairement cette dépendance.

Valeurs des coefficients de corrélation torsion-masse linéique

Tabl.N4-08

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{31}	V_{32}	V_{33}
Coef. de correla. T- T_r	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	0,524	0,729	0,798	0,375	0,729	0,765	0,488	0,722	0,821

IV.6.2 LA CORRELATION RESISTANCE-ALLONGEMENT

La corrélation entre la résistance R_f et l'allongement E_r est positive, autrement dit, lorsque la résistance augmente, son allongement augmente aussi, ou inversement.

Valeurs des coefficients de corrélation Résistance-Allongement

Tabl.N4-09

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{31}	V_{32}	V_{33}
Coef. de correla. R_f-E_r	0,832	0,805	0,779	0,819	0,740	0,763	0,769	0,760	0,685

Cette corrélation a tendance à diminuer avec l'augmentation de l'épaisseur du fil (comparer S_1 , S_2 et S_3 , tabl.N4-09). Pour toutes les séries, on remarque une légère diminution de la corrélation, entre R_f et E_r , avec la diminution du taux de torsion T (sauf pour la 2^{ème} série).

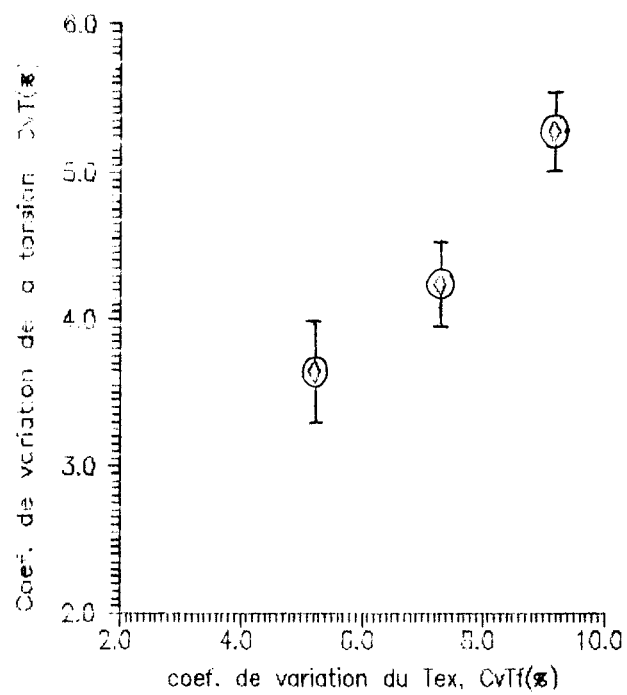


fig.4.07 Dependence Cv Torsion
Cv masse lineique (Tex)

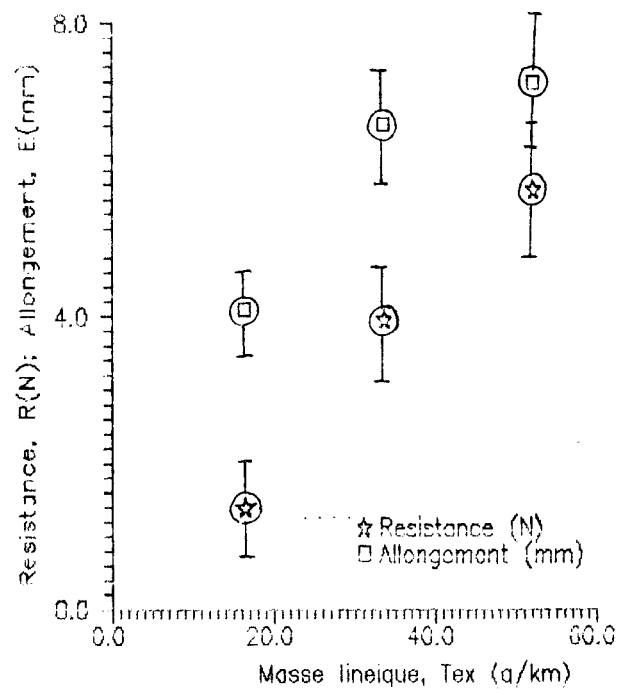


fig.4.08 Resistance et Allongement
en fonction du Tex

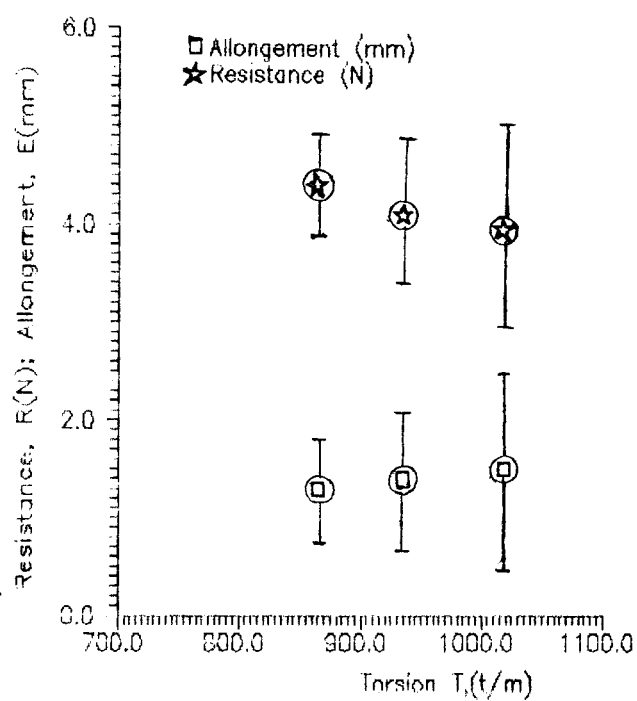


fig.4.09 Resistance et allongement en fonction de la torsion

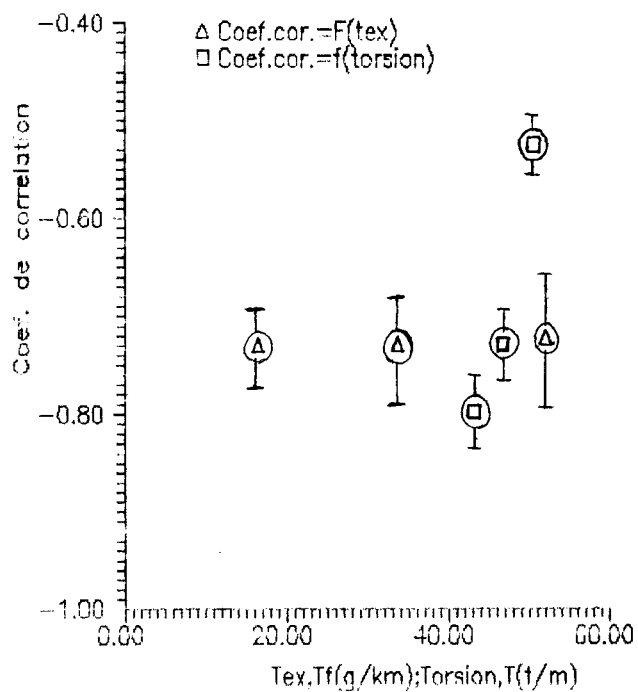


fig.4.10 Coef. de corrélation en fonction du Tex et de la torsion.

IV.7. DETERMINATION DES MODELES MATHÉMATIQUES

En utilisant la relation (2-59) on a abouti aux modèles mathématiques qui ajustent les valeurs de la torsion et de la masse linéique. Les résultats importants de l'ajustement sont consignés dans les tableaux ci-après et le reste en l'annexe V.

Valeurs principales des droites de regression

Tabl.N4-10a

CARACTERISTIQUES	S1					
	T11	Tf11	T12	Tf12	T13	Tf13
Moyennes des LGT X(I) ou XLmoy	1,18760		1,21128		1,21665	
Coef. libre Bo	2,70659		2,66837		2,63582	
Pente de la droite B1	-0,46296		-0,55921		-0,58366	

Tabl.N4-10b

CARACTERISTIQUES	S2					
	T21	Tf21	T22	Tf22	T23	Tf23
Moyennes des LGT X(I) ou XLmoy	1,54664		1,52486		1,52399	
Coef. libre Bo	2,57087		2,53275		2,49923	
Pente de la droite B1	-0,71756		-0,62013		-0,70841	

Tabl.N4-10c

CARACTERISTIQUES	S3					
	T31	Tf31	T32	Tf32	T33	Tf33
Moyennes des LGT X(I) ou XLmoy	1,73835		1,71672		1,71207	
Coef. libre Bo	2,53828		2,47924		2,41878	
Pente de la droite B1	-0,70954		-0,66980		-0,65297	

La relation (2-59) donne $Y_L = B_0 + B_1 (X_L - \bar{X}_L)$. En remplaçant B_0 , B_1 et $\bar{X}_L$ par leurs valeurs respectives, données dans les tabl.N4-10a, N4-10b et N4-10c, on aboutit au modèle mathématique de chaque variante d'essai, qui ajuste les valeurs du taux de torsion, représenté par y , et de la masse linéique, représentée par x (cf. tabl.N4-11).

Dépendances Torsion-Masse Linéique obtenues

Tabl.N4-11

S ₁	S ₂	S ₃
$y_{11} = \frac{1804,7}{x^{0,46}}$	$y_{21} = \frac{4793,8}{x^{0,72}}$	$y_{31} = \frac{5911,7}{x^{0,71}}$
$y_{12} = \frac{2216,8}{x^{0,56}}$	$y_{22} = \frac{3008,6}{x^{0,62}}$	$y_{32} = \frac{4257,0}{x^{0,67}}$
$y_{13} = \frac{2217,8}{x^{0,58}}$	$y_{23} = \frac{3791,8}{x^{0,71}}$	$y_{33} = \frac{3441,2}{x^{0,65}}$

L'analyse des équations du modèle mathématique obtenues (cf.tabl.N4-11), montre, à priori, que celles-ci se comportent différemment. Ce constat se remarque sur les graphes des fig.4.11d, 4.12d et 4.13d.

En effet, la 1^{ère} série (S₁) montre des équations avec des constantes de torsion et des exposants β qui augmentent avec la diminution du taux de torsion (comparer y_{11} , y_{12} et y_{13}).

La 2^{ème} série (S₂) ne montre pas une dépendance identique, l'équation y_{22} possède une constante (const.= 3008,6) et un exposant β ($\beta= 0,62$) inférieurs à ceux de y_{21} et de y_{23} ; néanmoins, on remarque le même comportement entre y_{21} et y_{23} , où les constantes et les exposants β diminuent avec la diminution du taux de torsion; le même comportement se retrouve dans la 3^{ème} série (S₃), (comparer y_{31} , y_{32} et y_{33}).

Le comportement général est identique (cf.graphes fig.4.11, 4.12 et 4.13), car pour tous les fils des séries examinés, les constantes de torsion et l'exposant augmentent.

Mais, cette augmentation a lieu de manières et dans des proportions différentes. Par exemple, pour la série S₁, ces valeurs augmentent avec la diminution du taux de torsion, contrairement aux séries S₂ et S₃.

Par ailleurs, pour la série S₁, lorsque l'exposant β passe de 0,56 à 0,58, la constante passe de 2216,8 à 2217,8; tandis que pour les séries S₂ et S₃, on a respectivement $\beta= 0,71+0,72$; const.= 3791,8+4793,8 et $\beta=0,65+0,67$; const.=3441,2+ 4257.

On peut donc conclure que pour le fil simple fabriqué à partir d'une mèche, les résultats vérifient la relation (2-59a) ($T = \text{const.} / T_f^\beta$), où l'exposant β est compris entre $0,46 \leq \beta \leq 0,58$, autrement dit voisin de $\beta= 0,50$. Donc, pour cette série, l'influence provoquée par d'autres facteurs, notamment la masse volumique δ , n'est pas significative.

En revanche, pour les séries S₂ et S₃, l'influence de δ y est significative; puisque δ diminue avec la diminution du taux de torsion, phénomène qu'on retrouve dans le comportement des constantes.

