

## LISTE DES ABREVIATIONS

### Institutions citées :

Abréviation	Référence complète
Cirad-ca	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département des cultures annuelles
ENSITM	Ecole Nationale Supérieure des Industries Textiles de Mulhouse
ITMF	International Textile Manufacturers Federation
USDA ARS	United States Department of Agriculture, Agricultural Research Services

### Appareillages utilisés :

Abréviation	Référence complète
AFIS	Advanced Fiber Information System, Zellweger Uster, Knoxville, Tennessee, USA
FMT3	Finenes Maturity Tester, 3 <sup>e</sup> génération, Shirley Development Limited, Manchester, Grande-Bretagne
HVI	High Volume Instrument : Appareil d'analyse à haut débit des caractéristiques technologiques des fibres de coton, Zellweger Uster, Knoxville, Tennessee, USA
Mantis	Appareil d'analyse de la dynamométrie fibre par fibre, Zellweger Uster, Knoxville, Tennessee, USA
RST	Reference Strength Tester
Stélo	Stéломètre, Zellweger Uster, Knoxville, Tennessee, USA

Avertissement : Les matériels cités dans ce document sont ceux auxquels nous avons eu accès. Leur mention ne constitue pas une recommandation exclusive.

### Grandeurs mesurées et unité :

#### AFIS

Abréviation	Référence complète
Lw	Longueur moyenne en poids, millimètre.
LwCV	Coefficient de variation de la longueur en poids des fibres, pour cent.
UQLw	UQLw
Ln	Longueur moyenne en nombre, millimètre.
LnCV	Coefficient de variation de la longueur en nombre des fibres, en pour cent.
MR	Maturity Ratio
H	Finesse linéique en mtex

**FMT3**

Abréviation	Référence complète
IM	Indice micronaire, sans unité
MR	Maturity Ratio, sans unité
PM%	Percent of Mature fibers, pourcent
H	Finesse linéique des fibres, mtex
Hs	Finesse standard des fibres, mtex, rapport de H sur MR

**Mantis**

Abréviation	Référence complète
Dep	Nombre de pas de déplacement des pinces Mantis à un instant t du test, en pas
Tb	Force enregistrée à un instant t d'un test Mantis, cN

**HVI**

Abréviation	Référence complète
ML	Mean Length, longueur moyenne des fibres, millimètre
UHML	Upper Half Mean Length, longueur de référence donnée pour les transactions commerciales des fibres de coton, millimètre
UI	Uniformity Index, pour cent
Strength	Ténacité HVI, gramme par tex
Elong	Allongement relatif de rupture donné par HVI, pour cent
Amount	Quantité de fibres dans le peigne, unité optique fonction d'un voltage
Work Peak	Travail enregistré jusqu'au pic maximal de force lors d'une casse, N.m
Work Total	Travail enregistré sous toute la courbe force / déformation lors d'une casse, N.m
Crimp	Frisure des fibres, pourcentage de la longueur initiale de casse de 3.175 mm
Modulus	Module d'élasticité enregistré lors de la casse d'un faisceau de fibres parallèles, le constructeur ne précise pas l'unité dans laquelle est exprimée cette grandeur, généralement exprimée en cN/(tex.%).

**RST04**

Abréviation	Référence complète
GPT	Ténacité, cN/tex
Elg	Allongement relatif de rupture, pour cent
BAMT	Base Amount, masse optique à la base d'un peigne destiné à une analyse HVI ou Fibrographe, unité optique fonction d'un voltage
BKAMT	Break Amount, masse optique à laquelle le faisceau de fibre est rompu sur appareil RST, unité optique fonction d'un voltage
TAMT	Total Amount, masse optique totale des fibres composant un faisceau de fibres soumis à une analyse RST, unité optique fonction d'un voltage
WGT	Weight, masse des fibres ayant été isolées par le procédé d'analyse RST, mg