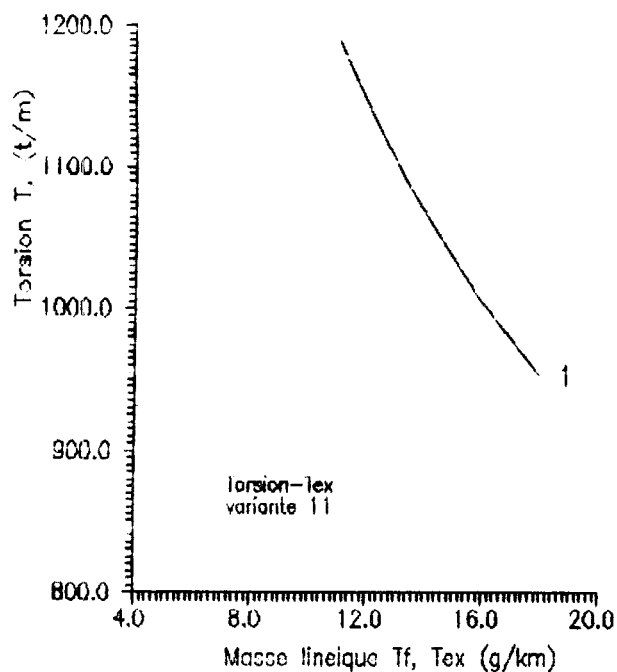


fig.4.11a Dépendance Torsion-Masse
linéique de V11

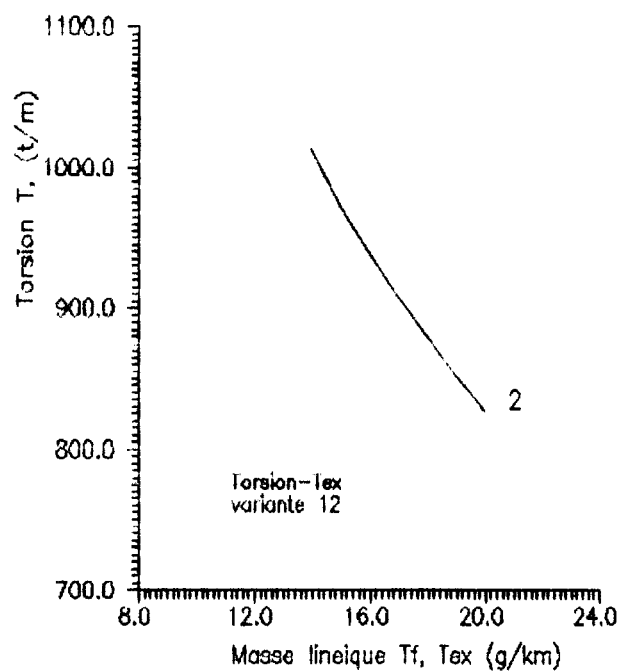


fig.4.11b Dépendance Torsion-Masse
linéique de V12

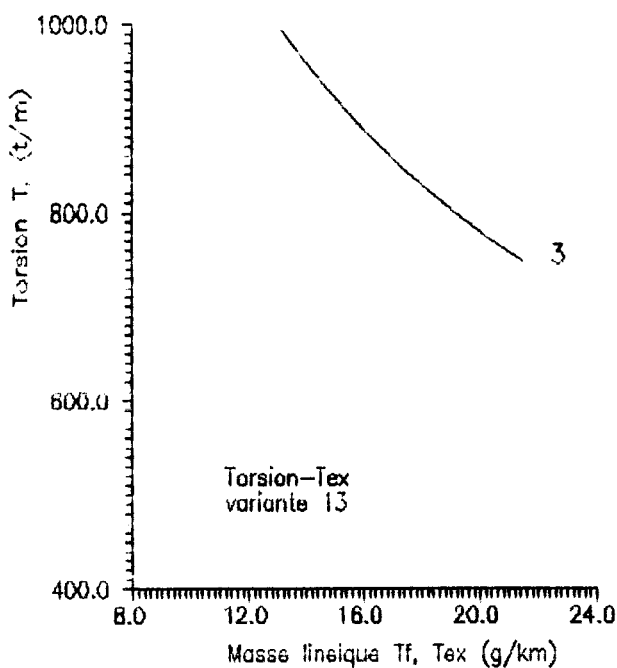


fig 4.11c Dépendance Torsion-Masse
linéique de V13

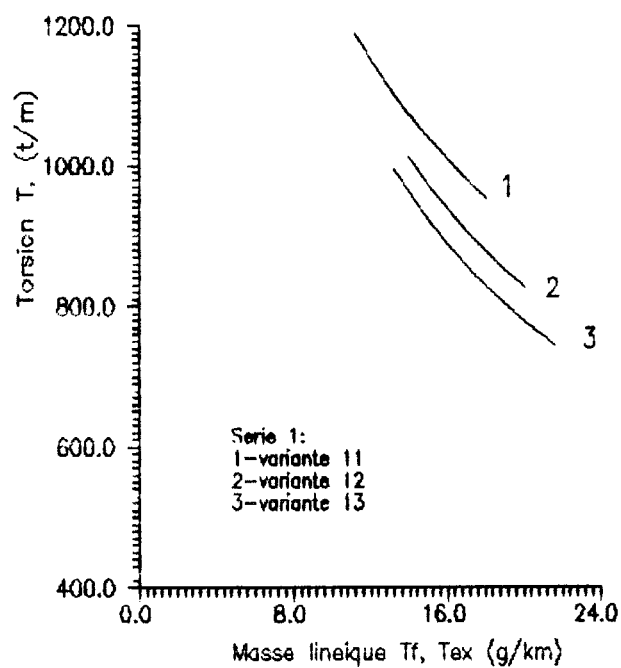


fig.4.11d Dépendances Torsion-Masse
linéique de S1

**fig.4.11 Dépendance Torsion-Masse linéique
des filés de la série 1**

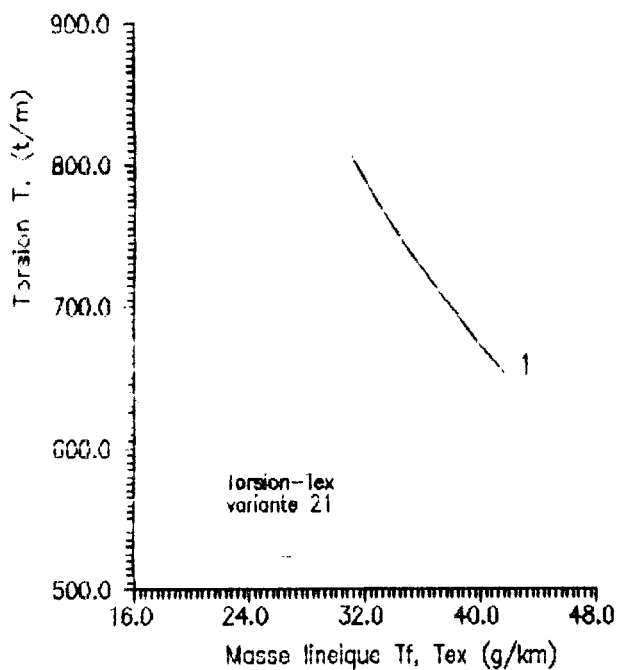


fig.4.12a Dépendance Torsion-masse
linéique de V21

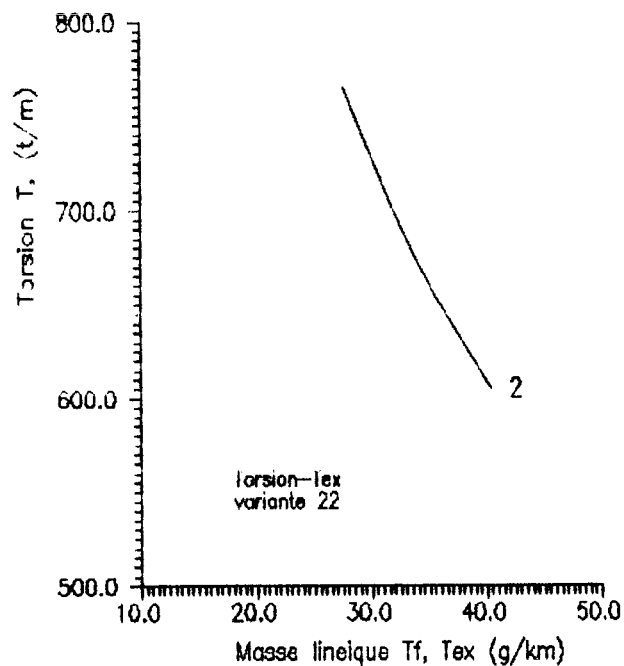


fig.4.12b Dépendance Torsion-Masse
linéique de V22

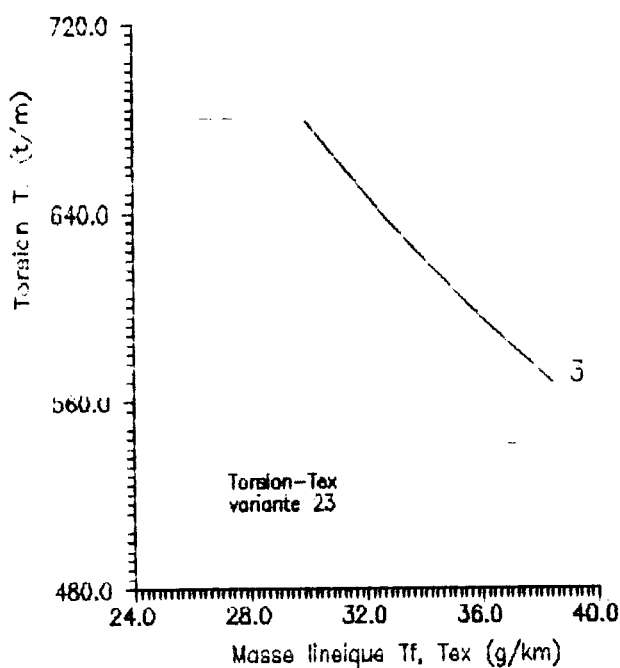


fig.4.12c Dépendance Torsion-Masse
linéique de V23

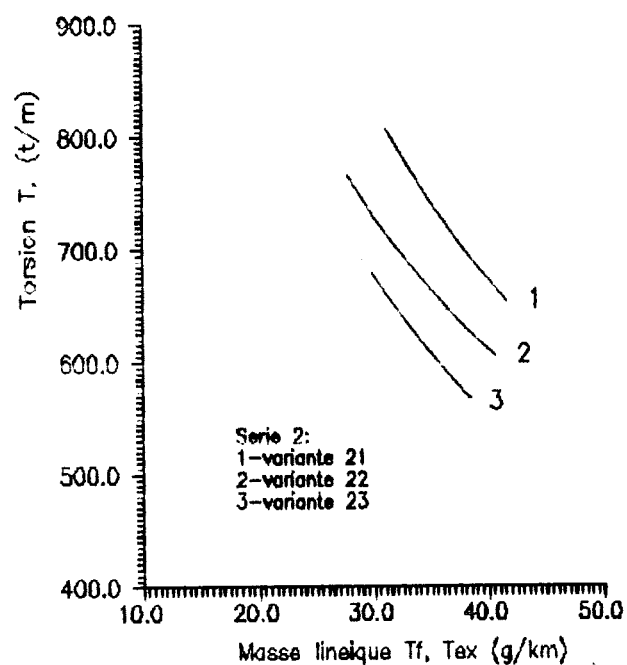


fig.4.12d Dépendances Torsion-Masse
linéique de S2

fig.4.12 Dépendance Torsion-Masse linéique
des filés de la série 2

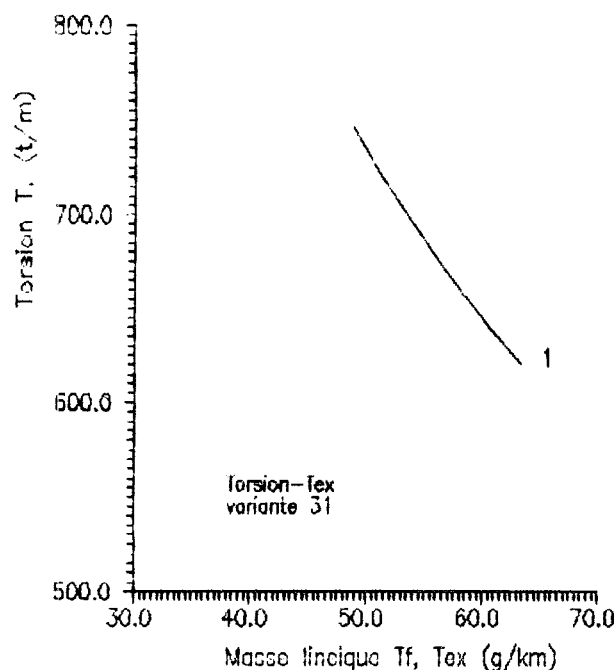


fig.4.13a Dépendance Torsion-masse
linéique de V31

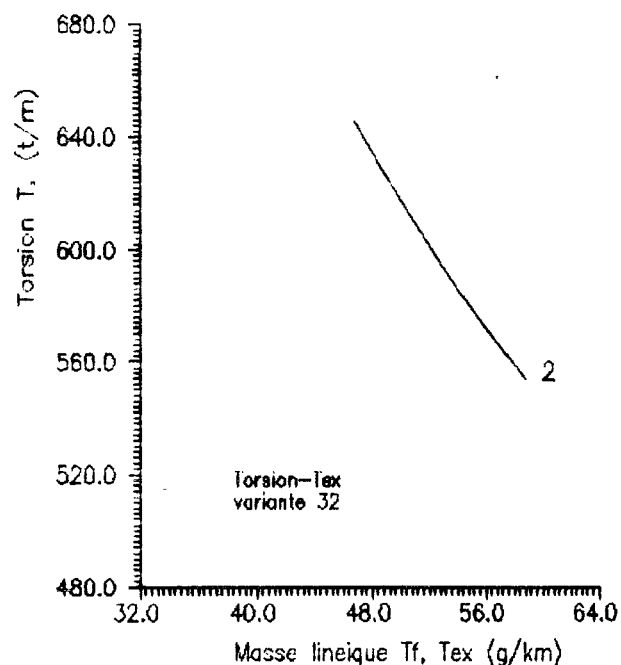


fig.4.13b Dépendance Torsion-Masse
linéique de V32

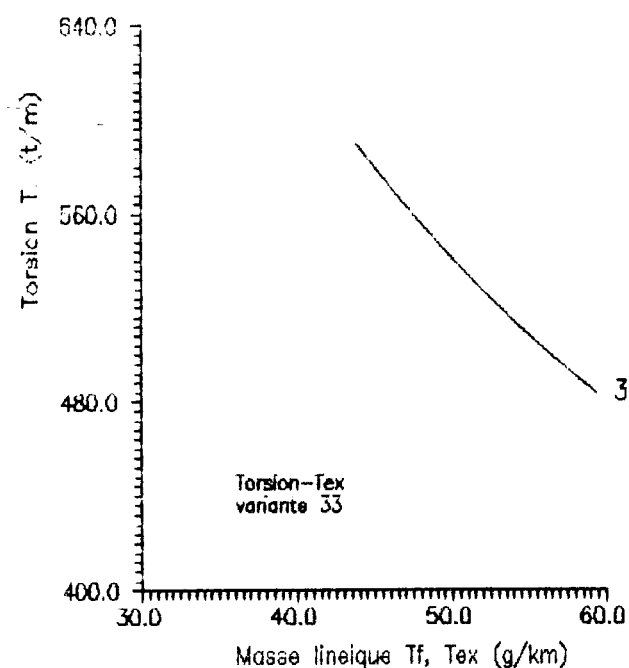


fig 4.13c Dépendance Torsion-Masse
linéique de V33

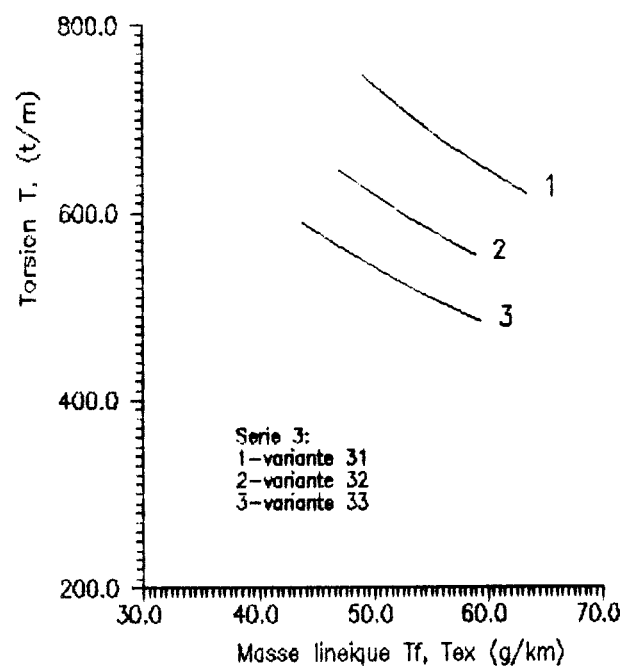


fig.4.13d Dépendance Torsion-Masse
linéique de S3

**fig.4.13 Dépendance Torsion-Masse linéique
des filés de la série 3**

IV.8. COEFFICIENTS DE CORRELATION DES MODELES MATHÉMATIQUES OBTENUS

Après avoir déterminé les droites de regression des neuf (09) variantes d'essai; on a estimé, par le coefficient de correlation (ou de détermination), la justesse du choix de l'ajustement (cf.chap.II §.II.5.7). Les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau N4-12.

Correlation torsion-masse linéique des valeurs ajustées
par la méthode des moindres carrés.

Tabl.N4-12

DESIGNA.	S1			S2			S3		
	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{31}	r_{32}	r_{33}
coef.de correl.R entre T et T _f	(-) 0,933	(-) 0,950	(-) 0,983	(-) 0,984	(-) 0,982	(-) 0,984	(-) 0,985	(-) 0,987	(-) 0,989

Les résultats montrent que le modèle d'ajustement choisi est adéquat (convenable), surtout à partir de la variante r_{13} où l'écart est inférieur à 5%.

Cette différence, par rapport aux variantes r_{11} et r_{12} , peut s'expliquer par le fait que les irrégularités ($C_{vt}\%$ et $C_{vT}\%$) de la série 1 sont supérieures à celles des séries 2 et 3 (cf. tabl.N4-05).

On a déjà remarqué que pour les données brutes; le coefficient de correlation C augmente (en valeur absolue) avec la diminution de la torsion (cf.fig.4-10). Ce phénomène se remarque également ici, notamment pour les séries 1 et 3, mais faiblement.

IV.9. TESTS DE SIGNIFICATION DES COEFFICIENTS DE REGRESSION ET DES EQUATIONS, DES MODELES MATHÉMATIQUES, OBTENUS.

Après avoir obtenu les équations du modèle mathématique il fallait tester, par le critère de Student T_c , les coefficients B_0 et B_1 et par le critère de Fisher F_0 , l'adéquation du modèle obtenu.

Les différents résultats obtenus sont consignés dans les tabl.N4-13a, b et c.

Les critères calculés de Student, des coefficients B_1 et B_0 , respectivement $T_c\{B_1\}$ et $T_c\{B_0\}$ sont tous supérieurs au critère, T_t [$P= 0,95$; $\nu= N-k = \dots$];

où: N- nombre d'essais, varie de 47 à 50;

k- nombre de coefficients dans l'équation de regression,
k=2, (B_1 et B_0).

valeurs d'estimation des coefficients et des modèles

Tabl.N4-13a

CARACTERISTIQUES	S1		
	γ_{11}	γ_{12}	γ_{13}
Estimateur de $B_1, T_{c\{B_1\}}$	17,78	20,09	37,44
Estimateur de $B_0, T_{c\{B_0\}}$	2217,8	2327,44	3554,14
Critère de Fisher F_c	1,1	1,088	1,019
Nombre d'essais N	49	47	50

Tabl.N4-13b

CARACTERISTIQUES	S2		
	γ_{21}	γ_{22}	γ_{23}
Estimateur de $B_1, T_{c\{B_1\}}$	38,05	36,47	38,03
Estimateur de $B_0, T_{c\{B_0\}}$	4661,49	4793,59	5269,59
Critère de Fisher F_c	1,024	1,003	1,034
Nombre d'essais N	50	50	49

Tabl.N4-13 c

CARACTERISTIQUES	S3		
	γ_{31}	γ_{32}	γ_{33}
Estimateur de $B_1, T_{c\{B_1\}}$	39,52	39,52	45,31
Estimateur de $B_0, T_{c\{B_0\}}$	5102,1	6276,49	5682,85
Critère de Fisher F_c	1,049	1,054	1,038
Nombre d'essais N	49	47	48

En effet, pour T_t [$P= 0,95; \nu= 47-2= 45$]= 2,000 ;

T_t [$P= 0,95; \nu= 50-2= 48$]= 2,000 .

Puisque les critères calculés $T_{c\{B_1\}}$ et $T_{c\{B_0\}}$ sont supérieurs à

T_t [$P= 0,95; \nu= 45+48$]= 2,000, (cf.tabl.N4-13a, b et c), alors, on dit que les coefficients B_0 et B_1 sont importants.

Le critère de Fisher (F_c) permet de vérifier l'adéquation du modèle obtenu. Pour toutes les variantes analysées,

F_t [$P= 0,95; \nu_2= N; \nu_1= 1-2$]= 1,60 ;

est supérieure aux valeurs calculées (), (cf.tabl.N4-13a, b et c).Puisque $F_t > F_c$, alors on dit que le modèle choisi est adéquat.

CHAP.V: INTERETS ET LIMITES DE LA METHODE EXPERIMENTALE

V.1. ETUDE COMPARATIVE AVEC LES RESULTATS DES METHODES D'ANALYSE THEORIQUES

Les variations de l'épaisseur du fil représentent un problème connu depuis longtemps en filature. Des écarts trop importants de la masse linéique peuvent engendrer des défauts dans le tissu ou le tricot.

En règle générale, l'irrégularité des fils est caractérisée par les valeurs $U\%$ ou $C_v\%$. Ces chiffres indiquent, en fonction de la moyenne, l'amplitude de la variation de la masse déterminée sur une longueur donnée.

V.1.1. IRREGULARITES ET DEFAUTS DES PRODUITS

Depuis les travaux de MARTINDALE [12] et HUBERTY [13], nous savons que l'irrégularité de la masse linéique du produit obéit à la relation (2-03); autrement dit, l'irrégularité d'un produit gros doit être plus faible que celle d'un produit fin. Il en découle que la valeur du coefficient de variation $C_v\%$ dépend des variations de masse dans le filé (ou produit), du diamètre de la fibre et du nombre de fibres à la section du filé.

Les résultats de l'étude vérifient justement cette théorie. Les valeurs moyennes par Km, présentées dans le tableau ci-après, montrent une diminution de l'irrégularité $U\%$ ou $C_v\%$ de l'ordre de 29,60 % entre T_{f1} et T_{f2} et de l'ordre de 17,30 % entre T_{f2} et T_{f3} ; soit une diminution relative de 41,80 % entre T_{f1} et T_{f3} , en effet:

$$\frac{25,56 - 14,88}{25,56} \times 100 = 41,78 \% ;$$

autrement dit, l'augmentation de l'épaisseur d'environ 3 fois provoque une diminution de l'irrégularité de presque 42 %.

Valeurs moyennes de l'irrégularité

Tabl.N5-01

Irrégula.	Masse linéique (Tex)		
	$T_{f12}=16,4$	$T_{f22}=33,7$	$T_{f32}=52,2$
$U\%$	20,45	14,40	11,90
$C_v\%$	25,56	18,00	14,88

La finesse de la fibre est considérée comme constante, car il s'agit du même coton, alors la variation du nombre de fibres en la section du produit peut être engendrée par l'irrégularité du produit entrant et l'irrégularité due à l'étirage. Ce problème est accentué par une forte présence de fibres courtes

dans le produit. En outre, il est prouvé que la teneur en fibres courtes a une influence directe et négative sur les caractéristiques de qualité des filés.

Les défauts suivent également la même loi que l'irrégularité. Comme ceux-ci sont caractérisés par des endroits minces et gros ainsi que par des boutons; ils influencent donc la régularité du filé; car un fil idéal est un produit dont l'épaisseur est homogène sur toute la longueur déterminée.

En théorie, nous savons que le doublage améliore la régularité du produit de filature, par conséquent diminue le nombre de défauts. Le tabl.N5-02, ci-après, montre une tendance générale à la diminution, du nombre de défauts dans le filé, au fur et à mesure de l'augmentation de l'épaisseur du produit.

Ceci explique le fait qu'il est plus facile d'obtenir un fil gros qu'un fil fin, surtout si les conditions de fabrication se sont dégradées (mauvais mélange, mauvaise matière, équipements mal réglés ou mauvais choix des vitesses, etc...). On peut également expliquer cette tendance par le fait que les défauts sont plus apparents sur un produit fin.

Défauts des filés

Tabl.N5-02

Défauts	S1			S2			S3		
	Tr11	Tr12	Tr13	Tr21	Tr22	Tr23	Tr31	Tr32	Tr33
Pts minces	1660	1560	1515	110	91,2	87,5	—	58,7	290
Pts gros	2707	2652	2467	716	630	688	—	117	271
-Boutons	1727	1622	1500	236	200	201	—	48,7	62,5

Par exemple, avec une sensibilité de réglage de (-50 %) pour les endroits minces d'un filé de Tex = 16,4, toutes les portions d'épaisseurs égales ou inférieures au Tex 8,2 sont comptées comme défauts rentrant dans cette catégorie.

Pour les endroits gros, avec une sensibilité de (+50 %), ce sont les épaisseurs égales ou supérieures au Tex 24,6 qui sont considérées comme défauts. Pour les boutons, qui représentent des grosseurs de taille 1 mm, avec une sensibilité de (+200 %), ce sont toutes les parties d'épaisseurs égales ou supérieures au Tex 49,2 qui y sont comptées.

Tandis que pour le fil d'épaisseur Tr3=52,2 il faut un bouton de Tex =156,6 pour qu'il soit compté comme défaut.

En revanche, si on file différents numéros à partir d'une même mèche, avec des étirages plus importants, on obtient davantage de grosseurs nocives.

Par ailleurs, la teneur en impuretés de la matière brute, ne représente pas un obstacle majeur dans la filature classique. Cependant, plus les vitesses de production augmentent, plus le niveau de propreté du coton cause des perturbations.

V.1.2. RESISTANCE ET ALLONGEMENT

Un fil casse pour deux raisons: certaines fibres glissent les unes par rapport aux autres et d'autres se rompent sous l'action de la force de tension.

Lorsque les fibres glissent, la longueur des fibres, l'uniformité de la longueur des fibres, la torsion du fil et la structure superficielle des fibres ont une très grande influence sur les caractéristiques dynamométriques des filés.

Dans un fil classique, les fibres se disposent plus ou moins parallèlement et se répartissent aléatoirement côte à côte. Dans cette configuration, la longueur de recouvrement joue un rôle important. Lorsque les recouvrements des fibres augmentent, celles-ci ne peuvent plus glisser aussi facilement que dans le cas contraire. Il s'ensuit que, pour des filés peu retordus, la longueur et la variation de longueur ont une grande importance.

Il existe une relation directe entre la résistance et l'allongement des fibres de coton, tout comme entre la résistance R_f et l'allongement E_f des filés. A titre d'exemple, les valeurs de la corrélation, entre R_f et E_f , des filés obtenus varient de 0,832 à 0,685 (cf. tabl.4-09), décroissantes par rapport à la masse linéique du fil.

Aussi pour la même masse linéique, la résistance à la rupture des filés est d'autant plus grande que les fibres sont fines et de degré de maturité plus élevé.

Caractéristiques dynamométriques des filés

Tabl.N5-03

Désignation	S1			S2			S3		
	γ_{11}	γ_{12}	γ_{13}	γ_{21}	γ_{22}	γ_{23}	γ_{31}	γ_{32}	γ_{33}
Masse linéique T_f (Tex)	15,4	16,4	16,6	35,3	33,7	33,6	55,0	52,2	51,7
Torsion T (t/m)	1018	935	865	745	682	631	692	603	525
Résistance R_f (CN)	150	140	129	405	397	336	649	575	535
Allongement E_f (mm)	3,96	4,10	4,41	6,38	6,64	5,99	7,25	7,20	6,78
Tenacité T_F (CN/Tex)	9,7	8,5	7,8	11,5	11,8	10,0	11,8	11,0	10,4

Comme déjà souligné au chap.IV, les valeurs de la résistance augmentent avec l'augmentation de la torsion (sans atteindre la torsion critique, cf.tabl.N5-03).

Le calcul de la tenacité du fil T_F (cf.relation 4-07) montre que pour les séries S1 et S3 le comportement de celles-ci suit celui des résistances respectives; en revanche pour la série S2, notamment les variantes γ_{21} et γ_{22} , les résultats ne reflètent pas ce comportement du fait que $T_{f21} > T_{f22}$ sans contrepartie de résistance, $R_{f21} \approx R_{f22}$.

Il faut remarquer également que les tenacités des fils fins de la série S1 sont faibles comparées à celles des filés des séries S2 et S3, du fait justement d'une faible résistance qui peut s'expliquer par: la présence d'une forte teneur en fibres qui glissent (fibres courtes); une irrégularité élevée et la présence d'une forte teneur de défauts dans le fil, etc... .

Par ailleurs, l'augmentation de la masse linéique du simple au double, ($T_{r12} = 16,4$ Tex à $T_{r22} = 33,7$ Tex), donne une augmentation de la résistance de 2,57 N.

Lorsque Tr passe du simple au triple ($T_{r12} = 16,4$ à $T_{r32} = 52,2$), la résistance croît de 4,1 fois, et l'accroissement de $T_{r22} = 33,7$ à $T_{r32} = 52,2$ Tex, donne une résistance de 1,45 fois plus grande, soit des augmentations tout à fait proportionnelles.

Autrement dit, la résistance à la rupture d'un filé augmente avec l'augmentation de son épaisseur, et que celle-ci (en dehors des défauts de grosseurs) dépend du nombre de fibres en sa section; ce qui prouve que la résistance de la fibre, ainsi que le nombre de contacts entre les fibres participent à la résistance du filé. A noter que la tenacité (ou la résistance kilométrique Rkm) est plus recommandée pour apprécier la solidité d'un filé, qu'une résistance simple, du fait justement de la considération de l'épaisseur.

V.1.3. TORSION ET MASSE LINEIQUE

L'irrégularité de la torsion d'un fil est étroitement liée à celle de sa masse linéique (cf. tabl.N4-05).

La torsion se concentre dans les endroits minces du fil et les comprime plus que les endroits gros. la cause de ce phénomène est claire, les endroits minces possèdent souvent une faible dureté, contrairement aux endroits gros.

Les endroits minces sont surtordus; ils présentent parfois une torsion tellement forte qu'il en résulte une vrille et donc une grosseur.

La cause de ces défauts est due: soit à une fibre qui reste accrochée quelque part dans le train d'étirage, soit à une très longue fibre qui retient la matière, engendrant ainsi une très forte concentration de la torsion à cet endroit du fil.

Les fibres anormalement longues dérangent l'étirage et peuvent empêcher, durant un court instant, le déplacement du fil, ce qui occasionne une surtorsion.

En revanche, les fibres courtes peuvent s'accumuler et occasionner des difficultés d'étirage, ce qui engendre des grosseurs qui n'ont que peu de torsion et donc peu de résistance. Ce type de défauts, appelé "flammas courtes", peut aussi résulter d'un grand écartement, dans les trains d'étirage. Les accumulations de fibres courtes passent donc les trains d'étirage sous forme de paquets. Comme ces parties restent non étirées, comparées avec le fil, elles deviennent donc de plus en plus grosses. Ces parties floches provoques ainsi, souvent, des casses au continu à filer et lors des passages ultérieurs (bobinage, tissage ...).

L'analyse de la formule 2-10c montre que la grandeur de la torsion T , en plus de la masse linéique T_f , influence d'autres paramètres et indices. Par conséquent la torsion s'accumule là où la résistance à la torsion est faible, qui n'est pas obligatoirement l'endroit mince, mais peut être un endroit gros avec moins de fibres en sa section (cas de neps, de crackers, de présence de corps étrangers, etc...).

L'irrégularité de la masse linéique T_f , change considérablement la résistance à la torsion M_t du produit homogène, de part ses composants et sa structure. Conformément à la relation 2-10c, ZARETSKAS [28], a dans une étude montré qu'une variation de T_f de l'ordre de $\pm 10\%$, engendre une résistance à la torsion dans les endroits gros de 48% supérieure à celle des endroits minces.

L'irrégularité structurelle du filé et l'irrégularité des propriétés mécaniques de la matière première engendrent des variations de la résistance à la torsion. L'irrégularité de la matière première (surtout la longueur) favorise l'irrégularité de la distribution de la torsion. Par conséquent, l'irrégularité de la masse linéique $C_{v1}\%$ du produit entrant et la structure du filé apparaissent comme les principales causes de l'irrégularité des propriétés mécaniques des produits ayant subis la torsion. A cause de ces influences, la torsion communiquée au fil se distribue irrégulièrement.

L'équation (2-10c) qui exprime la dépendance $M_t = \phi(T)$, à la condition que M_t soit identique sur toute la longueur du fil, formé de (f) parties de paramètres T_f, δ et G différents, peut s'écrire:

$$\frac{T_1 \cdot G_1 \cdot T_{f1}^2}{\delta_1^2} = \frac{T_2 \cdot G_2 \cdot T_{f2}^2}{\delta_2^2} = \dots = \frac{T_1 \cdot G_1 \cdot T_{f1}^2}{\delta_1^2}, \quad (5-01);$$

A supposer que le premier membre de l'expression représente les points minces et le deuxième les points gros du fil, alors, en posant $G_1 = G_2 = \text{const.}$ et $\delta_1 = \delta_2 = \text{const.}$, on aura:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_{f2}^2}{T_{f1}^2} \quad (5-02);$$

Mais en réalité $\delta_1 \neq \delta_2$, donc si la différence du taux de torsion se remarque dans les différentes parties du fil, alors:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{T_{f2}}{T_{f1}} \right]^2 \cdot \left[\frac{\delta_1}{\delta_2} \right]^2 \quad (5-03);$$

Pour une meilleure appréciation de la mesure de la torsion, on utilise le coefficient de torsion α_m et la $\text{tg}\beta$. Puisque, (cf. relation 2-14e):

$$\alpha_m = 282 \text{ tg}\beta \cdot \sqrt{\delta} \quad \text{et} \quad \alpha_T = 89,17 \text{ tg}\beta \cdot \sqrt{\delta}$$

et si deux fils ont même $\text{tg}\beta$, et analogiquement à la relation (5-03), on peut écrire que:

$$\frac{\alpha_{m1}}{\alpha_{m2}} = \frac{\sqrt{\delta_1}}{\sqrt{\delta_2}} \quad (5-04);$$

Par expérience, nous savons que le coefficient de torsion α_m (ou α_T) est augmenté dans le cas des fils de chaîne et des fibres courtes et diminué dans le cas des fils de trame, de tricot et des fibres longues.

D'autre part, lorsque α_m diminue, le taux de torsion T du fil diminue (cf. relation 2-15a) et vis-versa.

En appliquant la relation (2-15a) aux valeurs de la torsion de la série S_1 du tabl. N5-03, on obtient:

$$\alpha_{11} = \frac{1018 \sqrt{15.4}}{31.62} = 126.34 ; \quad \alpha_{12} = 119.75 ; \quad \alpha_{13} = 111.46 ;$$

ainsi, $\alpha_{11} > \alpha_{12} > \alpha_{13}$ et en appliquant la relation (5-04), on obtient:

$$\frac{\alpha_{11}}{\alpha_{12}} = \frac{\sqrt{\delta_{11}}}{\sqrt{\delta_{12}}} = \frac{126.34}{119.75} = 1.055 ; \text{ soit } \delta_{11} = 1.113 \delta_{12} .$$

Nous pouvons déduire, que du fait de l'augmentation du taux de torsion, ($T_{11} > T_{12}$), la masse volumique δ du fil augmente. Mais en réalité, l'augmentation du taux de torsion T amène la diminution de la hauteur " h " de la spire (cf. fig. 2-05), autrement dit $\text{tg}\beta$ augmente (cf. relation 2-13). En vertu de la relation (2-14e), on obtient:

$$T = 282.31.62 \text{ tg}\beta \cdot \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt{T_f}} = 89.17.10^2 \text{ tg}\beta \cdot \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt{T_f}} ; \quad (5-05);$$

En supposant $T_f = \text{const.}$, pour un fil donné, alors avec l'augmentation du taux de torsion T , les facteurs $\text{tg}\beta$ et la racine carrée de δ augmentent ensemble de la même valeur que T . Autrement dit, pris séparément $\text{tg}\beta$ et δ varient faiblement par rapport à T .

De ce qui précède, on déduit que:

-la torsion des endroits minces du fil est toujours supérieure à celle des endroits gros;

-la masse volumique δ et la $\text{tg}\beta$ du fil augmentent avec l'augmentation du taux de torsion.

Lors d'une torsion intensive du fil, δ s'approche de la masse spécifique du fil γ_f qui ne change déjà presque pas, et ce sont les variations des autres indices qui s'aggravent.

V.1.4. CORRELATION

Ailleurs, beaucoup de travaux, concernant l'analyse des caractéristiques d'irrégularité, de la corrélation entre les caractéristiques des fibres, entre celles-ci et le fil et celles des fils entre elles, ont été menés. Aussi, dans une étude de la corrélation entre la torsion et la masse linéique du fil

F. MONFOR [64] a relevé la présence d'une forte corrélation négative entre la torsion T , déterminée par la méthode de la détorsion et la masse linéique T_f obtenue par des pesées de section de fils de longueur de 10÷250 mm, pris à la distance $L > 0,25$ m, avec un nombre d'essais $m=50$.

Par exemple, entre deux extrêmes de fil de laine peignée, le coefficient de corrélation linéaire $C = -(0,47 \div 0,87)$ et pour un seul filament en polyester $C = -(0,65 \div 0,81)$.

Malgré la différence dans les méthodes de détermination de la torsion (ici méthode de la double torsion) et de la masse linéique, par la pesée de tronçons de longueurs égales à 250 mm de fil de coton 100%, nous avons abouti aux mêmes résultats, autrement dit à une forte corrélation négative entre T et T_f qui varie de $C_1 = -(0,524 \div 0,798)$ pour le fil simple, de $C_2 = -(0,375 \div 0,765)$ pour le fil obtenu à partir de deux mèches et $C_3 = -(0,488 \div 0,821)$ pour le fil obtenu par l'assemblage de trois mèches, (cf. tabl. N4-08).

Comparés aux résultats des travaux menés jusque là, nos conclusions sont confirmées, malgré les conditions difficiles dans lesquelles les travaux ont été réalisées.

V.2. ETUDE COMPARATIVE AVEC LES RESULTATS DU MILIEU INDUSTRIEL

La maîtrise du processus technologique consiste à adapter la matière première brute et le processus de fabrication aux propriétés qualitatives du filé exigées par le marché, d'optimiser le processus de la filature par le réglage des vitesses de travail et l'entretien des machines et de corriger à temps les anomalies qui apparaissent au cours du processus, afin d'éviter les situations anormales.

V.2.1. IMPORTANCE DU CONTROLE DE LA QUALITE

Il est connu que les irrégularités des produits de filature s'additionnent quadratiquement le long d'un procédé de fabrication, et que malgré l'utilisation du doublage et de systèmes d'autorégulation, il est pratiquement impossible de fabriquer un fil régulier à partir de demi-produits irréguliers. En pratique, le rôle du filateur est de, justement, diminuer ces irrégularités par:

- la prévention de la naissance de l'irrégularité ou par la diminution de celle-ci à sa naissance;
- la diminution de la valeur de l'irrégularité ayant déjà surgie.

Des mesures adéquates doivent se prendre dans les ateliers de fabrication, du mélange jusqu'au filage, afin de prévenir toute irrégularité supplémentaire.

Pour surveiller la qualité des produits, il est important de confronter les résultats des essais aux standards en vigueur dans le domaine de la filature. En plus des USTERS STATISTICS, il existe un indice appelé "indice de BARNET I_B " (cf. S.II.2.1),

qui permet d'apprécier la régularité de la masse linéique des filés. Le tabl.N5-04, SEVOSTIANOV [16], indique les valeurs tabulées de I_B auxquelles on compare les valeurs d'expérience. Cet indice est obtenu en utilisant la relation (2-04c).

Les résultats d'expérience donnent les indices, représentés dans le tabl.N5-05. Malgré la vétusté du continu à filer utilisé, les indices I_B de la série S2 (doublage de deux mèches), comparés à ceux du standard (cf.tabl.N5-04) sont très bons. Même si ceux de la série S1 sont considérés comme bons; nous remarquons que le doublage améliore la régularité des filés et qu'une machine, même vieille, peut réussir un fil de bonne qualité pourvu qu'il soit de faible numéro métrique.

valeurs tabulées de l'indice de BARNET

Tabl.N5-04

Appréciation de l'indice du fil	COTON		VISCOSE ET ACETATE	LAINE PEIGNEE
	cardé	peigné		
Excellent	<1,7	<1,4	<1,5	<1,2
Très bon	1,7-2,0	1,4-1,6	1,5-1,7	1,2-1,3
Bon	2,0-2,3	1,6-1,8	1,7-1,9	1,3-1,4
Passable	2,3-2,6	1,8-2,0	1,9-2,1	1,4-1,5
Médiocre	>2,6	>2,0	>2,1	>1,5

Valeurs des irrégularités des fils obtenus

Tabl.N5-05

DESIGNATION	S1			S2			S3		
	γ_{11}	γ_{12}	γ_{13}	γ_{21}	γ_{22}	γ_{23}	γ_{31}	γ_{32}	γ_{33}
Masse linéique $T_f(\text{tex})$	15,4	16,4	16,6	35,3	33,7	33,6	55,0	52,2	51,7
Coef. variat. effectif $C_v E\%$	25,67	25,56	25,9	18,2	18,0	17,8	—	14,88	23,4
Nbre moyen de fibres $\bar{n}$	91	97	98	208	199	198	324	308	305
Indice d'irrég. I_r	2,31	2,38	2,42	2,48	2,40	2,36	—	2,46	3,86
Indice de BARNET I_B	2,18	2,22	2,25	2,03	1,98	1,96	—	1,90	2,97

V.2.2. INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LA QUALITE DU PROCESSUS TECHNOLOGIQUE

La qualité de la matière première et les effets de la fabrication influent beaucoup sur la qualité des filés. Des variations incontrôlées dans le mélange de la matière brute conduisent à des variations des taux de casses de fil et amènent une baisse de qualité et un accroissement des coûts de fabrication des filés.

Un contrôle insuffisant du processus, un endommagement exagéré des fibres et une négligence généralisée de l'entretien des machines mènent certainement à une baisse de la qualité des filés. Les arrêts de métiers à tisser dus à des casses de fils concernent directement les paramètres de résistance, d'élasticité et de régularité des filés.

En outre, un fort taux de casses de fil au filage ne permet pas d'atteindre effectivement les vitesses maximales possibles (et la tendance à utiliser de fortes torsions pour compenser les pertes en casses de fil). Ce facteur renchérit à son tour les coûts de fabrication.

Pour toutes ces raisons, les facteurs perturbateurs, qui influencent négativement le procédé de fabrication doivent être connus et saisis par la technique de la métrologie.

Le problème du contrôle de la qualité n'est pas simple, car beaucoup de facteurs apportent leurs influences, par exemple: *la matière première brute joue un rôle primordial dans la filature de coton, de la qualité du mélange dépendra celle des filés. En réalité, il n'est pas possible d'arriver à un mélange optimal de la matière brute, étant donné la centralisation et l'uniformisation des approvisionnements en coton, entraînant l'affectation de la même matière brute à toutes les entreprises (d'ailleurs le visa de conformité ne concerne que le contrôle de la longueur technique, de la résistance et du micronaire), malgré les différentes gammes de filés; ce qui occasionne d'importantes perturbations dans le processus technologique et des surcoûts de fabrication;

*l'état des équipements joue également un rôle important, une machine bien réglée ne participe pas à la dégradation de la qualité des produits. Aussi il est important de bien exploiter les spectrogrammes des longueurs d'ondes des défauts de chaque passage technologique, afin de surveiller la bonne marche des machines et de procéder immédiatement au réglage le mieux adapté aux caractéristiques des fibres (écartements, vitesses ...);

*le processus technologique lui-même; en effet, le bon choix des paramètres technologiques (taux de doublage, vitesses, étirages, etc...) concourt à la fabrication d'un produit de qualité. Les écartements mal choisis participent à la dégradation de la qualité (naissance de neps au cardage ...), tandis qu'un étirage excessif provoque des variations supplémentaires de l'épaisseur du produit;

*les conditions climatiques dans les ateliers de fabrication textile jouent aussi un rôle important. La variation de l'humidité et de la température occasionnerait des casses (surtout des filés), des enroulements dans les machines, des épaisseurs de fil inégales, etc... . Avec une humidité adaptée et une température adéquate, le traitement des fibres de coton aura les influences positives suivantes:

- * abaissement considérable du nombre de casses;
- * augmentation de l'efficacité de travail et de la production des machines;
- * amélioration de la qualité du produit fini;
- * amélioration des conditions de travail.

Le renouvellement des équipements coûte cher, néanmoins, il est possible d'améliorer l'état de l'équipement existant en procédant à la restauration des vieilles machines par le remplacement des pièces usées (notamment les systèmes d'étirage). Des expériences similaires ont été menées par certaines entreprises de l'ex URSS. En effet, des contrats avantageux ont été signés avec les firmes SKF pour le remplacement des trains d'étirage (paliers, systèmes de pression, manchons, revêtements des rouleaux, etc...) et BRÄCKER pour le système de torsion (courseurs et anneaux).

V.2.3. RELATION TORSION-PRODUCTION

A titre d'exemple, le tableau N5-06, ci-après, représentant les caractéristiques de certains filés, de coton cardé, produits par les unités de la COTITEX, au début des années 1980 [65], montre, à priori, une certaine incohérence dans le choix de la torsion.

Caractéristiques de certains filés de coton cardé (100 %) produits par les unités COTITEX

Tabl.N5-06

N°	T _f (N _f) Tex (m/g)	T (T/m)	COTITEX	N°	T _f (N _f) Tex (m/g)	T (t/m)	COTITEX
1	83,3 (12)	480	SEBDOU	1	25 (40)	719	BARIKA
1	71,4 (14)	390	BARIKA	2	25 (40)	750	AKBOU
1	50 (20)	495	AKBOU	3	25 (40)	850	DBK
2	50 (20)	600	CONSTINE	4	25 (40)	850	CONSTINE
1	41,6 (24)	580	AKBOU	1	20 (50)	920	AKBOU
2	41,6 (24)	660	SEBDOU	2	20 (50)	965	DBK
1	35,7 (28)	552	BARIKA	1	17,8 (56)	920	CONSTINE
2	35,7 (28)	653	AKBOU	1	16,6 (60)	1050	DBK
1	29,4 (34)	720	AKBOU				
2	29,4 (34)	770	CONSTINE				
3	29,4 (34)	790	DBK				

Ce tableau montre que seul le complexe fils teints de BARIKA, reconnu pour ses produits normalisés et de qualité, possède des gammes de fils à faibles torsions, car le fil teint demande une torsion plus faible, par rapport aux autres unités COTITEX. Comme la torsion T (t/m) d'un fil augmente lorsque sa masse linéique T_f (tex) diminue, (cf.relation 2-15a); on doit voir T_f diminuer lorsque T augmente ou inversement. Mais les valeurs données dans le tabl.N5-06 ne reflètent pas cette dépendance.

L'analyse détaillée de certaines valeurs, indiquées dans le tabl.N5-07, montre que les unités COTITEX n'appliquent pas les mêmes taux de torsion. Il se trouve même que certains filés d'épaisseurs plus grosses (cf.lignes 1 et 2 du tabl.N5-07) soient fabriqués avec une torsion plus grande, ce qui représente un inconvénient.

Ces chiffres montrent clairement l'enjeu, que représente la torsion. Ainsi pour réduire leurs objectifs de production, les responsables d'unités présentent d'abord des torsions théoriques souvent exagérées, qu'il peuvent, par la suite, facilement manipuler.

**Ecart de torsion des filés produits
par certaines unités COTITEX**

Tabl.N5-07

N°	Masse linéique Tf (g/km)	COTITEX	torsion T (t/m)	Ecart de torsion	
				Absolus (t/m)	Relatifs (%)
1	71,4	BARIKA	390	90	23
	83,8	SEBDOU	480		
2	35,7	BARIKA	552	28	5
	41,6	AKBOU	580		
3	35,7	BARIKA	552	101	18,3
		AKBOU	653		
4	25	BARIKA	719	31	4,3
		AKBOU	750		
5	25	BARIKA	719	131	18,2
		[DBK-CONST.]	850		
6	25	AKBOU	750	100	13,3
		[DBK-CONST.]	850		

D'ailleurs, ce phénomène a été vécu au cours de l'année 1980, lorsque les responsables d'une unité de production de la SONITEX, ont réussi à augmenter leur rendement (dépassant l'objectif fixé) rien qu'en manipulant les valeurs de la torsion des différentes gammes de fils. Ce qui a suscité, à l'époque, l'étonnement général de leurs collègues des autres unités.

Pour éviter ces phénomènes, il faut instaurer des standards nationaux de torsion; afin d'uniformiser les valeurs relatives à chaque gamme de fils et travailler avec les mêmes données (instaurer une torsion uniforme pour un filé ayant la même destination). Le même fil fabriqué à COTITEX BARIKA doit avoir la même torsion que celui fabriqué à D.B.K ou à SEBDOU; de manière à uniformiser les qualités des filés et des tissus.

Cette tâche est, bien sûr, complexe, car elle demande la maîtrise du processus de fabrication. Un fil régulier peut être filé à une faible torsion, en revanche s'il est irrégulier la même torsion peut être insuffisante, par conséquent difficulté de filage (beaucoup de casses de fil).

D'ailleurs, si les caf sont vétustes, les autres machines du process le sont aussi (cardes, bancs d'étirage et bancs à broches), par conséquent chaque passage va participer à la détérioration de son produit, et sur le caf, il serait impossible de filer à grandes vitesses, cause, justement, de la fréquence des casses de fils, qui sera dans ce cas, élevée.

Il est donc judicieux sinon primordial de réorienter cet équipement afin de le spécialiser dans la fabrication des filés plus gros, plus facile à obtenir et dont l'exigence à la qualité est moindre. Tandis que, les unités à équipements plus récents, se spécialiseront dans la fabrication de la gamme des filés plus fins. Tout en gardant la spécificité de chaque unité, on peut procéder à l'interchangeabilité des produits en améliorant l'échange entre les différentes unités de la branche, ou en créant des regroupements par familles des produits.

V.3. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Comme ce travail se veut une modeste contribution à l'étude des caractéristiques d'irrégularité des filés dans la filature cardée de coton; nous n'avons pas la prétention d'avoir cerné tous les problèmes qui y sont posés. Car beaucoup de facteurs influencent la qualité du processus technologique; l'absence d'une unité pilote de recherche, rend tout travail scientifique difficile et aggrave les difficultés de maîtrise du process.

V.3.1. FACTEURS IMPORTANTS INFLUANT SUR LA QUALITE DES FILES

L'irrégularité du produit fini peut résulter non seulement d'un mauvais mélange de matière première brute mais également de l'état du processus technologique. En effet, il est vrai que la matière ne s'adapte pas automatiquement à l'équipement, mais c'est le technicien qui doit l'y adapter par l'utilisation de paramètres adéquats.

Une méconnaissance des relations entre les caractéristiques des fibres et celles du fil conduit à des incertitudes quant à l'utilisation rationnelle de la matière première brute. Souvent, c'est la qualité de la matière première qui est à l'origine des casses des demi-produits. Aussi, ce problème doit être cerné, en amont, par un meilleur contrôle des approvisionnements en matière première de base.

Cependant même si les caractéristiques exigées sont connues, on ne pourrait, techniquement, pas disposer d'une bien plus large sélection de coton permettant de choisir, à tout moment, le mélange le plus optimal et le plus économique et réduire de ce fait les variations du mélange et les coûts dus à la matière première. Néanmoins, il est possible d'avoir des cotons dont les caractéristiques des fibres ne sont pas très éloignées les unes des autres et améliorer de ce fait le rapport qualité-prix.

D'autre part, nous savons que l'équipement est vétuste; de même que des travaux d'études ne se font pas dans les unités de production, ou s'ils se font, ils ne sont pas exploités. Pour cela, il faut coordonner davantage la maintenance des équipement et la production, afin d'améliorer la qualité de la production.

C'est de la qualité et des coûts de fabrication des filés que dépend le succès d'une filature. L'aptitude concurrentielle

d'une entreprise se mesure, par conséquent, d'après ces deux critères. Les gains en filature sont principalement basés sur le prix de la matière première, les coûts de fabrication et le prix de vente. Les exigences de qualité du filé sont souvent dépassées, lorsqu'on utilise une matière brute meilleure; or une telle matière coûte plus chère, ce qui réduit la marge bénéficiaire maximum possible (et la tendance à l'augmentation du prix de revient du filé).

A titre indicatif, le tabl.N5-08 donne l'évolution du prix du coton pour les quatre dernières années. On remarque une augmentation, entre 1988 et 1991, de l'ordre de quatre fois. De même que les coûts de fabrication de certains numéros de filés fabriqués à COTITEX de D.B.K, indique la même évolution.

**Evolution des coûts du coton brut et de fabrication
pour la période 1988-1991**

Tabl.N5-08

Exercice annuel	Prix DA/Kg	Coûts par articles DA/Kg		
		T _r =50	T _r =29,4	T _r =25
1988	10,77	18,50	20,91	23,61
1989	10,58	20,33	23,38	25,10
1990	16,88	—	41,85	44,93
1991	48,48	—	75,72	78,94

Aussi, le vieillissement de l'équipement de certaines unités de production nous amène à réfléchir quant à l'opportunité de choisir une gamme de filés plus gros, pour éviter l'utilisation abusive d'une matière première de qualité supérieure. Par ailleurs, avant de lancer la fabrication d'un fil d'épaisseur donnée, il faut saisir toutes les caractéristiques des fibres (longueur technique, résistance, finesse, teneur en impuretés, etc...), qui peuvent intéresser la qualité du filé et celle du processus de fabrication.

Une forte corrélation négative entre la torsion et la masse linéique avertit le technicien sur le fait que la torsion est en relation inverse par rapport au tex du fil (ou de la mèche) et la présence exagérée de défauts de minceurs, de grosseurs et de boutons fausseront les résultats de la torsion finale et porteront préjudice aux passages ultérieurs.