**RST**

Abréviation	Référence complète
GPT	Ténacité, cN/tex
Elg	Allongement relatif de rupture, pour cent
BAMT	Base Amount, masse optique à la base d'un peigne destiné à une analyse HVI ou Fibrographe, unité optique fonction d'un voltage
BKAMT	Break Amount, masse optique à laquelle le faisceau de fibre est rompu sur appareil RST, unité optique fonction d'un voltage
TAMT	Total Amount, masse optique totale des fibres composant un faisceau de fibres soumis à une analyse RST, unité optique fonction d'un voltage
WGT	Weight, masse des fibres ayant été isolées par le procédé d'analyse RST, mg
EstWGT	Estimation de la masse de fibres rompues
Tex	Finesse linéique des fibres rompues

**Stéломètre**

Abréviation	Référence complète
Tl	Ténacité donnée par le Stéломètre, cN/tex
El	Allongement relatif de rupture, pour cent
Force	Force nécessaire de rupture d'un faisceau de fibres parallèles, en daN
Masse	Masse des fibres rompues, en mg



## Filature

Abréviation	Référence complète
Thin	Nombre de finesses -50% au 1000 m de fil, régularimètre UT3
Thick	Nombre de grosseurs +50% au 1000 m de fil, régularimètre UT3
Neps	Nombre de neps (+200% pour fils classiques et +280% pour fils à bouts libérés) au 1000 m de fil, régularimètre UT3
CV%	Indice d'irrégularité des fils, régularimètre UT3
FmaxV	Force de rupture maximale enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 0.3 seconde/test
AllongV	Allongement en % enregistré au Tensorapid à une vitesse de casse de 0.3 seconde/test
TénacitéV	Ténacité en cN/tex enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 0.3 seconde/test
CVTenV	Coefficient de variation de la force de rupture maximale enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 0.3 seconde/test
FmaxL	Force de rupture maximale enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 20 secondes/test
AllongL	Allongement en % enregistré au Tensorapid à une vitesse de casse de 20 secondes/test
TénacitéL	Ténacité en cN/tex enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 20 secondes/test
CVTenL	Coefficient de variation de la force de rupture maximale enregistrée au Tensorapid à une vitesse de casse de 20 secondes/test
TitreTensorL	Titre en tex du fil au Tensorapid, à une vitesse de 20 secondes/test
RS	Ring Spinning : filature classique à anneau et curseur
OE	Open-end : filature à bouts libérés
TrFib	Trashcam sur nappe de fibre, nombre de débris de coque par échantillon de taille standardisée
TrOE	Trashcam sur plaquette de fil OE : nombre de débris de coque par 114 mètres de fil
TrRS	Trashcam sur plaquette de fil RS : nombre de débris de coque par 114 mètres de fil

## Autres :

Abréviation	Référence complète
HVICC	High Volume Instrument Calibration Cotton : Type de standards de référence pour l'étalonnage des chaînes de mesure HVI
ICCS	International Calibration Cotton Standard : Type de standards de référence pour l'étalonnage des appareils classiques de mesure (Stélomètre, Fibrographe, ...)

## Signification : symboles utilisés dans le document

Abréviation	Référence complète
Signif.	Signification
*	test statistique significatif au seuil 5 %
**	test statistique significatif au seuil 1 %
***	test statistique significatif au seuil 0.1 %
NS	test statistique non significatif au seuil 5 %
Proba>F	Probabilité de dépassement de la valeur critique de F de Fisher-Snedecor