Il est connu que le doublage améliore la régularité des produits de filatures. Jusqu'à présent, il n'y a pas eu d'expériences, réalisées dans les entreprises nationales, qui concernent le doublage de la mèche au caf. Tandis que sur les bancs d'étirage, l'effet du doublage est apprécié, quant à l'amélioration de la régularité et du mélange des rubans cardés.

Cette étude n'a pas pour but de toucher à l'effet du doublage de la mèche, mais plutôt le comportement de la torsion en fonction de l'augmentation de la masse linéique, sans changer l'étirage qui peut provoquer d'autres perturbations.

Mais cette opération a été bénéfique, puisqu'elle montre l'intérêt du doublage et la facilité avec laquelle on obtient des filés d'épaisseurs plus grosses.

L'étude montre également le rôle de la torsion et de la masse linéique dans le comportement des caractéristiques dynamométriques des filés (résistance et allongement). A des taux de torsion différents (pour la même masse linéique), la résistance des filés augmente jusqu'à la valeur critique de la torsion. De même que l'augmentation de l'épaisseur du fil, autrement dit un plus de fibres dans la section du filé, accroît sa résistance.

V.3.2. INFLUENCE DE LA TORSION SUR LE TISSU

Nous avons déjà vu l'effet néfaste de l'augmentation de la torsion sur le fil, en ce qui concerne la baisse de la production. Au tissage, cette influence se remarque sur l'aspect du tissu. Malgré certains aspects positifs, de l'augmentation de la torsion, sur le fil: plus fin (à titre égal), plus régulier, moins pileux, plus brillant, etc...; tandis qu'une faible torsion rend celui-ci: plus épais, plus pileux et plus doux. Aussi, pour obtenir un tissu moins épais et d'armure plus nette et plus brillant, il faut augmenter la torsion du fil. En revanche si on veut augmenter le pouvoir couvrant d'un tissu, on diminue la torsion du fil.

V.3.3. CONSEQUENCE DE LA TORSION SUR LA TEINTURE OU LE COLORANT

Comme l'effet de la torsion sur le tissu est reconnu, celle-ci a également des conséquences sur la teinture et les colorants. En effet, déjà en temps normal, pour avoir de meilleurs résultats tinctoriaux, les tissus fabriqués à base de filés de fibres de coton, sont traités sous tension. Alors lorsque la torsion est supérieure, il faut une tension plus grande, afin de faciliter la pénétration de la teinture ou du colorant. De plus l'irrégularité de la torsion provoque un effet tinctorial non homogène. Les endroits peu tordus ont une capacité d'absorption plus rapide des colorants, à l'inverse des endroits surtordus (endroits minces, crackers, etc...), ce qui donne un tissu de différentes nuances.

Par ailleurs, les défauts de minceurs, de grosseurs et particulièrement les neps (composés essentiellement de fibres mortes et immaturées), qui ne peuvent pratiquement pas absorber de colorants, ont une tendance à capacité tinctoriale variable qui ne peut être corrigée, en partie, que par des mesures particulières en teinture et finissage [47]. Pour augmenter la résistance, l'effet tinctorial et la brillance des tissus, on procède au mercerisage et les meilleurs résultats sont obtenus au mercerisage sous tension; aussi un tissu fabriqué à base de filés surtordus doit subir un mercerisage avec une tension plus grande.

V.3.4. DOMAINES D'APPLICATION POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE DES FILES DE COTON CARDES

Tous les spécialistes de la filature sont unanimes pour déclarer que la part de la matière brute, dans les coûts totaux de la fabrication des filés, varie de 50% à 70% et qu'une économie de 2% sur la matière première brute entraîne une réduction d'au moins 1% sur le prix des filés [47]. Aussi, la matière première offre des possibilités d'améliorer la compétitivité d'une filature.

Néanmoins, penser compenser les insuffisances en matière d'organisation et de gestion de la production (négligence de l'état des machines, leurs réglages inadaptés ou incorrects, un contrôle insuffisant du processus de fabrication, etc...), en utilisant une matière première de qualité supérieure, conduira à un résultat catastrophique.

Les résultats auxquels nous avons aboutis montrent une étroite liaison entre plusieurs paramètres du fil et entre celui-ci et les paramètres de production. Ainsi, la torsion est directement liée à la production, de même que les caractéristiques de la fibre sont liées à celles du filé. En effet, des fibres résistantes donnent un fil de meilleure résistance, de même que des fibres fines donnent de meilleurs filés, grâce au nombre de fibres dans la section du filé plus grand. Mais d'autres paramètres apportent aussi leurs influences.

Un contrôle du point de vue de la régularité des demi-produits et produits, nécessite l'implication active des professionnels de la maintenance, afin d'assurer de meilleurs résultats quant aux réglages des machines, au remplacement ou à la réparation des organes défectueux.

Bien qu'au départ on puisse économiser sur les dépenses d'entretien et des pièces de rechange des machines, les coûts de fabrication des filés augmentent avec le vieillissement des machines. La qualité des filés ne pourra être maintenue, dans ce cas, que par l'utilisation d'une matière première brute meilleure mais par conséquent plus chère.

Aussi, il faut développer la maîtrise du contrôle de la qualité, en vue d'aboutir à des mélanges homogènes et éviter, de ce fait, la naissance d'irrégularités supplémentaires, dues à des négligences dans la gestion du processus de fabrication, entraînant des perturbations au filage et au tissage.

Pour arriver à un réglage optimal, il faut assurer la meilleure utilisation possible des caractéristiques des fibres et les conserver intactes à chaque étape de ce processus; pour cela, il faut assurer certaines conditions du bon fonctionnement en:

- procédant au réglage immédiat des machines et l'adapter au mieux aux caractéristiques des fibres (écartements entre les cylindres d'étirage, vitesses ...);

- optimisant le réglage des machines par des essais comparatifs (écartements entre les organes, vitesses de production, pourcentage d'impuretés, proportion de fibres courtes ...)

- améliorant les conditions d'entretien des machines (garnitures des cardes par la mesure de l'accroissement du

nombre de neps, l'état des trains d'étirage par le suivi des spectrogrammes des défauts, etc...);

-maintenant, dans les ateliers de fabrication, les conditions climatiques les plus constantes possibles; car la fibre de coton est très sensible aux variations de l'humidité.

L'ensemble de ces mesures ont pour but la réduction des coûts de fabrication des filés, par une gestion plus rationnelle des moyens de production. En d'autres termes, il s'agit d'obtenir la qualité du filé, exigée par le client, au prix le plus avantageux possible. Pour compléter ces mesures, il faut cerner tous les facteurs qui peuvent apporter un plus, en vue d'atteindre l'objectif de rendre compétitif le produit de la filature; pour cela il faut insister sur:

-l'utilisation de la matière première brute la plus avantageuse possible, répondant aux exigences technologiques imposées, au prix le plus raisonnable;

-la réduction des perturbations du processus technologique, telles que les casses de fils;

-l'adaptation des vitesses de travail à la matière première brute et à l'exigence de l'article à fabriquer.

V.3.5. LIMITES DE LA METHODE ET PERSPECTIVES DE SON DEVELOPPEMENT

Le coût des filés devient de plus en plus élevé (cf.tabl. N5-08); résultant de l'augmentation du prix de coton sur le marché international, du coût des intrants (input) ainsi que de l'érosion du dinar par rapport aux monnaies devises; créant ainsi de graves problèmes dans l'exploitation.

Aussi, il est difficile de mener un travail de recherche consistant et impliquant la collaboration des praticiens de l'entreprise; lorsque chaque problème posé nécessite une étude approfondie. L'absence d'une unité pilote de recherche ne permet pas de cerner tous les problèmes posés à la filature. Toutefois, "oublier ou retarder l'application de principes scientifiques de gestion mènera inévitablement les entreprises vers des déficits chroniques donc vers la faillite", [66].

La méthode utilisée se veut une contribution à l'étude des caractéristiques d'irrégularité dans la filature cardée de coton; mais beaucoup de facteurs (matière première, l'état de l'équipement, l'organisation, etc...) influencent la qualité du processus. En l'étape actuelle, on ne semble pas accorder une grande importance à la recherche, les responsables des entreprises ne s'intéressent qu'aux problèmes ponctuels; car il n'y a pas de stratégie à moyen ou long terme dans la gestion de l'entreprise. Aussi, il faut redynamiser le secteur par une gestion plus rationnelle en faisant appel à des compétences, qui étaient, jusque là, tenues à l'écart de toute décision pouvant intéresser le domaine, car on a jugé leur apport négligeable du fait que l'équipement soit neuf, donc ne nécessitant que des interventions classiques (nettoyage, graissage, etc...), ainsi que l'absence de toute concurrence pouvant stimuler l'amélioration de la qualité.

Comme le secteur avait le monopole sur presque tous les produits

textiles, rien ne poussait donc les responsables à plus de rationalité dans le choix de la stratégie de développement.

Mais actuellement, l'état n'est plus en mesure d'assurer une protection rigoureuse de la production nationale du textile, et nos produits sont fortement concurrencés par des importations massives, créant des problèmes au secteur. Car, chez nous, il se trouve que le consommateur a un goût plus prononcé pour les produits "made in", même si les nôtres sont, au point de vue caractéristiques techniques de meilleure qualité (par rapport à ceux importés dans le cadre du marché informel, s'entend), mais avec un design meilleur pour ces derniers. Aussi, il faut travailler dans le sens de l'amélioration de la qualité et rendre le produit compétitif.

En ce qui concerne notre étude, nous aurons pu procéder au contrôle d'une plus grande gamme de filés afin d'arriver à des recommandations plus précises, concernant tous les paramètres d'irrégularité. Pour cela, il faut bien sûr un laboratoire assez bien équipé en matériel fiable afin de dresser une nomenclature de filés avec toutes leurs caractéristiques d'irrégularité, de la torsion et de la résistance et d'éviter ainsi une large étendue entre les caractéristiques des filés de mêmes numéros, et permettre ainsi une rationalisation dans la production de tel ou tel produit.

De même que l'utilisation d'un moteur électrique à courant continu, dans le dispositif expérimental, aurait pu nous éviter des perturbations, dues à des changements de vitesses des broches, provoquant des variations dans les valeurs de la torsion, par conséquent les variations de la résistance des filés. Ceci améliorerait aussi la corrélation entre la torsion et la masse linéique et régulariserait la résistance et l'allongement à la rupture des filés et nous permettra d'arriver à des conclusions plus fiables.

Toutefois cette méthode est avantageuse, car le système peut être installé sur n'importe quel continu à filer et pouvoir contrôler un nombre restreint de broches, sans jamais arrêter la production, et pouvoir ainsi déterminer les caractéristiques du filé.

CONCLUSION

L'analyse des résultats bruts obtenus a montré une corrélation négative, entre la torsion T et la masse linéique T_f , confirmant le fait que la distribution de la torsion d'un fil est en rapport inverse de sa masse linéique. Partant de cette hypothèse, et grâce aux méthodes statistiques utilisées, on a pu aboutir à certains résultats; lesquels peuvent être jugés intéressants, car ils confirment les lois en vigueur concernant chaque caractéristique analysée; en effet:

-les irrégularités, malgré leurs valeurs importantes, se sont comportées normalement, autrement dit, elles diminuent avec l'augmentation de la masse linéique du fil. Il ressort également que sur de petites longueurs de coupe, ($Cv\% \text{ USTER}$, cf. tabl. N4-01), elles sont supérieures aux irrégularités sur de grandes longueurs de coupe, ($Cv\% L=250 \text{ mm}$, cf. tabl. N4-05); et le nombre de défauts dans le fil a diminué avec l'augmentation de son épaisseur;

-la torsion favorise le contact entre les fibres, ce qui augmente la résistance des filés et diminue le nombre de fibres qui glissent au moment de la rupture du fil; de même que l'augmentation du nombre de fibres, dans la section du filé, peut donner à celui-ci un supplément de résistance, grâce notamment aux contacts réciproques qui seront plus grands;

-les allongements ont une tendance à l'augmentation, avec l'augmentation de la masse linéique des filés; néanmoins ces augmentations sont moins prononcées que pour la résistance. En revanche, il est difficile de juger, au regard des résultats obtenus, de la tendance de l'allongement à la rupture par rapport à la torsion;

-l'analyse de la corrélation des données brutes a montré une corrélation négative entre la torsion T et la masse linéique T_f ; celle-ci augmente (en valeur absolue) avec la diminution de la torsion T ; en revanche, la masse linéique du fil n'y exerce aucune influence perceptible.

Tandis que la corrélation entre la résistance R et l'allongement E est positive et diminue faiblement avec la diminution de la torsion et de l'augmentation de la masse linéique;

-les équations des modèles mathématiques obtenues montrent un comportement analytique différent, des trois séries. Dans la série (S_1) les constantes de torsion et les exposants B de X augmentent avec la diminution du taux de torsion, et sont plus proches de la relation universelle de KOECHLINE, contrairement aux séries S_2 et S_3 . Ceci renforce l'hypothèse de l'existence de facteurs qui influent, dans une certaine mesure, sur le comportement de ces équations.

Pour des raisons de rentabilité, on recommande de réorganiser la filature, au niveau des entreprises, afin de spécialiser les unités, dotées de vieilles machines, dans la fabrication de filés gros, et celles qui ont des équipements

neufs dans la gamme des filés fins avec l'affectation des cotons de meilleure qualité pour ces dernières. Car, comme il a été montré, il est plus facile de fabriquer un fil gros, avec moins de défauts, qu'un fil fin.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] COWHIG W. T.
Textiles. A series on local history topico, published
by greater Manchester Council (2), 1976.
- [02] PIKOVSKI G. I.
Industrie textile, "ind.lég.", Moscou 1977.
- [03] KOUDINOV A., IGUEDAD A.
Nouvelles méthodes de filage; thème d'un séminaire de la
chaire de technologie textile. Boumerdes juin 1990.
- [04] BRÄCKER NYLTEx
Revue technique sur les curseurs et les anneaux. BRACKER
S.A. Wintzenheim, 68 000 Colmar France 1987.
- [05] ZINSER TEXTILMASCHINEN.
FIL-A-MAT optimisation de la filature à anneaux.
Textilmaschinen GMBH D-7333 Ebersbach/fils; Allemagne 1990.
- [06] PREYSCH M.
Le contrôle de la production et de la qualité en filature
de coton. BTI; filature, éd. française, N2, P.299-312, 1979.
- [07] FUCHS H.
Amélioration de la qualité par un mélange plus régulier.
BTI; Filature, éd. française N3, p.411-416, 1978.
- [08] BARNES R. M.
Blend to save money; textiles industries, N112, H.12,
S 113, 1958.
- [09] FELIX E.
Amélioration de la qualité et accroissement du rendement
dans la filature continu. USTER Suisse; BTI; filature,
éd. française N2, p.315-318, 1979.
- [10] ELMAR W. Haas.
Livre de poche SKF Textilmaschinen, Komponenten GMBH.
Stuttgart, R. d'ALLEMAGNE; éd. 1987.
- [11] GRUNDER H. R.
L'optimisation lors de la production de filés, par comman-
des des continus à filer à vitesse variable. BTI; filature,
éd. française N4, p.403-414, 1982.
- [12] MARTINDALE J. G.
A new method of measuring the irregularity of yarn with
some observations on the origin of irregularities in
worsted slivers and yarns; J. Text. Inst., Vol. 36, T35,
march 1945.

- [13] HUBERTY A.
Première étude des paramètres caractérisant la régularité des fils, mèches et rubans; lois fondamentales, IWT0 techn. comm. proc. 1,55, 1947.
- [14] USTER TESTER 3.
Explications des nouvelles possibilités d'exploitation. Zellweger Uster A.G. CH. 8610 USTER/SUISSE; TF 462 doc. p.4-5, Avril 1988.
- [15] COLIN J. A.
Principes généraux de la filature. Paris, Librairie Polytechnique Béranger; Liège, Presse de la Cité, 1964.
- [16] SEVOSTIANOV A. G.
Méthodes et moyens de recherche de processus technologiques dans l'industrie textile; "ind.lég.", Moscou 1980.
- X [17] USTER Zellweger S.A.
Manuel d'application pour mesure de la régularité. CH.8610 USTER/Suisse; décembre 1984.
- [18] OLERUP H.
Calculation of the variance-length curve for an ideal sliver; J. Text. Inst. 43, p. 290-293, 1952.
- [19] BRENY H.
The calculation of the variance-length curve from the length distribution of fibers; J. Text. Inst. 44, p.10, january 1953.
- [20] WIENER N.
Generalized harmonic analysis. acta Math.55, p.117, 1950.
- [21] COX D.R., TOWNSEND M.W.
The use of correlograms for measuring yarn irregularities. J. Text. Inst. 42, p.145, 1951.
- [22] TOWNSEND M.W., COX D.R.
The analysis of yarn irregularity. J. Text. Inst. 42, p.107, 1951.
- X [23] BARELLA A.
The influence of twist on the regularity of the apparent diameter of worsted yarns. "J. Text. Ind." vol.43, N9, p.734-741, 1952.
- [24] CHILLON P. et KERGUIGNAS M.
Résistance des matériaux. 3^{ème} éd. Paris DUNOD 1969.
- [25] COURBON J.
Résistance des matériaux, tome 1, 3^{ème} éd. Paris DUNOD 1971.
- [26] TIMOSHENKO S.
Résistance des matériaux. Première partie; Théorie élémentaire et problèmes. Paris DUNOD 1972.

- [27] SOKOLOV G. V.
Théorie de la torsion des matières fibreuses; "ind.lég.",
Moscou 1977.
- [28] ZARETSKAS S. G. S.
Propriétés mécaniques des fils sous la torsion, "ind.lég.",
Moscou 1979.
- [29] ZARETSKAS S. G. S., IGUEDAD A., TALEB S., KRID A.
Répartition de la torsion dans un retors irrégulier simulé;
revue scient. de l'INIL, N5, p.5-8, Boumerdes 1987.
- [30] THIEBAUT R.
La filature; Paris, Presse Universitaire de France, 1964.
- [31] TROUEVTSEV N. I.
Technologie mécanique des matières fibreuses: Guizgprom,
1951.
- [32] VOROCHILOV V. A.
Théorie de la torsion et solidité des fils, "trav. de rech.
scient. IVNITI", T16 N1, p.1-62, 1940.
- [33] SUSTMANN S. A.
Study of twist distribution in the irregular yarn. "J.
text. inst.", vol.47, N2, p.106-110, 1956.
- [34] BARELLA A., SUSTMANN S. A.
Twist diameter and unevenness of yarn- a new approach. "J.
Text. Ind." vol.55, N1, p.1-8, 1964.
- [35] TERIOUCHENOV A. V., BADALOV K. I., BORZOUNOV I. G.,
KOLIOKOV P. M., SMELOVA N. A.
Filature de coton et des fibres chimiques; "ind.lég.",
Moscou 1974.
- [36] ZOTIKOV V. E., BOUDNIKOV I. B., TRIKOV P. P.
Principes de la filature des matières fibreuses; Guizgprom.
Moscou 1959.
- [37] BELITSINE N. M.
Structure de l'industrie de la filature de coton, "ind.
text.", N7, Moscou 1948.
- [38] SOLOVIEV A. N.
Mesures et appréciation des matières textiles, rostekkhiz-
dat, 1961.
- [39] ISO 2062.
Textiles- Fils sur enroulement- méthode de détermination de
la force de rupture et de l'allongement de rupture du fil
individuel (appareils à vitesse constante d'accroissement
de force, d'allongement ou de déplacement de la pince de
traction); 1972 (F).

- [40] STEIN H.
L'importance du comportement tenacité/élasticité de fibres et de fils lors de leur utilisation. BTI, filature, éd. française, N3, 1972.
- [41] AIVAZIAN S.
Etude statistique des dépendances, éd. MIR, Moscou 1970.
- [42] GRAF U., HENNING H. J., WILRICH P. T.
Statistische methoden bei textilen, untersuchungen, springer verlag, 1974.
- [43] SPIEGEL M. R.
Théorie et applications de la statistique; édition française par: ERGAS A. et MARCOTORCHINO, Mc GRAW-HILL INC. NEW-YORK, 1970.
- [44] SALVATORE D.
Econométrie et statistiques appliquées cours et problèmes. By Mc GRAW-HILL, Paris 1985.
- [45] MILLER A. R.
Programme en basic pour scientifiques et ingénieurs, version française, CYBEX 1983.
- [46] VINOGRADOV IO. G.
Les statistiques et leurs utilisations dans la recherche en industrie textile, Moscou 1964.
- [47] USTER NEWS BULLETIN.
Mesure des caractéristiques des fibres de coton. Zellweger USTER AG, 8610 Uster Suisse N38, Octobre 1991.
- [48] MÜLLER M.
Utilisation et interpretation des résultats des mesures, pour les fibres longues, dans la pratique. BTI France édition française, v.36, p.49 et 52, 04 Avril 1990.
- [49] USTER News Bulletin.
Zellweger USTER S.A, CH.8160 USTER/ Suisse, N° 31, p.11, décembre 1982.
- [50] PENZMACH.
Notice d'emploi du continu à filer à anneaux types P-83-5M et P-76-5M; p.9-18, Saratov 1964.
- [51] BADALOV K. I., TCHERNIKOV A. N., BORZOUNOV I. G.
Travaux pratiques pour filature de coton et des fibres chimiques; Moscou 1978.
- [52] CHTCHIROKOV V. P., VLADIMIROV M., POLIAKOVA D. A.
Aide mémoire pour filature de coton. 5e izd, pererab et dop-M: "ind.lég."; Moscou 1985.
- [53] GOST 11031-76.
Standard soviétique. Normes d'utilisation des curseurs, 1976.

- [54] **MAGNITSKY A. A.**
Progrès techniques dans la productivité de la filature de coton, "ind.lég.", Moscou 1967.
- [55] **FUCHS A.**
Les anneaux et les curseurs en filature et au retordage, ITS N3, 1970.
- [56] **SOLOVIEV A. N.**
Projection des propriétés des fils dans la filature de coton. Thèse de doct. d'état, Moscou 1951.
- [57] **BALIASSOV P. D., CHILOVA N. I., BORZOUNOV I. G.**
Filature de coton 2^{ème} partie, "Rostekhzdat"; Moscou 1963.
- [58] **ISO 1142.**
Cordages- Echantillonnage et conditionnement en vue des essais; 1973 (F).
- [59] **USTER TESTER IB.**
Notice d'emploi. Zellweger USTER S.A, CH.8160 USTER/Suisse; 1984.
- [60] **USTER TESTER I/II. DATA PROCESSOR.**
Notice d'emploi, terminal imprimante, Zellweger USTER S.A, CH.8160 USTER/Suisse 1984.
- [61] **GOST 66113-73.**
Standard soviétique. Détermination de la torsion et du retrecissement du fil, 1973.
- [62] **ISO 139.**
Norme internationale. Textiles- atmosphères normales de conditionnement et d'essai; 1973 (F).
- [63] **SEVOSTIANOV A.G., OSMINE N.A., CHERBAKOV V.P., GALKINE V.F., KOZLOV B.G.**
Technologie mécanique des matières fibreuses. "Ind. Lég.", p.91, Moscou 1989.
- [64] **MONFORT F.**
La répartition de la torsion dans les fils de laine peignée."BTI. France", N33, p.55-58, 1952.
- [65] **ANNUAIRE DE LA PRODUCTION DU SECTEUR DES INDUSTRIES LEGERES.**
Vol.3,"Ind. Manuf. et Diverses". p.87-148, Décembre 1984.
- [66] **ALIMAZIGHI K. Prof. de sociologie Université d'ALGER.**
Réhabilitation de la science. In journal El-watan, 15 et 16 juin 1992.

ANNEXE I

VALEURS BRUTES DES ESSAIS

VALEURS BRUTES DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE

Valeurs des essais de la série 1

Tabl.I.1

N	Tors. T11 t/50 cm	Tex Tr11 g/mm	Tors. T12 t/50 cm	Tex Tr12 g/mm	Tors. T13 t/50 cm	Tex Tr13 g/mm
01	549,5	15,4	446,5	18,8	435,0	16,0
02	515,5	16,0	451,5	16,0	457,0	15,2
03	467,5	18,0	467,5	15,2	444,5	15,2
04	511,0	17,2	463,5	16,0	451,5	14,4
05	520,5	16,8	401,0	20,0	441,5	14,4
06	497,0	17,6	502,0	14,8	376,5	19,2
07	543,5	15,6	461,5	16,0	413,5	18,0
08	519,5	13,2	489,0	15,2	468,5	14,0
09	547,5	15,6	458,0	18,0	469,5	13,2
10	511,0	16,8	550,5 *	13,2 *	423,0	19,2
11	512,5	14,0	468,5	15,2	445,5	16,4
12	492,5	14,4	454,5	16,4	417,5	19,2
13	512,5	14,0	402,0	19,2	462,5	16,0
14	473,5	16,0	435,5	17,2	430,5	17,6
15	538,5	12,8	429,5	18,8	422,5	18,0
16	468,0	16,4	497,5	15,6	469,5	15,6
17	521,5	14,8	519,5	14,0	452,0	16,0
18	460,2	16,8	491,5	14,4	443,5	16,8
19	507,5	16,4	479,5	15,2	433,5	14,8
20	470,5	17,6	467,5	15,2	443,5	16,8
21	513,0	15,2	465,0	14,8	407,5	18,4
22	541,5	14,4	477,5	14,8	463,0	16,0
23	479,5	17,6	431,5	17,2	449,5	14,8
24	545,5	14,0	486,0	14,4	488,0	15,6
25	504,0	16,0	461,5	16,8	406,5	17,6
26	480,0	17,2	417,5	19,2	428,0	19,2
27	503,0	16,8	478,5	16,4	406,5	18,4
28	524,5	16,0	521,5	13,97	467,5	16,0
29	543,5	13,6	468,5	15,2	431,5	15,2
30	597,0 *	10,0 *	512,5	14,8	376,5	21,6
31	503,0	15,6	461,5	15,2	432,5	17,2
32	527,5	14,4	451,0	15,2	449,5	15,2
33	462,5	16,8	492,0	16,0	427,0	17,6
34	490,5	15,2	462,5	15,6	399,5	16,8
35	533,5	11,2	463,5	16,8	459,0	14,8
36	482,5	16,0	491,5	14,0	411,5	16,4
37	490,0	15,6	448,0	17,6	470,5	14,0
38	473,5	16,0	471,5	16,0	462,5	14,0
39	531,5	11,6	461,5	16,4	373,5	18,8
40	480,5	15,2	476,5	16,0	406,5	17,6
41	510,0	14,0	466,5	16,8	387,5	20,0
42	527,5	12,8	494,5	17,6	408,5	18,4
43	535,0	13,2	434,0 *	21,6 *	413,5	15,2
44	472,5	16,8	427,5 *	22,4 *	449,5	15,2
45	484,0	17,6	484,0	18,4	461,5	14,4
46	550,5	15,2	454,5	18,0	384,5	18,4
47	524,5	16,8	453,5	19,2	411,5	18,0
48	562,8	16,8	458,0	18,8	444,5	16,4
49	513,0	16,8	473,5	15,6	430,5	16,8
50	540,5	15,2	457,0	16,0	452,5	14,4

Valeurs des essais de la série 2

Tabl.I.2

N	Torg. T21 t/50 cm	Tex Tf21 g/mm	Torg. T22 t/50 cm	Tex Tf22 g/mm	Torg. T23 t/50 cm	Tex Tf23 g/mm
01	372,5	36,2	320,5	36,0	291,5	36,0
02	389,5	34,4	348,0	33,2	302,5	38,4
03	410,5	31,6	354,5	32,4	337,5	31,6
04	383,5	33,6	335,5	35,2	332,0	32,8
05	357,5	36,8	366,0	31,2	308,5	35,2
06	391,5	34,0	339,0	33,6	295,0	37,6
07	384,5	32,6	366,5	29,6	322,5	32,8
08	365,5	33,2	310,5	37,6	312,5	34,0
09	374,0	34,0	353,0	32,0	292,5	36,0
10	342,5	36,2	319,5	35,2	322,0	32,0
11	405,0	31,2	346,5	34,4	304,5	35,2
12	353,0	33,2	340,0	36,8	323,5	32,0
13	378,5	32,0	327,5	37,6	331,5	31,2
14	335,5	37,6	317,5	40,4	318,5	34,0
15	375,5	33,6	354,0	32,4	272,5*	44,0 *
16	352,0	35,2	355,0	31,4	342,5	33,6
17	354,0	33,2	334,5	32,0	318,0	32,0
18	374,5	34,4	365,5	31,2	301,0	36,0
19	367,5	36,8	325,5	36,8	310,0	34,0
20	360,5	35,2	334,5	34,4	312,5	33,2
21	380,5	36,8	342,5	34,8	309,5	34,4
22	370,5	37,2	352,0	32,4	311,0	36,0
23	390,5	35,2	329,5	35,6	302,5	35,2
24	359,0	41,6	347,0	31,6	325,0	32,4
25	405,0	37,6	320,5	34,8	320,5	31,2
26	405,5	36,8	358,0	30,4	295,0	37,6
27	375,5	39,6	343,5	32,4	334,5	32,0
28	381,5	39,2	331,5	34,4	315,5	32,8
29	355,0	39,6	336,5	33,6	316,5	32,8
30	359,5	40,0	334,5	33,2	315,5	32,8
31	353,0	34,8	353,0	32,0	331,5	31,2
32	366,5	35,2	348,0	32,8	306,0	34,0
33	360,5	35,2	340,5	32,8	316,5	32,4
34	371,5	32,6	354,5	31,2	318,5	32,4
35	386,5	32,6	343,5	30,4	296,0	34,4
36	356,5	34,8	328,5	35,6	333,5	30,0
37	365,0	33,2	323,5	37,6	312,5	31,6
38	374,5 *	31,4 *	364,5	33,2	305,5	34,4
39	329,5	38,0	353,5	34,0	311,5	32,8
40	374,5	34,4	357,0	34,8	312,5	30,8
41	365,5	34,0	363,5	30,8	326,0	33,2
42	384,5	32,6	326,5	34,4	331,5	30,4
43	359,0	37,6	339,0	30,8	319,5	32,8
44	410,5	32,4	329,5	31,6	338,0	32,0
45	363,5	36,8	315,5	32,4	331,5	30,4
46	361,5	38,0	367,0	28,0	315,5	33,6
47	393,0	34,8	347,0	33,6	314,5	36,8
48	381,5	36,0	313,5	37,2	314,5	34,0
49	393,5	35,2	333,0	36,4	334,5	32,0
50	375,5	36,2	357,0	32,4	288,0	36,4

Valeurs des essais de la série 3

Tabl.I.3

N	Tors. T31 t/50 cm	Tex Tf31 g/mm	Tors. T32 t/50 cm	Tex Tf32 g/mm	Tors. T33 t/50 cm	Tex Tf33 g/mm
01	348,5	52,4	317,0	50,4	254,0	54,0
02	332,5	51,6	292,0	56,0	265,0	54,4
03	361,5	54,0	315,0	54,4	258,0	56,0
04	359,0	58,0	308,5	48,0	262,0	59,4
05	350,0	60,0	310,0	54,4	271,0	52,0
06	359,0	54,4	317,0	48,8	272,5	50,8
07	342,5	53,6	313,5	49,6	271,5	50,0
08	373,5	49,0	297,0	54,0	255,0	56,0
09	352,0	54,0	300,5	54,0	282,0	48,8
10	370,0	52,0	307,0	50,0	273,0	47,6
11	330,0	51,2	287,0	52,0	250,0	56,0
12	330,5	54,4	298,0	50,0	256,0	56,0
13	353,0	54,0	307,0	50,0	250,0	57,2
14	317,0	61,2	282,5	54,8	258,5	54,0
15	356,5	59,2	313,5	48,8	286,0	44,8
16	339,0	63,2	302,0	52,0	255,0	52,0
17	385,0	50,0	306,5	52,0	265,0	51,2
18	360,0	51,2	298,0	55,2	262,5	52,0
19	349,0	56,8	299,0	53,2	260,0	51,2
20	338,5	59,2	291,0	57,2	268,0	50,0
21	370,0	50,0	321,0	48,0	269,5	50,4
22	333,5	57,6	307,5	50,4	265,0	50,4
23	347,0	51,6	280,5	59,0	253,0	55,2
24	310,5	59,6	287,0	56,0	267,5	51,2
25	362,0	54,4	308,0	53,6	289,0	43,8
26	340,0	56,0	298,5	54,4	260,0	50,4
27	328,5	56,0	284,5	56,8	263,0	48,0
28	340,5	49,6	319,5	49,2	267,5	50,0
29	368,0	53,2	306,5	50,4	288,5	45,2
30	338,0	52,8	312,0	47,2	264,0	49,6
31	340,0	50,4	288,5	56,8	266,0	50,4
32	348,5	54,4	306,5	49,2	254,0	53,6
33	317,5	57,6	286,5	51,2	268,0	52,4
34	366,5	50,4	317,5	50,4	248,0	55,2
35	325,0	58,8	282,0	53,6	269,0	49,6
36	337,5	60,8	302,0	51,2	270,0	47,2
37	352,0	58,4	295,0	52,0	248,5	54,8
38	334,5	58,0	298,0	50,0	258,0	52,0
39	358,0	50,8	305,0	52,0	276,0	47,6
40	350,0	56,8	318,0	48,0	234,0	57,6
41	352,5	55,6	288,5	54,0	259,0	50,4
42	342,0	56,8	308,0	52,0	274,0	47,2
43	330,5	56,4	313,5	51,2	239,5	56,4
44	359,5	52,0	285,0	56,8	249,5	56,0
45	326,5	59,2	292,5	51,2	276,0	48,0
46	337,5	55,2	306,5	50,0	245,0	52,0
47	337,5	50,0	299,0	52,4	250,0	52,4
48	345,0	53,6	276,5 *	62,4 *	261,0	49,2
49	334,5	52,4	269,0 *	62,4 *	297,0 *	43,2 *
50	354,5 *	36,8 *	259,0 *	64,0 *	262,0 *	62,0 *

VALEURS BRUTES DE LA RESISTANCE ET DE L'ALLONGEMENT A LA RUPTURE

Valeurs des essais de la série 1

Tabl.I.4

N	Résil. R11 N	All. E11 mm	Résil. R12 N	All. E12 mm	Résil. R13 N	All. E13 mm
01	1,67	4,352	1,50	4,518	1,00	3,659
02	1,64	4,643	1,31	4,166	1,00	4,026
03	1,57	4,249	1,79	4,832	1,34	4,596
04	1,67	4,482	1,32	4,041	1,34	4,875
05	1,70	4,441	1,40	4,144	1,21	4,033
06	1,54	4,116	1,37	3,820	1,39	5,040
07	1,73	4,148	1,25	3,671	1,32	4,305
08	1,31	3,435	1,34	3,833	1,46	4,476
09	1,50	4,040	1,37	4,000	1,50	4,446
10	1,17	3,120	1,43	4,264	0,92	3,480
11	1,35	3,581	1,21	3,670	1,23	3,859
12	1,34	3,946	1,12	3,807	1,34	4,834
13	1,57	4,301	1,48	4,297	1,21	4,560
14	1,18	3,534	0,96	3,239	1,28	4,380
15	1,84	4,231	1,54	4,385	1,09	3,409
16	1,43	4,021	1,42	3,555	1,46	4,943
17	1,40	3,481	1,06	3,044	1,26	4,369
18	1,40	3,722	1,37	4,108	1,26	4,365
19	1,50	3,997	1,32	4,057	1,15	4,329
20	1,42	4,050	1,67	4,391	1,35	4,231
21	1,46	4,157	1,12	3,476	1,29	4,457
22	1,54	4,141	1,37	4,149	1,23	4,189
23	1,14	3,241	1,46	4,379	1,28	4,449
24	1,53	4,195	1,50	4,544	1,56	4,450
25	1,87	4,715	1,28	4,073	1,14	4,103
26	1,42	3,859	1,32	3,391	1,09	3,993
27	1,56	4,047	1,42	4,036	1,54	4,900
28	1,35	3,378	1,42	3,740	1,40	4,329
29	2,07	4,732	1,17	3,881	1,26	4,591
30	1,60	3,690	1,46	4,261	1,25	4,433
31	1,73	4,127	1,37	4,468	1,31	4,796
32	1,31	3,791	1,35	4,578	1,04	4,128
33	1,43	3,976	1,43	4,471	1,14	4,280
34	1,53	3,985	1,12	3,762	1,40	4,558
35	1,35	4,178	1,17	4,283	1,40	4,565
36	1,39	3,748	1,28	4,357	1,34	4,656
37	1,42	4,098	1,72	4,673	1,25	4,650
38	1,37	3,683	1,10	3,290	1,28	4,554
39	1,03	2,794	1,87	4,764	1,51	4,258
40	1,15	3,153	1,72	4,557	1,15	3,662
41	1,40	3,761	1,53	4,497	1,43	4,720
42	1,23	3,491	1,46	4,369	1,29	4,585
43	1,46	4,025	1,60	4,378	1,25	4,090
44	1,71	4,382	1,18	3,867	1,51	4,887
45	1,43	4,227	1,29	3,751	1,50	5,002
46	1,71	4,317	1,21	3,667	1,51	5,132
47	1,51	4,140	1,79	4,467	1,68	5,311
48	1,76	4,172	1,59	4,235	1,42	4,956
49	1,82	4,066	1,78	4,888	1,34	4,240
50	1,96	4,294	1,23	3,899	1,03	3,895

Valeurs des essais de la série 2

Tabl.I.5

N	Résil. R21 N	All. E21 mm	Résil. R22 N	All. E22 mm	Résil. R23 N	All. E23 mm
01	4,46	6,930	3,84	6,878	2,89	5,460
02	4,29	6,990	4,04	6,755	3,71	6,711
03	3,57	6,110	3,37	6,112	3,32	6,119
04	4,51	7,105	3,79	6,701	3,23	6,053
05	3,75	5,972	4,12	6,510	2,78	5,267
06	3,28	4,957	3,46	5,714	3,78	6,197
07	4,14	6,061	4,06	6,645	3,57	5,669
08	3,54	5,738	3,62	6,571	2,95	5,952
09	4,31	6,595	3,48	6,040	2,98	5,622
10	3,96	6,257	3,53	6,080	3,37	5,730
11	3,73	5,798	4,06	7,204	3,20	5,823
12	4,12	6,659	3,65	6,578	3,51	6,146
13	4,15	6,377	3,81	6,747	3,32	6,127
14	4,37	6,740	3,84	6,523	3,17	6,001
15	4,10	6,400	4,48	7,320	3,60	6,681
16	4,06	6,546	3,89	6,180	3,51	5,785
17	3,78	5,816	4,03	6,464	3,10	5,563
18	3,89	5,875	4,01	6,272	3,75	6,031
19	3,87	5,823	4,01	6,342	4,12	6,372
20	4,29	6,114	4,17	6,654	3,60	6,171
21	3,98	6,320	4,21	6,845	3,18	5,776
22	4,51	6,746	4,00	6,954	3,42	5,970
23	4,15	6,586	4,18	6,705	3,06	5,479
24	4,38	6,882	4,56	7,333	3,39	5,974
25	4,14	6,662	3,92	6,940	2,81	5,860
26	4,62	7,008	3,89	6,601	3,32	6,093
27	4,46	6,516	4,06	6,255	3,43	6,370
28	4,48	6,030	4,03	6,402	3,26	5,728
29	3,60	5,519	4,28	6,711	3,60	6,042
30	3,78	6,120	4,03	6,671	3,29	5,558
31	4,57	6,905	4,23	7,077	2,92	5,460
32	4,23	6,770	3,76	6,984	3,32	5,964
33	4,15	6,634	4,57	7,900	3,37	6,053
34	4,39	6,863	4,39	7,276	3,23	5,888
35	3,90	6,791	4,03	7,074	3,53	6,467
36	3,90	6,474	3,67	5,735	3,75	6,534
37	4,01	6,476	3,95	6,357	3,59	6,208
38	3,79	6,276	4,39	6,843	3,85	6,348
39	4,32	6,813	3,37	6,280	3,56	6,580
40	4,10	6,146	4,23	7,393	3,67	6,059
41	3,37	5,133	4,14	7,318	3,79	6,839
42	3,23	5,610	4,06	6,737	4,07	6,415
43	3,56	5,757	4,31	6,568	3,07	5,554
44	4,56	6,438	3,95	6,440	3,09	5,826
45	4,00	6,636	3,92	6,259	2,85	5,333
46	4,48	6,955	3,79	6,455	3,00	5,371
47	4,34	6,912	4,42	6,864	3,21	6,041
48	3,73	6,458	3,31	5,698	3,39	6,035
49	4,35	6,817	3,70	6,108	3,06	5,911
50	4,15	6,742	3,87	6,097	3,51	6,460

Valeurs des essais de la série 3

Tabl.I.6

N	Rési. R31 N	All. E31 mm	Rési. R32 N	All. E32 mm	Rési. R33 N	All. E33 mm
01	5,89	6,588	6,12	7,594	6,15	6,944
02	6,08	6,575	5,71	7,205	4,92	6,133
03	6,59	7,273	5,76	6,620	5,84	6,967
04	7,32	7,700	5,82	7,025	5,50	6,829
05	5,95	6,739	5,51	6,718	5,43	7,058
06	5,96	6,670	5,90	7,093	5,68	7,114
07	6,39	7,433	5,82	7,213	5,29	6,539
08	7,10	7,809	5,60	7,242	4,98	6,368
09	6,70	7,408	5,65	7,401	5,76	7,248
10	6,73	7,960	5,76	7,340	5,18	6,212
11	5,45	6,068	5,60	7,539	5,78	6,945
12	5,90	6,422	6,20	7,352	5,53	6,894
13	6,17	7,518	5,29	6,559	5,68	6,859
14	6,08	6,831	5,31	6,319	5,39	7,151
15	6,96	7,601	5,39	6,925	5,60	7,180
16	6,14	7,007	5,43	6,612	5,23	6,943
17	7,31	7,667	6,07	7,144	5,34	6,851
18	6,03	7,095	5,43	7,307	6,31	7,359
19	6,03	7,226	6,28	7,382	5,42	6,709
20	6,82	7,820	5,82	7,348	5,37	6,881
21	6,50	7,408	5,64	7,390	5,20	6,539
22	6,95	7,366	5,79	7,123	5,75	6,809
23	6,96	7,011	5,62	6,527	4,89	6,563
24	7,09	7,630	5,98	7,434	5,54	7,026
25	6,60	7,250	5,42	6,800	5,31	6,500
26	6,59	7,465	6,17	7,360	5,67	6,711
27	6,04	7,135	6,01	7,265	4,98	6,838
28	7,20	7,979	4,87	6,970	5,39	6,793
29	6,17	7,280	5,82	7,400	5,43	6,894
30	6,18	7,255	6,15	7,551	5,56	6,822
31	6,81	7,054	4,87	6,803	5,04	6,725
32	6,59	6,941	5,64	7,631	5,26	6,403
33	5,71	6,721	5,12	6,912	4,92	6,138
34	6,84	7,622	5,59	6,940	5,20	6,438
35	6,59	7,506	5,50	6,848	5,21	7,000
36	6,09	7,176	5,95	7,350	6,04	7,126
37	6,43	7,348	5,01	6,590	4,76	6,772
38	6,39	6,693	6,28	7,722	5,15	6,522
39	6,90	7,311	5,54	7,400	4,71	6,992
40	6,82	7,404	6,03	7,790	5,64	7,572
41	6,64	7,334	6,00	7,447	5,73	7,297
42	6,82	7,580	5,46	6,987	5,03	6,517
43	6,62	7,613	6,62	8,076	4,92	6,125
44	6,95	7,876	5,26	6,451	4,81	6,088
45	6,71	7,171	6,01	7,566	4,73	6,000
46	5,87	6,985	5,28	6,423	5,12	6,569
47	6,18	7,241	6,07	7,525	4,89	6,594
48	6,35	7,289	6,64	7,832	5,60	6,843
49	7,01	7,987	6,20	7,586	5,26	6,845
50	6,21	7,533	6,21	7,629	5,56	6,711

* Valeurs aberrantes, non considérées dans les calculs.