## LISTE DES FIGURES

Figure A-1 : Zones de culture cotonnière dans le monde (d'après Matthews, 1989). .....	30
Figure A-2 : Évolution de la surface cotonnière, du rendement et de la production mondiale de fibre (d'après ICAC, 1999). .....	30
Figure A-3 : Principaux pays producteurs et exportateurs de fibre de coton en 1999/2000 (d'après ICAC, 1999). .....	30
Figure A-4 : Phases de développement du cotonnier (Archives Cirad). .....	32
Figure A-5 : Développement du fruit du cotonnier <i>G. hirsutum</i> (Archives Cirad). .....	32
Figure A-6 : Propreté du coton-graine selon le mode de récolte (clichés J.L.Chanselme) .....	34
Figure A-7 : Récolteuses mécaniques (clichés J.-L. Chanselme). .....	34
Figure A-8 : Schéma d'une égreneuse à rouleau (Parry, 1982). .....	35
Figure A-9 : Schéma d'une égreneuse à scies (Parry, 1982). .....	35
Figure A-10 : Coupe longitudinale de deux graines de coton, glanded et glandless (Archives Cirad-ca). .....	37
Figure A-11 : Développement de la fibre de coton à partir de l'anthèse (d'après Roehrich, 1947a). .....	38
Figure A-12 : Coupe longitudinale schématique d'une fibre de coton (Parry, 1982) .....	38
Figure A-13 : Coupe schématique de fibres immatures à très mûres ; dessèchement et aplatissement des fibres après ouverture de la capsule (d'après Roehrich, 1947b et Jacquemart, 1953). .....	39
Figure A-14 : Vue microscopique de sections de fibres mûres (Desplans, 1996). .....	39
Figure A-15 : Schéma de l'organisation de la filière textile. ....	41
Figure A-16 : Critères technologiques les plus importants pour les fibres de coton. ....	42
Figure A-17 : Parts de marché des différents exportateurs de fibres de coton en 1994. ....	44
Figure A-18 : Répartition des HVI dans les pays producteurs et/ou utilisateurs de fibres de coton. ....	44
Figure B-1 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un histogramme. ....	48
Figure B-2 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un diagramme. ....	48
Figure B-3 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un fibrogramme normalisé. ....	48
Figure B-4 : Système d'interprétation du fibrogramme ; principes des <i>Span Lengths</i> . ....	49
Figure B-5 : Système d'interprétation du fibrogramme ; principe des <i>Mean Lengths</i> . ....	49
Figure B-6 : Nombre de HVI (complets ou partiels) installés dans le monde (Hunter, 2000). ....	53
Figure B-7 : Consommation annuelle de cotons ICCS (Source USDA). ....	57
Figure B-8 : Consommation annuelle de cotons HVICC (Source USDA). ....	57
Figure B-9 : Consommation annuelle de cotons ICCS Mike Only (Source USDA). ....	57
Figure B-10 : Définition de quelques termes utilisés pour interpréter les résultats d'un test de dynamométrie. ....	60
Figure B-11 : Représentation selon un modèle analogique du comportement réel de la réponse des fibres à la traction. ....	62
Figure C-1 : Nombre de communications / publications sur la technologie cotonnière par HVI. ....	65
Figure C-2 : Nombre de communications / publications sur la mesure de la ténacité des fibres par HVI. ....	65
Figure C-3 : Organisation générale des recherches conduites dans ce travail de thèse. ....	67
Figure D-1 : Photographie du Stélomètre et de tous ses accessoires (photographie extraite de la norme ASTM). ....	70
Figure D-2 : Schéma de fonctionnement de l'appareil AFIS (Shofner et al., 1992). ....	73



Figure D-3 : Schéma du principe opto-électronique de mesure de la longueur et du diamètre des fibres. ....	73
Figure D-4 : Illustration de la préparation des échantillons de fibre pour une caractérisation sur appareil Mantis. ....	75
Figure D-5 : Réalisation d'un test Mantis sur une fibre. ....	76
Figure D-6 : Ecran de l'appareil avec représentation du graphe force / distance ; on remarquera notamment l'allure du signal. ....	76
Figure D-7 : Schéma de l'application Ideal99 permettant l'accès en ligne des données Mantis. ....	78
Figure D-8 : Répartition des enregistrements de Tb et Dep par classe de longueur de fibre sur Mantis, variété 1243. ....	80
Figure D-9 : Répartition des enregistrements de Tb et Dep par classe de longueur de fibre sur Mantis, variété 28764. ....	80
Figure D-10 : Visualisation d'une courbe de force en fonction de l'allongement sur Mantis dont l'allure est discutable. ....	81
Figure D-11 : Visualisation d'une courbe de la force en fonction de l'allongement sur Mantis dont l'allure est normale. ....	81
Figure D-12 : Comparaison des allongements (en pas) mesurés à 2.22 mm/s de vitesse de casse et à 1 mm/s. ....	82
Figure D-13 : Comparaison des forces de rupture (Tb, cN) mesurés à 2.22 mm/s et à 1 mm/s. ....	82
Figure D-14 : Schéma du système optique du HVI pour la mesure de la distribution des longueurs de fibre. ....	85
Figure D-15 : Schéma du système d'application de contrainte de traction du HVI ; le peigne est en place avant le serrage des pinces de traction. ....	85
Figure D-16 : Relevé réel de force en fonction du déplacement de la pince arrière. ....	85
Figure D-17 : Courbe corrigée de la force pour les déflexions des bras de levier en fonction du déplacement des pinces de traction HVI, et informations retenues. ....	85
Figure D-18 : L'application Ideal99 est complétée par un dispositif de simulation de casses en faisceau de fibres parallèles. ....	92
Figure D-19 : Exemple de simulations sans crimp réalisées à partir de 100 fibres de 3 cotons différents. ....	95
Figure D-20 : Exemple de simulations avec crimp ( $\bar{u} = 0.4$ , $\sigma^2 = 0.01$ ) réalisées à partir des cent mêmes fibres des 3 cotons différents. ....	95
Figure D-21 : Module 910B du HVI. ....	97
Figure D-22 : Boite à couper les faisceaux de fibres à une position déterminée. ....	97
Figure D-23 : Balance de précision (0.01 mg). ....	97
Figure D-24 : Faisceau de fibres dans le peigne avant le test de dynamométrie. ....	98
Figure D-25 : Faisceau de fibres après le test de dynamométrie et avant la coupe. ....	98
Figure D-26 : Les deux fibrogrammes normalisés obtenus lors d'une analyse RST. ....	99
Figure D-27 : Coupe du faisceau à la position déterminée. ....	99
Figure D-28 : Prélèvement du faisceau coupé pour pesée. ....	99
Figure D-29 : Illustration de l'effet de la correction de la flexion des bras de levier du système de traction. ....	100
Figure D-30 : Représentation de TAMT sur le fibrogramme de fibres cassées. ....	100
Figure D-31 : Illustration du calcul de TAMT à partir d'un fibrogramme sur fibres cassées. ....	100
Figure D-32 : Représentation du mode de calcul de la force maximale, du module et de l'allongement. ....	100
Figure D-33 : Exemple de forme géométrique pour les tests de linéarité de réponse du capteur optique. ....	105
Figure D-34 : Dispositif permettant le contrôle d'avancement du chariot porte-peigne. ....	105
Figure D-35 : Signal enregistré et normalisé pour la forme M4 en fonction de sa position dans le capteur optique. ....	105