ANNEXE II

RESULTATS DE CALCUL DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE

Résultats de la torsion T₁₁

Tabl.II.1

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[460,2 - 477,3 [	468,75	8	- 3	- 24	72
2	[477,3 - 494,4 [	485,85	8	- 2	- 16	32
3	[494,4 - 511,5 [	502,95	8	- 1	- 8	8
4	[511,5 - 528,6 [	520,05	12	0	0	0
5	[528,6 - 545,7 [	537,15	9	1	9	9
6	[545,7 - 562,8]	554,25	4	2	8	16
Σ			49	—	- 31	137

La moyenne fictive est $Y_o = 520,05$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 509,23$;
 l'écart-type est $D_t = 26,47$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,20$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 7,41$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 5,24$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,46$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 501,82$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 516,64$.

Résultats de la torsion T₁₂

Tabl.II.2

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[400,95- 421,05 [	411,0	3	- 3	- 9	27
2	[421,05- 441,15 [	431,1	3	- 2	- 6	12
3	[441,15- 461,25 [	451,2	10	- 1	- 10	10
4	[461,25- 481,35 [	471,3	19	0	0	0
5	[481,35- 501,45 [	491,4	8	1	8	8
6	[501,45- 521,55]	511,5	4	2	8	16
Σ			47	—	- 9	73

La moyenne fictive est $Y_o = 471,30$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 467,45$;
 l'écart-type est $D_t = 24,75$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,29$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 7,08$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 5$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,51$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 460,37$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 474,53$.

Résultats de la torsion T13

Tabl.II.3

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[373,45- 392,55[	383	5	- 3	- 15	45
2	[392,55- 411,65[	402,1	8	- 2	- 16	32
3	[411,65- 430,75[	421,2	9	- 1	- 9	9
4	[430,75- 449,85[	440,3	13	0	0	0
5	[449,85- 468,95[	459,4	11	1	11	11
6	[468,95- 488,05]	478,5	4	2	8	16
Σ			50	—	- 21	113

La moyenne fictive est $Y_o = 440,30$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 432,28$;
 l'écart-type est $D_t = 27,57$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,38$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 7,88$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 5,4$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,82$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 424,40$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 440,16$.

Résultats de la torsion T21

Tabl.II.4

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[329,2 - 342,8 [	336,0	3	- 3	- 9	27
2	[342,8 - 356,4 [	349,6	5	- 2	- 10	20
3	[356,4 - 370,0 [	363,2	14	- 1	- 14	14
4	[370,0 - 383,6 [	376,8	15	0	0	0
5	[383,6 - 397,2 [	390,4	8	1	8	8
6	[397,2 - 410,8]	404,0	5	2	10	20
Σ			50	—	- 15	89

La moyenne fictive est $Y_o = 376,80$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 372,72$;
 l'écart-type est $D_t = 17,68$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 4,74$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 4,90$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 3,47$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,31$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 367,82$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 377,62$.

Résultats de la torsion T22

Tabl.II.5

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[310,25- 319,75[	315,0	5	- 3	- 15	45
2	[319,75- 329,25[	324,5	7	- 2	- 14	28
3	[329,25- 338,75[	334,0	9	- 1	- 9	9
4	[338,75- 348,25[	343,5	12	0	0	0
5	[348,25- 357,75[	353,0	10	1	10	10
6	[357,75- 367,25]	362,5	7	2	14	28
Σ			50	—	- 14	120

La moyenne fictive est $Y_o = 343,50$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 340,84$;
 l'écart-type est $D_t = 14,47$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 4,25$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 4,01$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 2,84$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,18$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 336,83$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 344,85$.

Résultats de la torsion T23

Tabl.II.6

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[287,95- 297,05[	292,5	6	- 3	- 18	54
2	[297,05- 306,15[	301,6	6	- 2	- 12	24
3	[306,15- 315,25[	310,7	11	- 1	- 11	11
4	[315,25- 324,35[	319,8	13	0	0	0
5	[324,35- 333,45[	328,9	7	1	7	7
6	[333,45- 342,55]	338,0	6	2	12	24
Σ			49	—	- 22	120

La moyenne fictive est $Y_o = 319,80$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 315,71$;
 l'écart-type est $D_t = 13,64$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 4,32$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 3,82$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 2,70$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,21$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 311,89$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 319,53$.

Résultats de la torsion T31

Tabl.II.7

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[310,25- 322,75[	316,5	3	- 3	- 9	27
2	[322,75- 335,25[	329,0	10	- 2	- 20	40
3	[335,25- 347,75[	341,5	13	- 1	- 13	13
4	[347,75- 360,25[	354,0	15	0	0	0
5	[360,25- 372,75[	366,5	6	1	6	6
6	[372,75- 385,25]	379,0	2	2	4	8
Σ			49	—	- 32	94

La moyenne fictive est $Y_o = 354,0$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 345,84$;
 l'écart-type est $D_t = 15,27$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 4,42$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 4,28$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 3,02$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,24$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 341,56$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 350,12$.

Résultats de la torsion T32

Tabl.II.8

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[280,05- 286,95[	283,5	6	- 3	- 18	54
2	[286,95- 293,85[	290,4	7	- 2	- 14	28
3	[293,85- 300,75[	297,3	9	- 1	- 9	9
4	[300,75- 307,65[	304,2	10	0	0	0
5	[307,65- 314,55[	311,1	8	1	8	8
6	[314,55- 321,45]	318,0	7	2	14	28
Σ			47	—	- 19	127

La moyenne fictive est $Y_o = 304,20$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 301,41$;
 l'écart-type est $D_t = 10,99$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 3,65$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 3,14$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 2,22$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,04$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 298,27$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 304,55$.

Résultats de la torsion T33

Tabl.II.9

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[233,6 - 242,9 [	238,25	2	- 3	- 6	18
2	[242,9 - 252,2 [	247,55	7	- 2	- 14	28
3	[252,2 - 261,5 [	256,85	13	- 1	- 13	13
4	[261,5 - 270,8 [	266,15	15	0	0	0
5	[270,8 - 280,1 [	275,45	7	1	7	7
6	[280,1 - 289,4]	284,75	4	2	8	16
Σ			48	—	- 18	82

La moyenne fictive est $Y_o = 266,15$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 262,66$;
 l'écart-type est $D_t = 11,64$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 4,43$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 3,29$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 2,33$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,25$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 259,37$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 265,95$.

Résultats de la masse linéique Tr11

Tabl.II.10

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[11,18 - 12,32 [	11,75	2	- 4	- 8	32
2	[12,32 - 13,46 [	12,89	4	- 3	- 12	36
3	[13,46 - 14,60 [	14,03	8	- 2	- 16	32
4	[14,60 - 15,74 [	15,17	11	- 1	- 11	11
5	[15,74 - 16,88 [	16,31	17	0	0	0
6	[16,88 - 18,02]	17,45	7	1	7	7
Σ			49	—	- 40	118

La moyenne fictive est $X_o = 16,31$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 15,38$;
 l'écart-type est $D_t = 1,50$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 9,75$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,42$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,30$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,73$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 14,96$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 15,80$.

Résultats de la masse linéique Tr12

Tabl.II.11

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[13,97 - 14,98 [	14,475	9	- 2	- 18	36
2	[14,98 - 15,99 [	15,485	11	- 1	- 11	11
3	[15,99 - 17,00 [	16,495	13	0	0	0
4	[17,00 - 18,01 [	17,505	6	1	6	6
5	[18,01 - 19,02 [	18,515	4	2	8	16
6	[19,02 - 20,03]	19,525	4	3	12	36
Σ			47	—	- 3	105

La moyenne fictive est $X_o = 16,495$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 16,43$;
 l'écart-type est $D_t = 1,51$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 9,19$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,43$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,31$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,62$.

 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 16,00$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 16,86$.

Résultats de la masse linéique Tr13

Tabl.II.12

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[13,17 - 14,58 [	13,875	8	- 2	- 16	32
2	[14,58 - 15,99 [	15,285	11	- 1	- 11	11
3	[15,99 - 17,40 [	16,695	13	0	0	0
4	[17,40 - 18,81 [	18,105	12	1	12	12
5	[18,81 - 20,22 [	19,515	5	2	10	20
6	[20,22 - 21,63]	20,925	1	3	3	3
Σ			50	—	- 2	84

La moyenne fictive est $X_o = 16,695$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 16,64$;
 l'écart-type est $D_t = 1,83$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 11,00$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,51$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,36$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 3,06$.

 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 16,13$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 17,15$.

Résultats de la masse linéique Tr21

Tabl.II.13

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[31,15 - 32,90 [	32,025	9	- 2	- 18	36
2	[32,90 - 34,65 [	33,775	12	- 1	- 12	12
3	[34,65 - 36,40 [	35,525	13	0	0	0
4	[36,40 - 38,15 [	37,275	11	1	11	11
5	[38,15 - 39,90 [	39,025	3	2	6	12
6	[39,90 - 41,65]	40,775	2	3	6	18
Σ			50	—	- 7	89

La moyenne fictive est $X_0 = 35,525$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 35,28$;
 l'écart-type est $D_t = 2,32$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,58$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,64$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,45$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,81$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 34,64$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 35,92$.

Résultats de la masse linéique Tr22

Tabl.II.14

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[27,84 - 29,96 [	28,90	2	- 2	- 4	8
2	[29,96 - 32,08 [	31,02	13	- 1	- 13	13
3	[32,08 - 34,20 [	33,14	15	0	0	0
4	[34,20 - 36,32 [	35,26	12	1	12	12
5	[36,32 - 38,44 [	37,38	7	2	14	28
6	[38,44 - 40,56]	39,50	1	3	3	9
Σ			50	—	12	70

La moyenne fictive est $X_0 = 33,14$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 33,65$;
 l'écart-type est $D_t = 2,46$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 7,31$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,68$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,48$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,02$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 32,97$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 34,33$.

Résultats de la masse linéique T_{f23}

Tabl.II.15

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[29,94 - 31,36 [	30,65	7	- 2	- 14	28
2	[31,36 - 32,78 [	32,07	11	- 1	- 11	11
3	[32,78 - 34,20 [	33,49	16	0	0	0
4	[34,20 - 35,62 [	34,91	6	1	6	6
5	[35,62 - 37,04 [	36,33	6	2	12	24
6	[37,04 - 38,46]	37,75	3	3	9	27
Σ			49	—	2	96

La moyenne fictive est $X_0 = 33,49$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 33,55$;
 l'écart-type est $D_t = 1,99$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,93$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,56$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,39$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,67$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 32,99$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 34,11$.

Résultats de la masse linéique T_{f31}

Tabl.II.16

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[49,00 - 51,40 [	50,20	10	- 2	- 20	40
2	[51,40 - 53,80 [	52,60	10	- 1	- 10	10
3	[53,80 - 56,20 [	55,00	11	0	0	0
4	[56,20 - 58,60 [	57,40	9	1	9	9
5	[58,60 - 61,00 [	59,80	7	2	14	28
6	[61,00 - 63,40]	62,20	2	3	6	18
Σ			49	—	- 1	105

La moyenne fictive est $X_0 = 55,00$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 54,95$;
 l'écart-type est $D_t = 3,51$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,39$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,98$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,69$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,78$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 53,97$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 55,93$.

Résultats de la masse linéique Tr32

Tabl.II.17

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[47 - 49 [	48	6	- 1	- 6	6
2	[49 - 51 [	50	12	0	0	0
3	[51 - 53 [	52	11	1	11	11
4	[53 - 55 [	54	10	2	20	40
5	[55 - 57 [	56	6	3	18	54
6	[57 - 59]	58	2	4	8	32
Σ			47	—	51	143

La moyenne fictive est $X_0 = 50,00$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 52,17$;
 l'écart-type est $D_t = 2,73$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,23$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,78$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,55$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,50$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 51,39$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 52,95$.

Résultats de la masse linéique Tr33

Tabl.II.18

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[43,80 - 46,40 [	45,10	3	- 2	- 6	12
2	[46,40 - 49,00 [	47,70	7	- 1	- 7	7
3	[49,00 - 51,60 [	50,30	15	0	0	0
4	[51,60 - 54,20 [	52,90	10	1	10	10
5	[54,20 - 56,80 [	55,50	10	2	20	40
6	[56,80 - 59,40]	58,10	3	3	9	27
Σ			48	—	26	96

La moyenne fictive est $X_0 = 50,30$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 51,71$;
 l'écart-type est $D_t = 3,40$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,58$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,96$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,68$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,86$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 50,75$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 52,67$.

ANNEXE III

**RESULTATS DE CALCUL DE LA RESISTANCE ET DE
L'ALLONGEMENT A LA RUPTURE.**

Résultats de la résistance à la rupture R_{11}

Tabl.III.1

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[1,028 - 1,202 [	1,115	5	- 2	- 10	20
2	[1,202 - 1,376 [	1,289	8	- 1	- 8	8
3	[1,376 - 1,550 [	1,463	19	0	0	0
4	[1,550 - 1,724 [	1,637	10	1	10	10
5	[1,724 - 1,898 [	1,811	6	2	12	24
6	[1,898 - 2,072]	1,985	2	3	6	18
Σ			50	—	10	80

La moyenne fictive est $X_o = 1,463$;
 - la moyenne arithmétique est $X_m = 1,500$;
 l'écart-type est $D_t = 0,22$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 14,67$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,06$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,04$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 4,0$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 1,44$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 1,56$.

Résultats de l'allongement à la rupture E_{11}

Tabl.III.2

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[2,794 - 3,117 [	2,9555	1	- 4	- 4	16
2	[3,117 - 3,440 [	3,2785	5	- 3	- 15	45
3	[3,440 - 3,763 [	3,6015	9	- 2	- 18	36
4	[3,763 - 4,086 [	3,9245	12	- 1	- 12	12
5	[4,086 - 4,409 [	4,2475	18	0	0	0
6	[4,409 - 4,732]	4,5705	5	1	5	5
Σ			50	—	- 44	114

La moyenne fictive est $Y_o = 4,2475$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 3,96$;
 l'écart-type est $D_t = 0,40$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 10,10$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,11$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,78$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 3,85$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 4,07$.

Le coefficient de corrélation entre R_{11} et E_{11} est $C = 0,832$.

Résultats de la résistance à la rupture R₁₂

Tabl.III.3

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[0,956 - 1,109 [	1,0325	3	- 2	- 6	12
2	[1,109 - 1,262 [	1,1855	10	- 1	- 10	10
3	[1,262 - 1,415 [	1,3385	15	0	0	0
4	[1,415 - 1,568 [	1,4915	13	1	13	13
5	[1,568 - 1,721 [	1,6445	5	2	10	20
6	[1,721 - 1,874]	1,7975	4	3	12	36
Σ			50	—	19	91

La moyenne fictive est $X_o = 1,3385$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 1,400$;
 l'écart-type est $D_t = 0,20$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 14,29$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,06$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,04$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 4,29$.

 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 1,34$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 1,46$.

Résultats de l'allongement à la rupture E₁₂

Tabl.III.4

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[3,0405- 3,3485[	3,1945	3	- 4	- 12	48
2	[3,3485- 3,6565[	3,5025	3	- 3	- 9	27
3	[3,6565- 3,9645[	3,8105	12	- 2	- 24	48
4	[3,9645- 4,2725[	4,1185	12	- 1	- 12	12
5	[4,2725- 4,5805[	4,4265	16	0	0	0
6	[4,5805- 4,8885]	4,7345	4	1	4	4
Σ			50	—	- 53	139

La moyenne fictive est $Y_o = 4,4265$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 4,10$;
 l'écart-type est $D_t = 0,40$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 9,76$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,11$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,68$.

 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 3,99$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 4,21$.

Le coefficient de corrélation entre R₁₂ et E₁₂ est $C = 0,805$.

Résultats de la résistance à la rupture R13

Tabl.III.5

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[0,916 - 1,044 [	0,980	5	- 2	- 10	20
2	[1,044 - 1,172 [	1,108	6	- 1	- 6	6
3	[1,172 - 1,300 [	1,236	15	0	0	0
4	[1,300 - 1,428 [	1,364	13	1	13	13
5	[1,428 - 1,556 [	1,492	9	2	18	36
6	[1,556 - 1,684]	1,620	2	3	6	18
Σ			50	—	21	93

La moyenne fictive est
la moyenne arithmétique est
l'écart-type est
le coefficient de variation est
l'erreur absolue de la moyenne est
l'erreur absolue de l'écart-type est
l'erreur relative de la moyenne est

$X_o = 1,236$;
 $X_m = 1,290$;
 $D_t = 0,17$;
 $C_v\% = 13,18$;
 $E_m = 0,05$;
 $E_d = 0,03$;
 $E_r\% = 3,88$.

La moyenne de la population est M_p :
- la borne inférieure est
- la borne supérieure est

$M_{pi} = 1,24$;
 $M_{ps} = 1,34$.

Résultats de l'allongement à la rupture E13

Tabl.III.6

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[3,409 - 3,726 [	3,5675	4	- 3	- 12	36
2	[3,726 - 4,043 [	3,8845	5	- 2	- 10	20
3	[4,043 - 4,360 [	4,2015	11	- 1	- 11	11
4	[4,360 - 4,677 [	4,5185	18	0	0	0
5	[4,677 - 4,994 [	4,8355	8	1	8	8
6	[4,994 - 5,311]	5,1525	4	2	8	16
Σ			50	—	- 17	91

La moyenne fictive est
la moyenne arithmétique est
l'écart-type est
le coefficient de variation est
l'erreur absolue de la moyenne est
l'erreur absolue de l'écart-type est
l'erreur relative de la moyenne est

$Y_o = 4,5185$;
 $Y_m = 4,41$;
 $D_t = 0,41$;
 $C_v\% = 9,30$;
 $E_m = 0,11$;
 $E_d = 0,08$;
 $E_r\% = 2,49$.

La moyenne de la population est M_p :
- la borne inférieure est
- la borne supérieure est

$M_{pi} = 4,30$;
 $M_{ps} = 4,52$.

Le coefficient de corrélation entre R13 et E13 est $C = 0,779$.

Résultats de la résistance à la rupture R21

Tabl.III.7

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[3,226 - 3,459 [	3,3425	3	- 3	- 9	27
2	[3,459 - 3,692 [	3,5755	4	- 2	- 8	16
3	[3,692 - 3,925 [	3,8085	10	- 1	- 10	10
4	[3,925 - 4,158 [	4,0415	14	0	0	0
5	[4,158 - 4,391 [	4,2745	10	1	10	10
6	[4,391 - 4,624]	4,5075	9	2	18	36
Σ			50	—	1	99

La moyenne fictive est $X_o = 4,0415$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 4,05$;
 l'écart-type est $D_t = 0,33$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 8,15$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,09$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,06$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,22$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 3,96$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 4,14$.

Résultats de l'allongement à la rupture E21

Tabl.III.8

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[4,9575- 5,3155[	5,1365	2	- 4	- 8	32
2	[5,3155- 5,6735[	5,4945	2	- 3	- 6	18
3	[5,6735- 6,0315[	5,8525	8	- 2	- 16	32
4	[6,0315- 6,3895[	6,2105	9	- 1	- 9	9
5	[6,3895- 6,7475[	6,5685	16	0	0	0
6	[6,7475- 7,1055]	6,9265	13	1	13	13
Σ			50	—	- 26	104

La moyenne fictive est $Y_o = 6,5685$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 6,38$;
 l'écart-type est $D_t = 0,48$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 7,52$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,13$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,09$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,04$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 6,25$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 6,51$.

Le coefficient de corrélation entre R21 et E21 est $C = 0,819$.

Résultats de la résistance à la rupture R₂₂

Tabl.III.9

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[3,307 - 3,518 [	3,4125	5	- 3	- 15	45
2	[3,518 - 3,729 [	3,6235	5	- 2	- 10	20
3	[3,729 - 3,940 [	3,8345	11	- 1	- 11	11
4	[3,940 - 4,151 [	4,0455	16	0	0	0
5	[4,151 - 4,362 [	4,2565	7	1	7	7
6	[4,362 - 4,573]	4,4675	6	2	12	24
Σ			50	—	- 17	107

La moyenne fictive est $X_o = 4,0455$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 3,97$;
 l'écart-type est $D_t = 0,30$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 7,56$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,08$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,06$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,02$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 3,89$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 4,05$.

Résultats de l'allongement à la rupture E₂₂

Tabl.III.10

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[5,698 - 6,065 [	5,8815	4	- 2	- 8	16
2	[6,065 - 6,432 [	6,2485	12	- 1	- 12	12
3	[6,432 - 6,799 [	6,6155	18	0	0	0
4	[6,799 - 7,166 [	6,9825	9	1	9	9
5	[7,166 - 7,533 [	7,3495	6	2	12	24
6	[7,533 - 7,900]	7,7165	1	3	3	9
Σ			50	—	4	70

La moyenne fictive est $Y_o = 6,6155$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 6,64$;
 l'écart-type est $D_t = 0,43$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,48$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,12$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,81$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 6,52$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 6,76$.
 Le coefficient de corrélation entre R₂₂ et E₂₂ est $C = 0,740$.

Résultats de la résistance à la rupture R23

Tabl.III.11

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[2,778 - 3,002 [	2,890	8	- 2	- 16	32
2	[3,002 - 3,226 [	3,114	9	- 1	- 9	9
3	[3,226 - 3,450 [	3,338	14	0	0	0
4	[3,450 - 3,674 [	3,562	11	1	11	11
5	[3,674 - 3,898 [	3,786	6	2	12	24
6	[3,898 - 4,122]	4,010	2	3	6	18
Σ			50	—	4	94

La moyenne fictive est $X_o = 3,338$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 3,360$;
 l'écart-type est $D_t = 0,31$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 9,23$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,09$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,06$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 2,68$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 3,27$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 3,45$.

Résultats de l'allongement à la rupture E23

Tabl.III.12

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[5,2675- 5,5295[	5,3985	6	- 2	- 12	24
2	[5,5295- 5,7915[	5,6605	9	- 1	- 9	9
3	[5,7915- 6,0535[	5,9225	16	0	0	0
4	[6,0535- 6,3155[	6,1845	8	1	8	8
5	[6,3155- 6,5775[	6,4465	7	2	14	28
6	[6,5775- 6,8395]	6,7085	4	3	12	36
Σ			50	—	13	105

La moyenne fictive est $Y_o = 5,9225$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 5,99$;
 l'écart-type est $D_t = 0,37$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,18$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,10$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,07$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,67$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 5,89$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 6,09$.

Le coefficient de corrélation entre R23 et E23 est $C = 0,763$.

Résultats de la résistance à la rupture R31

Tabl.III.13

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[5,446 - 5,759 [	5,6025	2	- 4	- 8	32
2	[5,759 - 6,072 [	5,9155	8	- 3	- 24	72
3	[6,072 - 6,385 [	6,2285	10	- 2	- 20	40
4	[6,385 - 6,698 [	6,5415	11	- 1	- 11	11
5	[6,698 - 7,011 [	6,8545	14	0	0	0
6	[7,011 - 7,324]	7,1675	5	1	5	5
Σ			50	—	- 58	160

La moyenne fictive est $X_o = 6,8545$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 6,49$;
 l'écart-type est $D_t = 0,43$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,63$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,12$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,85$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 6,37$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 6,61$.

Résultats de l'allongement à la rupture E31

Tabl.III.14

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^0	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[6,0675- 6,3875[	6,2275	1	- 4	- 4	16
2	[6,3875- 6,7075[	6,5475	5	- 3	- 15	45
3	[6,7075- 7,0275[	6,8675	7	- 2	- 14	28
4	[7,0275- 7,3475[	7,1875	14	- 1	- 14	14
5	[7,3475- 7,6675[	7,5075	16	0	0	0
6	[7,6675- 7,9875]	7,8275	7	1	7	7
Σ			50	—	- 40	110

La moyenne fictive est $Y_o = 7,5075$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 7,25$;
 l'écart-type est $D_t = 0,40$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,52$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,11$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,52$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 7,14$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 7,36$.

Le coefficient de corrélation entre R31 et E31 est $C = 0,769$.

Résultats de la résistance à la rupture R32

Tabl.III.15

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^o	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[4,867 - 5,163 [	5,015	4	- 3	- 12	36
2	[5,163 - 5,459 [	5,311	8	- 2	- 16	32
3	[5,459 - 5,755 [	5,607	12	- 1	- 12	12
4	[5,755 - 6,051 [	5,903	14	0	0	0
5	[6,051 - 6,347 [	6,199	10	1	10	10
6	[6,347 - 6,643]	6,495	2	2	4	8
Σ			50	—	- 26	98

La moyenne fictive est $X_o = 5,903$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 5,75$;
 l'écart-type est $D_t = 0,38$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,61$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,11$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,07$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,91$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 5,64$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 5,86$.

Résultats de l'allongement à la rupture E32

Tabl.III.16

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^o	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[6,3185- 6,6115[	6,465	6	- 3	- 18	54
2	[6,6115- 6,9045[	6,758	6	- 2	- 12	24
3	[6,9045- 7,1975[	7,051	9	- 1	- 9	9
4	[7,1975- 7,4905[	7,344	17	0	0	0
5	[7,4905- 7,7835[	7,637	9	1	9	9
6	[7,7835- 8,0765]	7,930	3	2	6	12
Σ			50	—	- 24	108

La moyenne fictive est $Y_o = 7,344$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 7,20$;
 l'écart-type est $D_t = 0,41$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,69$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,11$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,08$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,53$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 7,09$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 7,31$.

Le coefficient de corrélation entre R32 et E32 est $C = 0,76$.

ANNEXE IV

PROGRAMMES POUR LE TRAITEMENT DES RESULTATS

Résultats de la résistance à la rupture R33

Tabl.III.17

Nc	limites des classes	centres des classes X_i^o	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[4,706 - 4,974 [	4,840	9	- 3	- 27	81
2	[4,974 - 5,242 [	5,108	11	- 2	- 22	44
3	[5,242 - 5,510 [	5,376	12	- 1	- 12	12
4	[5,510 - 5,778 [	5,644	13	0	0	0
5	[5,778 - 6,046 [	5,912	3	1	3	3
6	[6,046 - 6,314]	6,180	2	2	4	8
Σ			50	—	- 54	148

La moyenne fictive est $X_o = 5,644$;
 la moyenne arithmétique est $X_m = 5,35$;
 l'écart-type est $D_t = 0,36$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 6,73$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,10$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,07$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,87$.
 La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 5,25$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 5,45$.

Résultats de l'allongement à la rupture E33

Tabl.III.18

Nc	limites des classes	centres des classes Y_i^o	fréq. M_i	U_i	$M_i U_i$	$M_i U_i^2$
1	[6,000 - 6,262 [	6,131	6	- 3	- 18	54
2	[6,262 - 6,524 [	6,393	6	- 2	- 12	24
3	[6,524 - 6,786 [	6,655	9	- 1	- 9	9
4	[6,786 - 7,048 [	6,917	19	0	0	0
5	[7,048 - 7,310 [	7,179	8	1	8	8
6	[7,310 - 7,572]	7,441	2	2	4	8
Σ			50	—	- 27	103

La moyenne fictive est $Y_o = 6,917$;
 la moyenne arithmétique est $Y_m = 6,78$;
 l'écart-type est $D_t = 0,35$;
 le coefficient de variation est $C_v\% = 5,16$;
 l'erreur absolue de la moyenne est $E_m = 0,10$;
 l'erreur absolue de l'écart-type est $E_d = 0,07$;
 l'erreur relative de la moyenne est $E_r\% = 1,47$.

La moyenne de la population est M_p :
 - la borne inférieure est $M_{pi} = 6,68$;
 - la borne supérieure est $M_{ps} = 6,88$.

Le coefficient de corrélation entre R33 et E33 est $C = 0,685$.

I. PROGRAMME DE CALCUL DES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE

```

10 OPTION BASE 1
20 INPUT "NOMBRE DE CLASSES ";Mc
30 REM PROGRAMME DU TITRE EN TEX
40 DIM A(50,4),B(50,7)
50 REDIM B(Mc+1,7)
60 REM INTRODUCTION DES DONNEES
70 FOR I=1 TO 49
80   FOR J=1 TO 3
90     READ A(I,J)
100    NEXT J
110 NEXT I
120 REM CALCUL DU TITRE EN TEX
130 FOR I=1 TO 49
140   A(I,4)=A(I,3)/.25
150 NEXT I
160 REM Classement par ordre croissant
170   K=2
180   GOSUB 1050
190   K=4
200   GOSUB 1050
210   E1=A(49,2)-A(1,2)
220 REM Intervalle de classe
230   I1=E1/Mc
240 REM correction de l'intervalle de classe
250   I11=PROUND(I1,0)+.1
260 REM nouvelle etendue
270   I11=I11*Mc
280 REM delimitation des classes
290   Del=(I11-I1)/2
300   Min=A(1,2)-Del
310   Max=A(49,2)+Del
320 FOR I=1 TO Mc+1
330   B(I,2)=Min+(I-1)*I11
340 NEXT I
350 FOR I=1 TO Mc
360   X=B(I,2)+B(I+1,2)
370   B(I,3)=X/2
380 J=J+1
390 NEXT I
400 REM Determination des frequences absolues
410 FOR I=1 TO 49
420 FOR K=1 TO Mc
430 IF (A(I,2)>B(K,2)) AND (A(I,2)<B(K+1,2)) THEN B(K,4)=B(K,4)+1
440 NEXT K
450 NEXT I
460 REM Calcul des deviations
470 Max=0
480 FOR R=1 TO Mc
490 IF B(R,4)<Max THEN 520
500 Max=B(R,4)
510 R=R
520 NEXT R
530 FOR I=1 TO Mc
540   Y0=B(R,3)
550   B(I,5)=(B(I,3)-Y0)/I11
560 NEXT I
570 REM Calcul des moments d'ordres 1 et 2
580 FOR I=1 TO Mc
590   B(I,6)=B(I,4)*B(I,3)
600   B(I,7)=B(I,4)*B(I,5)+2
610 NEXT I
620 FOR I=1 TO Mc
630   U=B(I,4)
640   U1=U+B(I,6)
650   U2=U2+B(I,7)
660 NEXT I
670 REM Calcul de la moyenne de l'echantillon
680   Un=U1/49
690   Vn=Y0+I11*Un
700   Vn=PROUND(Vn,-2)
710 REM Calcul de l'ecart-type
720   Dt=I11*SQR(U2/49-Un^2)
730   Dt=PROUND(Dt,-2)
740 REM Calcul du coefficient de variation
750   Cv=Dt/Vn*100
760   Cv=PROUND(Cv,-2)
770 REM Calcul des intervalles de confiance
780   Zc=1.96
790   En=Zc*Dt/SQR(49)
800   En=PROUND(En,-2)
810 REM Erreur absolue de l'ecart-type
820   Ed=Zc*Dt/SQR(49*2)
830   Ed=PROUND(Ed,-2)
840 REM Erreur relative de la moyenne
850   Er=En/Vn*100
860   Er=PROUND(Er,-2)
870 REM Moyenne de la Population
880   Npi=Vn-En
890   Nps=Vn+En
900 PRINT " TABLEAU DES RESULTATS DE M11 "
910 PRINT
920 PRINT "La moyenne fictive est      Y0",Y0
930 PRINT "La moyenne arithmetique est  Vn",Vn
940 PRINT "L'ecart-type est                Dt",Dt
950 PRINT "Le coefficient de variation est  Cv%",Cv
960 PRINT "L'erreur absolue de la moyenne est  En",En
970 PRINT "L'erreur absolue de l'ecart-type est  Ed",Ed
980 PRINT "L'erreur relative de la moyenne est  Er%",Er
990 PRINT
1000 PRINT "La moyenne de la population est Np"
1005 PRINT " - La borne inferieure est Npi",Npi
1010 PRINT " - La borne superieure est Nps",Nps
1020 PRINT
1030 PRINT "FIN EDITION TITRE EN TEX"
1040 END
1050 REM PROGRAMME TRI
1060 K=0
1070 FOR J=49 TO 2 STEP -1
1080 FOR I=1 TO J-1
1090 IF A(I,X)<A(I+1,X) THEN GOTO 1130
1100 X=A(I,X)
1110 A(I,X)=A(I+1,X)
1120 A(I+1,X)=X
1130 NEXT I
1140 NEXT J
1150 RETURN

```

```

1160 REM Edition des resultats
1170 FOR I=1 TO 76
1180 PRINT TAB(I);"-";
1190 NEXT I
1200 PRINT TAB(1);"I Mc ";TAB(2);"I Limite des classes ";TAB(29);"I Centre ";TAB(39);"I Frequences ";TAB(52);"I U1 ";TAB(58);"I
NIUL ";TAB(65);"I NI(U1)-2 I
1210 PRINT TAB(1);"I ";TAB(7);"I ";TAB(29);"I Classe ";TAB(39);"I ACS-MI ";TAB(52);"I ";TAB(58);"I ";TAB(65);"I ";TAB(76);"I"
1220 FOR I=1 TO 76
1230 PRINT TAB(I);"-";
1240 NEXT I
1250 REM Edition des calculs
1260 FOR I=1 TO Mc
1270 PRINT TAB(1);"I ";TAB(3);"I ";TAB(7);"I ";TAB(10);"B(1,2);TAB(17);"-";TAB(18);"D(1+1,2);TAB(29);"I ";TAB(31);"D(1,3);TAB(39);"I ";TAB(41);
E(I,4);TAB(52);"I";
1280 PRINT TAB(54);"B(1,5);TAB(58);"I ";TAB(60);"E(1,6);TAB(65);"I ";TAB(67);"B(1,7);TAB(76);"I"
1290 NEXT I
1300 FOR I=1 TO 76
1310 PRINT TAB(I);"-";
1320 NEXT I
1330 PRINT TAB(39);"I ";TAB(41);"U;TAB(52);"I ";TAB(58);"I ";TAB(60);"U;TAB(65);"I ";TAB(67);"U2;TAB(76);"I"
1340 FOR I=39 TO 76
1350 PRINT TAB(I);"-";
1360 NEXT I
1370 PRINT
1380 RETURN

```

II. PROGRAMME DE L'AJUSTEMENT DES VALEURS DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE PAR LA METHODE DES MOINDRES CARRES ORDINAIRES

```

..
20 REN "Identificateurs"
30 REN X(I) "Valeurs de la masse lineique"
40 REN Y(I) "Valeurs de la torsion"
50 REN X1(I) "Valeurs logarithmiques de la masse lineique"
60 REN Y1(I) "Valeurs logarithmiques de la torsion"
70 REN S1 "Somme des X1(I)"
80 REN Xlnoy(I) "Valeur moyenne des X1(I)"
90 REN X0(I) "Valeurs centrees des X1(I)"
100 REN X2(I) "Carres des valeurs centrees"
110 REN S2 "Somme des carres des valeurs centrees"
120 REN S3 "Somme des Y1(I)"
130 REN Ylnoy "Valeur moyenne des Y1(I)"
140 REN B0 "Coefficient libre de la droite"
150 REN P(I) "Produits des X0(I) par Y1(I)"
160 REN S5 "Somme des P(I)"
170 REN B1 "pente de la droite"
180 REN Y2(I) "Calcul de la droite"
190 REN R1 "Ecart residuel ou Residu"
200 REN S8 "Somme des carres des residus ou variation residuelle"
210 REN R3 "Ecart total"
220 REN R5 "Ecart explique"
230 REN S9 "Somme des carres des ecarts totaux ou variation totale"
240 REN S7 "Somme des carres des ecarts expliques ou variation expliquee"
250 REN E1 "Rapport des variations residuelle et totale"
260 REN R "Coefficient de correlation"
270 REN R2 "Coefficient de determination"
280 REN D2(I) "Variance d'adequation"
290 REN D4(b1) "Variance de B1"
300 REN D6(b0) "Variance de B0"
310 REN Tc(b1) "STUDENT calcule de B1"
320 REN Tc(b0) "STUDENT calcule de B0"
330 REN Fc "Critere de FISCHER"
340 INPUT "TAILLE DE L'ECHANTILLON N=":N
350 DIM A(50,2)
360 DIM X1(50),Y1(50),X0(50),X2(50),P1(50),Y2(50),R1(50),Xlnoy,Ylnoy
370 REN "Introduction des donnees"
380 FOR I=1 TO 49
390 FOR J=1 TO 2
400 READ A(I,J)
410 NEXT J
420 NEXT I
430 FOR I=1 TO 49
440 X1(I)=A(I,1)
450 Y1(I)=A(I,2)
460 NEXT I
470 REN "Calcul du coefficient de correlation des donnees brutes"
480 FOR I=1 TO 49
490 X=X1(I)
500 Y=Y1(I)
510 S0=S0+X
520 T0=T0+Y
530 U=U+X*Y
540 V=V+X*X
550 W=W+Y*Y
560 NEXT I
570 Sx=S0-50*2/49
580 Sy=Y-T0-2/49
590 Sxy=U-S0*T0/49
600 C=Sxy/SQR(Sx*Sy)
610 C=PROUND(C,-3)
620 REN "Intervalles de confiance du coeff. de correlation"
630 Znc=5+LOG((1+C)/(1-C))/C/(2*149-1)
640 Sz=1/(149-3)
650 Zc=1.96
660 Ez=Zc*SQR(Sz)
670 Z1=Znc-Ez
675 Z1=PROUND(Z1,-3)
680 Z2=Znc+Ez
685 Z2=PROUND(Z2,-3)
690 R1=(EXP(Z2*Z1)-1)/(EXP(Z2*Z1)+1)
700 R1=PROUND(R1,-3)
710 R5=(EXP(Z2*Z1)-1)/(EXP(Z2*Z1)+1)
720 R5=PROUND(R5,-3)
740 REN "Programme de classement des valeurs"
750 X=1
760 COSUB 1600
770 Y=Z
780 COSUB 1710
790 REN "Routine d'impression"
800 ! COSUB 1640
810 REN "Calcul des LOG des variables"
820 FOR I=1 TO 49
830 X1(I)=LOG(X1(I))
840 X1(I)=PROUND(X1(I),-5)
850 S1=S1+X1(I)
860 Xlnoy=S1/49
870 Xlnoy=PROUND(Xlnoy,-3)
880 NEXT I
890 FOR I=1 TO 49
900 X0(I)=X1(I)-Xlnoy
910 X2(I)=X0(I)*X0(I)
920 S2=S2+X2(I)
930 S2=PROUND(S2,-3)
940 NEXT I
950 FOR I=1 TO 49
960 Y1(I)=LOG(Y1(I))
970 Y1(I)=PROUND(Y1(I),-5)
980 S3=S3+Y1(I)
990 Ylnoy=S3/49
995 B0=PROUND(B0,-5)
1000 P(I)=X0(I)*Y1(I)
1010 S5=S5+P(I)
1020 S5=PROUND(S5,-3)
1030 B1=S5/S2
1040 B1=PROUND(B1,-3)
1050 NEXT I
1060 REN "Determiner Ycal"
1070 FOR I=1 TO 49
1080 R(I)=B1+X0(I)
1090 R(I)=PROUND(R(I),-5)
1100 Y2(I)=B0+R(I)
1110 R1=Y2(I)-Y1(I)
1120 R1=PROUND(R1,-3)
1130 S8=S8+R1*R1
1140 S8=PROUND(S8,-5)
1150 NEXT I
1160 REN "Calcul des variations totales S9 et expliquees S7"
1170 FOR I=1 TO 49
1180 R3=Y1(I)-Ylnoy
1190 R5=Y2(I)-Ylnoy
1200 S9=S9+R3*R3
1210 S9=PROUND(S9,-3)
1220 S7=S7+R5*R5
1230 S7=PROUND(S7,-3)

```

```

1240 NEXT I
1250 REM Calcul du coefficient de correlation R
1260 S1=S8/S9
1270 R2=1-S1
1280 R=SQR(R2)
1290 R=PROUND(R,-3)
1300 REM Estimation des coefficient de la droite
1310 REM Ecart-types d'estimation
1320 D2y=S8/(49-2)
1330 D4=D2y/S2
1340 D6=D2y/49
1350 REM Estimation des coefficients de regression
1360 Td1=ABS(D1)/SQR(D4)
1370 Td1=PROUND(Td1,-2)
1380 Tc(D6)=ABS(D6)/SQR(D6)
1390 Tc(D6)=PROUND(Tc(D6),-2)
1400 REM Calcul du critere de FISCHER
1410 Fc=S9*(49-2)/(S7*49)
1415 Fc=S7*S9/(S9*(50-2))
1420 Fc=PROUND(Fc,-3)
1424 PRINT "AJUSTEMENT DES VALEURS DE K23 ET 123 "
1426 PRINT
1430 PRINT "Le coefficient de correlation des valeurs brutes est C= ";C
1440 PRINT "Z1=" ";Z1;"Z2=" ";Z2;"R2=" ";R2;"R0=" ";R0;"R1=" ";R1
1445 PRINT
1450 PRINT "La moyenne de LG(X(I)) est Xlnoy = ";Xlnoy
1460 PRINT "Le coefficient libre est D6 = ";D6
1470 PRINT "La somme de P(I) est S5 = ";S5
1480 PRINT "La somme de X2(I) est S2 = ";S2
1490 PRINT "La pente de la droite est B1 = ";B1
1500 PRINT "La variation expliquée est S7 = ";S7
1510 PRINT "La variation résiduelle est S8 = ";S8
1520 PRINT "La variation totale est S9 = ";S9
1530 PRINT "Le coefficient de correlation est R = ";R
1540 PRINT "Estimateur du coefficient D1 est Td1 = ";Td1
1550 PRINT "Estimateur du coefficient D6 est Tc(D6) = ";Tc(D6)
1560 PRINT "Le critere de FISCHER est Fc = ";Fc
1570 PRINT
1580 PRINT "FIN DU PROGRAMME D'AJUSTEMENT PAR LA METHODE DES MOINDRES CARRÉS"
1590 END
1600 REM Trier les valeurs de la masse linéique
1610 N1=0
1620 FOR J=49 TO 2 STEP -1
1630 FOR I=1 TO J-1
1640 IF X(I)<X(I+1) THEN GOTO 1680
1650 N1=X(I)
1660 X(I)=X(I+1)
1670 X(I+1)=N1
1680 NEXT I
1690 NEXT J
1700 RETURN
1710 REM Trier les valeurs de la TORSION
1720 N2=0
1730 FOR J=49 TO 2 STEP -1
1740 FOR I=1 TO J-1
1750 IF Y(I)>Y(I+1) THEN GOTO 1770
1760 N2=Y(I)
1770 Y(I)=Y(I+1)
1780 Y(I+1)=N2
1790 NEXT I
1800 NEXT J
1810 RETURN
1820 REM Imprimer tableau des valeurs de X(I),Y(I)
1830 PRINT
1840 FOR I=1 TO 50
1850 PRINT X(I),Y(I)
1860 NEXT I
1870 RETURN

```

ANNEXE V

**VALEURS DE L'AJUSTEMENT DE LA TORSION ET DE LA MASSE LINEIQUE
PAR LA METHODE DES MOINDRES CARRES**

1. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{11} ET T_{f11}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,524$.

$Z_1 = - 0,876$; $Z_2 = - 0,298$; $R_8 = - 0,289$; $R_1 = - 0,704$.

La moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{1moy}	=	1,1876	;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,70659	;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,04981	;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,10759	;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,46296	;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,02307	;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00343	;
la variation totale	est	S_9	=	0,02645	;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,933	;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	17,78	;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	2217,8	;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,1	.

2. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{12} ET T_{f12}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,729$.

$Z_1 = - 1,23$; $Z_2 = - 0,639$; $R_8 = - 0,564$; $R_1 = - 0,843$.

La moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{1moy}	=	1,21128	;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,66837	;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,04458	;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,07972	;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,55921	;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,02497	;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00278	;
la variation totale	est	S_9	=	0,02837	;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,95	;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	20,09	;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	2327,44	;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,088	.

3. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{13} ET T_{f13}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,798$.

$Z_1 = - 1,387$; $Z_2 = - 0,815$; $R_8 = - 0,672$; $R_1 = - 0,883$.

La moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{1moy}	=	1,21665	;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,63582	;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,06603	;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,11313	;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,58366	;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,03851	;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00132	;
la variation totale	est	S_9	=	0,03935	;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,983	;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	37,44	;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	3554,14	;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,019	.

4. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{21} ET T_{r21}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = -0,375$.

$Z_1 = -0,684$; $Z_2 = -0,112$; $R_s = -0,112$; $R_i = -0,594$.

la moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{lmoy}	=	1,54664 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,57087 ;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,03069 ;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,04277 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,71756 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,02201 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00073 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,02238 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,984 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	38,05 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	4661,49 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,024 .

5. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{22} ET T_{r22}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = -0,729$.

$Z_1 = -1,22$; $Z_2 = -0,648$; $R_s = -0,57$; $R_i = -0,84$.

la moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{lmoy}	=	1,52486 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,53275 ;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,02994 ;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,04828 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,62013 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,01857 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00067 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,01928 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,982 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	36,47 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	4793,59 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,003 .

6. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T_{23} ET T_{r23}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = -0,765$.

$Z_1 = -1,305$; $Z_2 = -0,727$; $R_s = -0,621$; $R_i = -0,863$.

la moyenne de $LGT(X(I))$	est	X_{lmoy}	=	1,52399 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,49923 ;
la somme de $P(I)$	est	S_5	=	- 0,02291 ;
la somme de $X_2(I)$	est	S_2	=	0,03234 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,70841 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,01623 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00052 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,01636 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,984 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	38,30 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	5259,59 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,034 .

7. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T₃₁ ET T_{f31}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,488$.

$Z_1 = - 0,828$; $Z_2 = - 0,25$; $R_s = - 0,245$; $R_1 = - 0,679$.

la moyenne de LGT(X(I))	est	$X_{1\text{moy}}$	=	1,73835 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,53828 ;
la somme de P(I)	est	S_5	=	- 0,0267 ;
la somme de X ₂ (I)	est	S_2	=	0,03763 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,70954 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,01893 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00057 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,01881 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,985 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	39,52 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	5102,1 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,049 .

8. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T₃₂ ET T_{f32}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,722$.

$Z_1 = - 1,215$; $Z_2 = - 0,624$; $R_s = - 0,554$; $R_1 = - 0,838$.

la moyenne de LGT(X(I))	est	$X_{1\text{moy}}$	=	1,71672 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,47924 ;
la somme de P(I)	est	S_5	=	- 0,0171 ;
la somme de X ₂ (I)	est	S_2	=	0,02553 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,6698 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,01138 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,00033 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,01253 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,987 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	39,52 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	6276,49 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,054 .

9. AJUSTEMENT DES VALEURS DE T₃₃ ET T_{f33}

Le coefficient de corrélation des valeurs brutes est $C = - 0,821$.

$Z_1 = - 1,461$; $Z_2 = - 0,876$; $R_s = - 0,704$; $R_1 = - 0,898$.

la moyenne de LGT(X(I))	est	$X_{1\text{moy}}$	=	1,71207 ;
le coefficient libre	est	B_0	=	2,41878 ;
la somme de P(I)	est	S_5	=	- 0,02734 ;
la somme de X ₂ (I)	est	S_2	=	0,04187 ;
la pente de la droite	est	B_1	=	- 0,65297 ;
la variation expliquée	est	S_7	=	0,01792 ;
la variation résiduelle	est	S_8	=	0,0004 ;
la variation totale	est	S_9	=	0,01801 ;
le coefficient de corrélation	est	R	=	0,989 ;
l'estimateur du coefficient B_1	est	$T\{B_1\}$	=	45,31 ;
l'estimateur du coefficient B_0	est	$T\{B_0\}$	=	5682,85 ;
le critère de Fischer	est	F_c	=	1,038 .

10. EXEMPLE DE CALCUL DU COEFFICIENT DE CORRELATION DES DONNÉES BRUTES DE T_{11} ET T_{f11} .

Le tabl.V-1 montre un exemple de calcul du coefficient de corrélation, des données de la torsion T_{11} et de la masse linéique T_{f11} , qui ont servies de base pour élaborer le programme en basic.

Les symboles utilisés dans ce programme et les résultats obtenus pour cet exemple sont les suivants :

$$\sum X = S_0 = 759 ; \sum Y = T_0 = 24\,969,5 ; \sum XY = U = 385\,663,9 ;$$

$$\sum X^2 = V = 11\,880,84 ; \sum Y^2 = W = 12\,760\,158 ;$$

$$\begin{aligned} \text{variance de } X \implies Dx &= \sum X^2 - (\sum X)^2 / N = V - S_0^2 / N = \\ Dx &= 11\,880,84 - (759)^2 / 49 = 124,08 ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{variance de } Y \implies Dy &= \sum Y^2 - (\sum Y)^2 / N = W - T_0^2 / N = \\ Dy &= 12\,760\,158 - (24\,969,5)^2 / 49 = 36\,159,40 ; \end{aligned}$$

covariance de

$$\begin{aligned} X \text{ et } Y \implies Dxy &= \sum XY - \sum X \cdot \sum Y / N = U - S_0 \cdot T_0 / N = \\ Dxy &= 385\,663,9 - (759 \times 24\,969,5) / 49 = -1\,108,56 ; \end{aligned}$$

En utilisant la relation (2-44), on obtient le coefficient de corrélation, des données brutes, suivant:

$$C_{11} = \frac{Dxy}{\sqrt{Dx \cdot Dy}} = - \frac{1\,108,56}{\sqrt{124,08 \times 36159,40}} = -0,524$$

Dans ce travail, les coefficients de corrélation, des données brutes, obtenus varient de (- 0,375) à (- 0,821). Ces résultats montrent que la corrélation est négative et l'hypothèse que la torsion du fil croît lorsque la masse linéique décroît est vérifiée.

De même que la dépendance entre ces deux caractéristiques ne peut être linéaire, et que par conséquent, il faut chercher un autre type de dépendance.

Le reste des valeurs des coefficients de corrélation des données brutes entre la torsion est présenté aux paragraphes de 1+9 de cette même annexe et entre la résistance et l'allongement à l'annexe III.

**Calcul du coefficient de corrélation des données
brutes de T_{11} (y) et T_{r11} (x)**

Tabl.V-1

N	X	Y	XY	X^2	Y^2
	1	2	3	4	5
01	15,4	549,5	8462,3	237,16	301950,25
02	16,0	515,5	8248,0	256,00	265740,25
03	18,0	467,5	8415,0	324,00	218556,25
04	17,2	511,0	8789,2	295,84	261121,00
05	16,8	520,5	8744,4	282,24	270920,25
06	17,6	497,0	8747,2	309,76	247009,00
07	15,6	543,5	8478,6	243,36	295392,25
08	13,2	519,5	6857,4	174,24	269880,25
09	15,6	547,5	8541,0	243,36	299756,25
10	16,8	511,0	8584,8	282,24	261121,00
11	14,0	512,5	7175,0	196,00	262656,25
12	14,4	492,5	7092,0	207,36	242556,25
13	14,0	512,5	7175,0	196,00	262656,25
14	16,0	473,5	7576,0	256,00	224202,25
15	12,8	538,5	6892,8	163,84	289982,25
16	16,4	468,0	7675,2	268,96	219024,00
17	14,8	521,5	7718,2	219,04	271962,25
18	16,8	460,2	7731,36	282,24	211784,04
19	16,4	507,5	8323,0	268,96	257556,25
20	17,6	470,5	8280,8	309,76	221370,25
21	15,2	513,0	7797,6	231,04	263169,00
22	14,4	541,5	7797,6	207,36	293222,25
23	17,6	479,5	8439,2	309,76	229920,25
24	14,0	545,5	7637,0	196,00	297570,25
25	16,0	504,0	8064,0	256,00	254016,00
26	17,2	480,0	8256,0	295,84	230400,00
27	16,8	503,0	8450,4	282,24	253009,00
28	16,0	524,5	8392,0	256,00	275100,25
29	13,6	543,5	7391,6	184,96	295392,25
30	15,6	503,0	7846,8	243,36	253009,00
31	14,4	527,5	7596,0	207,36	278256,25
32	16,8	462,5	7770,0	282,24	213906,25
33	15,2	490,5	7455,6	231,04	240590,25
34	11,2	533,5	5975,2	125,44	284622,25
35	16,0	482,5	7720,0	256,00	232806,25
36	15,6	490,0	7644,0	243,36	240100,00
37	16,0	473,5	7576,0	256,00	224202,25
38	11,6	531,5	6165,4	134,56	282492,25
39	15,2	480,5	7303,6	231,04	230880,25
40	14,0	510,0	7140,0	196,00	260100,00
41	12,8	527,5	6752,0	163,84	278256,25
42	13,2	535,0	7062,0	174,24	286225,00
43	16,8	472,5	7938,0	282,24	223256,25
44	17,6	484,0	8518,4	309,76	234256,00
45	15,2	550,5	8367,6	231,04	303050,25
46	16,8	524,5	8811,6	282,24	275100,25
47	16,8	562,8	9455,04	282,24	316743,84
48	16,8	513,0	8618,4	282,24	263169,00
49	15,2	540,5	8215,6	231,04	292140,25
Σ	759	24969,5	385663,9	11880,84	12760158,0

11. EXEMPLE D'AJUSTEMENT PAR LA METHODE DES MOINDRES CARRES DES VALEURS DE $T_{11}(Y)$ ET $T_{f11}(X)$.

11.1. DETERMINATION DU MODELE MATHEMATIQUE

L'exemple ci-après donne les résultats de calcul de γ_{11} , qui sont consignés en le tabl.V-2:

1°-les $\log x_i \implies X_L(I)$, (cf.col.3);

2°-la somme des $X_L(I) \implies \sum X_L(I) = S_1 = 58,19239$;

3°-la moyenne des $X_L(I) \implies \bar{X}_L = \frac{S_1}{N} = \frac{58,19239}{49} = 1,1876$

4°-la différence entre $X_L(I)$ et $\bar{X}_L$, appelée valeur centrée de x , (cf. col.4);

5°-le carré de la différence $X_o(I)^2$, (cf. col.5);

6°-la somme des carrés de la différence:

$$\sum X_o(I)^2 = \sum X_2(I) = S_2 = 0,10759 ;$$

7°- les $\log y_i \implies Y_L(I) ;$

8°- la somme des $Y_L(I) \implies \sum Y_L(I) = S_3 = 132,62305 ;$

9°-le coefficient libre de l'équation $B_0 = \bar{Y}_L = \frac{S_3}{N} =$

$$B_0 = \frac{132,62305}{49} = 2,70659 ;$$

10°- le produit $P(I)$, (cf.col.8) :

11°- la somme des produits $\sum P(I) = S_5 = - 0,04981 ;$

12°- le coefficient B_1 de l'équation :

$$B_1 = \frac{S_5}{S_2} = \frac{0,04981}{0,10759} = -0,46296.$$

En remplaçant B_0 , B_1 et $\bar{X}_L$, par leur valeur respectives, dans la relation (2-59), on obtient:

$$Y_L = 2,70659 - 0,46296 (X_L - 1,18760),$$

$$Y_L = 3,2564 - 0,46296.X_L ;$$

en retournant à la forme réelle, on obtient:

$$y = 1804,68.x^{(-0,46296)},$$

ou bien:

$$y = \frac{1804,68}{x^{(-0,46)}} ,$$

analogue à la relation générale (2-56).

Pour apprécier l'importance des coefficients de regression de l'équation obtenue, on procède au test de signification des paramètres estimés.

11.2. TEST DE SIGNIFICATION DES PARAMETRES ESTIMES

Pour aboutir aux calculs des critères de Student, $T_c\{B_0\}$ et $T_c\{B_1\}$, permettant d'apprécier l'importance des coefficients B_0

et B_1 , on détermine:

- 1°- le produit $B_1 \cdot [X_L(I) - \bar{X}_L] = B_1 \cdot X_0(I)$, (cf.col.9);
- 2°- la valeur calculée de $Y_L \implies Y_2(I)$, (cf.col.10);
- 3°- la valeur résiduelle (résidu R) $\implies R_1(I)$, (cf.col.11);
- 4°- le carré des résidus, (cf.col.12);
- 5°- la somme des carrés des résidus: $S_8 = \sum R_1(I)^2 = 343.10^{-5}$.

1. Variance résiduelle D_{2y}

$$D_{2y} = \frac{343.10^{-5}}{49 - 2} = 7,29787 \cdot 10^{-5}$$

2. Variance de B_1 (D_4)

$$D_4 = \frac{D_{2y}}{S_2} = \frac{7,29787.10^{-5}}{0,10759} = 6,7830.10^{-4}.$$

3. Variance de B_0 (D_6)

$$D_6 = \frac{D_{2y}}{N} = \frac{7,29787.10^{-5}}{49} = 1,4893.10^{-6}.$$

4. Critères calculés de Student, T_c

1°- Critère calculé du coefficient B_1 :

$$T_c\{B_1\} = \frac{0,46296}{\sqrt{6,78304.10^{-4}}} = 17,78.$$

2° Critère calculé du coefficient B_0 :

$$T_c\{B_0\} = \frac{2,70659}{\sqrt{1,48936.10^{-6}}} = 2217,80.$$

Les critères $T_c\{B_0\}$ et $T_c\{B_1\}$ sont comparés au critère tabulé T_t [$P = 0,95$; $\nu = N - k = 49 - 2 = 47$].

Puisque $T_t = 2,021$ est inférieur aux critères calculés :

$$T_c\{B_1\} = 17,78 \text{ et } T_c\{B_0\} = 2217,80 ;$$

alors, on dit que les coefficients calculés B_0 et B_1 sont importants.

Pour apprécier le type d'ajustement utilisé, on procède au test d'efficacité de l'ajustement par le coefficient de corrélation.

II.3. TEST D'EFFICACITE DE L'AJUSTEMENT ET COEFFICIENT DE CORRELATION "R".

Pour tester l'efficacité de l'ajustement, on doit déterminer:

- 1°- la variation totale (somme des écarts à la moyenne);

l'écart à la moyenne est:

$$R_3(I) = Y_L(I) - \bar{Y}_L, \quad (\text{cf.col.13});$$

et la variation totale est:

$$\text{et } S_9 = \sum R_3(I)^2 = 2645.10^{-5}, \quad (\text{cf.col.14}).$$

2°-la variation expliquée (somme des écarts des résidus à la moyenne); l'écart des résidus à la moyenne est:

$$R_5(I) = Y_2(I) - Y_L, \quad (\text{cf.col.15});$$

et la variation expliquée est :

$$S_7 = \sum R_5(I)^2 = 2307.10^{-5}, \quad (\text{cf.col.16});$$

3°- la variation résiduelle (ou la somme des carrés des résidus) correspond à la somme des valeurs de la col.12

$$S_8 = \sum R_1(I)^2 = 343.10^{-5};$$

en utilisant la relation (2-78) et en remplaçant S_8 et S_9 par leurs valeurs respectives, on obtient:

$$R^2 = 1 - \frac{343.10^{-5}}{2645.10^{-5}} = 0,87.$$

Le coefficient de corrélation de la droite de regression estimée sera :

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,87} = 0,933;$$

et R prendra le signe du coefficient de regression B_1 , autrement dit, pour l'ajustement des données de la masse linéique T_{f11} et de la torsion T_{11} , $R = -0,933$ (pour le reste des valeurs se conférer au paragraphes de 1+9 de cette même annexe).

II.4. VERIFICATION DE L'ADEQUATION DU MODELE

Pour vérifier l'adéquation du modèle mathématique choisi, on se sert du critère calculé de Fischer (F_c), qu'il faut comparer au critère tabulé:

$$F_t[P= 0,95; \nu_1= N, \nu_2= N-k] :$$

Puisque : $S_9 = 2645.10^{-5}$; $S_7 = 2307.10^{-5}$; et $N = 49$, alors:

$$F_c = \frac{2645.10^{-5} / 49}{2307.10^{-5} / 49-2} = \frac{2645 / 49}{2307 / 47} = 1,1 ;$$

et $F_t[P= 0,95; \nu_1= 49, \nu_2= 47] = 1,60; [14].$

Comme la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée ($F_t = 1,60$), $F_c < F_t$, on peut dire que le modèle mathématique obtenu (relation 2-63) est adéquat.

AJUSTEMENT PAR LA METHODE DES M.C.O **DES VALEURS DE T11 (Y) ET DE T111 (X)**

Tabl.V-2

N	X (1)	XL(1)	X0(1) 10 ⁻⁵	X0 ² 10 ⁻⁵	Y(1)	YL(1)	T(1) 10 ⁻⁵	T(1) 10 ⁻⁵	Y2(1)	R1(1) 10 ⁻⁵	R1(1) ² 10 ⁻⁵	R3(1) 10 ⁻⁵	R3(1) ² 10 ⁻⁵	R5(1) 10 ⁻⁵	R5(1) ² 10 ⁻⁵
1	11,2	1.04922	-13838	1915	562,8	2,75035	-38059	6406	2,77065	2030	41	4376	191	6406	410
2	11,6	1.06446	-12314	1516	550,5	2,74076	-33750	5701	2,7636	2284	52	3417	117	5701	325
3	12,8	1.10721	-8039	646	549,5	2,73997	-22027	3722	2,74381	384	1	3338	111	3722	139
4	12,8	1.10721	-8039	646	547,5	2,73838	-22014	3722	2,74381	543	3	3179	101	3722	139
5	13,2	1.12057	-6703	449	545,5	2,73679	-18345	3103	2,73762	83	0	3020	91	3103	96
6	13,2	1.12057	-6703	449	543,5	2,7352	-18334	3103	2,73762	242	1	2861	82	3103	96
7	13,6	1.13354	-5406	292	543,5	2,7352	-14786	2503	2,73162	-358	1	2861	82	2503	63
8	14	1.14613	-4147	172	541,5	2,7336	-11336	1920	2,72579	-781	6	2701	73	1920	37
9	14	1.14613	-4147	172	540,5	2,7328	-11333	1920	2,72579	701	5	2621	69	1920	37
10	14	1.14613	-4147	172	539,5	2,73119	-11326	1920	2,72579	-540	3	2460	61	1920	37
11	14	1.14613	-4147	172	535	2,72935	-11314	1920	2,72579	-256	1	2176	47	1920	37
12	14,4	1.15836	-2924	85	533,5	2,72713	-7974	1354	2,72013	-700	5	2054	42	1354	18
13	14,4	1.15836	-2924	85	531,5	2,7255	-7969	1354	2,72013	-537	3	1891	36	1354	18
14	14,4	1.15836	-2924	85	527,5	2,72222	-7960	1354	2,72013	-209	0	1563	24	1354	18
15	14,8	1.17026	-1734	30	527,5	2,72222	-4720	803	2,71462	-760	6	1563	24	803	6
16	15,2	1.18184	-576	3	524,5	2,71975	-1567	267	2,70926	-1049	11	1316	17	267	1
17	15,2	1.18184	-576	3	524,5	2,71975	-1567	267	2,70926	-1049	11	1316	17	267	1
18	15,2	1.18184	-576	3	521,5	2,71725	-1565	267	2,70926	-799	6	1066	11	267	1
19	15,2	1.18184	-576	3	520,5	2,71642	-1565	267	2,70926	-716	5	983	10	267	1
20	15,2	1.18184	-576	3	519,5	2,71559	-1564	267	2,70926	-633	4	900	8	267	1
21	15,4	1.18752	8	0	515,5	2,71223	-22	4	2,70663	-560	3	564	3	4	0
22	15,6	1.19321	552	3	513	2,71012	1496	-256	2,70403	-609	4	353	1	-256	1
23	15,6	1.19321	552	3	513	2,71012	1496	-256	2,70403	-609	4	353	1	-256	1
24	15,6	1.19321	552	3	512,5	2,70969	1496	-256	2,70403	-566	3	310	1	-256	1
25	15,6	1.19321	552	3	512,5	2,70969	1496	-256	2,70403	-566	3	310	1	-256	1
26	16	1.20412	1652	27	511	2,70842	4474	-765	2,69894	-946	9	183	0	-765	6
27	16	1.20412	1652	27	511	2,70842	4474	-765	2,69894	-946	9	183	0	-765	6
28	16	1.20412	1652	27	510	2,70757	4473	-765	2,69894	-861	7	98	0	-765	6
29	16	1.20412	1652	27	507	2,70544	4469	-765	2,69894	-648	4	-115	0	-765	6
30	16	1.20412	1652	27	504	2,70243	4464	-765	2,69894	-347	1	-416	2	-765	6
31	16	1.20412	1652	27	503	2,70157	7363	-765	2,69894	-261	1	-502	3	-765	6
32	16,4	1.21484	2724	74	503	2,70157	7359	-1261	2,69398	-579	6	-502	3	-1261	16
33	16,4	1.21484	2724	74	497	2,69636	7345	1261	2,69398	238	1	-1023	10	-1261	16
34	16,8	1.22531	3771	142	492,7	2,69241	10153	-1746	2,68913	-328	1	-1418	20	-1746	30
35	16,8	1.22531	3771	142	490,5	2,69064	10146	-1746	2,68913	-151	0	-1595	25	-1746	30
36	16,8	1.22531	3771	142	490	2,6902	10145	-1746	2,68913	-107	0	-1639	27	-1746	30
37	16,8	1.22531	3771	142	484	2,68484	10125	-1746	2,68913	429	2	-2175	47	-1746	30
38	16,8	1.22531	3771	142	482,5	2,6835	10119	-1746	2,68913	563	3	-2309	53	-1746	30
39	16,8	1.22531	3771	142	480,5	2,68169	10113	-1746	2,68913	744	6	-2490	62	-1746	30
40	16,8	1.22531	3771	142	480	2,68124	10111	-1746	2,68913	789	6	-2535	64	-1746	30
41	16,8	1.22531	3771	142	479,5	2,68079	10109	-1746	2,68913	834	7	-2580	67	-1746	30
42	16,8	1.22531	3771	142	473,5	2,67532	10089	-1746	2,68913	1381	19	-3127	98	-1746	30
43	17,2	1.23553	4793	230	473,5	2,67532	12823	-2219	2,6844	908	8	-3127	98	-2219	49
44	17,2	1.23553	4793	230	472,5	2,6744	12818	-2219	2,6844	1000	10	-3219	104	-2219	49
45	17,6	1.24551	5791	335	470,5	2,67256	15477	-2681	2,67978	722	5	-3403	116	-2681	72
46	17,6	1.24551	5791	335	469	2,67025	15463	-2681	2,67978	953	9	-3634	132	-2681	72
47	17,6	1.24551	5791	335	467,5	2,66970	15461	-2681	2,67978	1000	10	-3681	135	-2681	72
48	17,6	1.24551	5791	335	462,5	2,66511	15434	-2681	2,67978	1467	22	-4148	172	-2681	72
49	18	1.25527	6767	458	460,2	2,66295	18020	-3133	2,67526	1231	15	-4364	190	-3133	98
S	****	58,19239	0	10759	****	132,623	-4981	0	135,36052	0	343	0	2645	0	2307