Figure D-36 : Méthodologies possibles pour la fabrication du fil en micro-filature au Cirad.....	106
Figure D-37 : Micro filature utilisée au Cirad.....	107
Figure D-38 : Formation de la torsion du fil en filature open-end.....	110
Figure D-39 : Diagramme général de force/allongement et définition associées.....	111
Figure D-40: Principe du dynamomètre fil à fil.....	111
Figure D-41 : Résultats des prévisions de la force de rupture des filés de différents titres en fonction de la ténacité des fibres mesurée par HVI.....	114
Figure E-1 : Répartition de la lumière dans le capteur optique (schéma original Gourlot 12/97).....	118
Figure E-2 : Exemple de deux fibres dans le capteur optique.....	120
Figure E-3 : Deux exemples de relation entre la masse et TAMT sur une large gamme de TAMT.....	122
Figure E-4 : Courbes estimées des relations masse en fonction de TAMT pour 7 cotons testés sur RST.....	122
Figure E-5 : Relations entre la masse et TAMT en fonction des valeurs de micronaire.....	123
Figure E-6 : Relations entre masses et TAMT pour des échantillons issus de mélanges en différents pourcentages de deux cotons de micronaires différents.....	125
Figure E-7 : Relation entre masses et TAMT pour 10 cotons gonflés à la soude.....	126
Figure E-8 : Relation entre masses et TAMT pour le coton 28020, analysé sur des fibres brutes, débouillies et gonflées à la soude.....	126
Figure E-9 : Relation entre masses et TAMT pour le coton 28671, analysé sur des fibres brutes, débouillies, et gonflées à la soude.....	126
Figure E-10 : Relation entre masses et TAMT pour le coton D, analysé sur des fibres brutes, débouillies et gonflées à la soude.....	126
Figure E-11 : Calcul de la masse de fibres rompues selon les deux modes de calcul : proportion (RST04) et régression polynomiale (RSTXX).....	128
Figure E-12 : Comparaison des réponses montantes du capteur optique : signal relevé / modélisé dans le cas du transparent M4.....	129
Figure E-13 : Comparaison des réponses descendantes du capteur optique : signal relevé / modélisé dans le cas du transparent M4.....	129
Figure E-14 : Résultats des tests inter-laboratoires de Brème : différences entre ténacités HVI dans l'étalonnage ICCS ou HVICC et les valeurs du Stéломètre en fonction de Rd%.....	131
Figure E-15 : Résultats des tests de l' <i>USDA HVI check test level program</i> : différences entre ténacités dans l'étalonnage HVICC et les valeurs stéломétriques en fonction de Rd%.....	131
Figure E-16 : Couleur des cotons sélectionnés représentés dans le graphe de couleur de l' <i>USDA</i> .....	131
Figure E-17: Relations WGT en fonction des valeurs AMT pour les 9 cotons teints.....	131
Figure E-18 : Même relation que précédemment limitée dans une gamme restreinte de amount AMT=300 - Effet sur les estimations de masse de fibres.....	133
Figure E-19 : Relation entre les masses estimées et les caractéristiques de couleur des cotons pour AMT=200.....	133
Figure E-20 : Coefficients de corrélation entre les paramètres de couleur et les masses de fibres pour une large gamme de AMT et pour les 9 cotons teints.....	133
Figure E-21 : Relation entre la ténacité HVI et le Maturity Ratio (FMT3) dans le cas de l'essai variétal 2000 à Montpellier.....	135
Figure E-22 : Organisation de l'expérimentation à base de récoltes de fibres par position sur trois variétés de cotonnier.....	137
Figure E-23 : Relation entre les résultats de mesure de MR par AFIS et par FMT3 selon Gérald Valdeyron (DEA).....	137



Figure E-24 : Répartition des capsules par classes de MR, variété D.....	138
Figure E-25 : Répartition des capsules par classes de MR, variété N.....	138
Figure E-26 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété D. ....	138
Figure E-27 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété N. ....	138
Figure E-28 : Répartition des capsules par classes de MR, variété P. ....	139
Figure E-29 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété P.....	139
Figure E-30 : Vérification du niveau de MR selon les classes définies.....	140
Figure E-31 : Vérification du niveau de H (mtex) selon les classes définies de MR.....	140
Figure E-32 : Relevés de forces moyennes Tb de rupture (cN) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	143
Figure E-33 : Relevés des allongements moyens de rupture Dep (pas) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	143
Figure E-34 : Relevés de ténacités HVI moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.....	144
Figure E-35 : Relevés d'allongements HVI moyens (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.....	144
Figure E-36 : Relevés de ténacités RST04 moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	146
Figure E-37 : Relevés de ténacités RSTXX moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	146
Figure E-38: Relevés des allongements RST04 et RSTXX moyens (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	146
Figure E-39 : Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les diverses classes de maturité de la variété D.....	147
Figure E-40 : Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les diverses classes de maturité de la variété N.....	148
Figure E-41 : Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les diverses classes de maturité de la variété P. ....	148
Figure E-42: Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les trois variétés. ....	149
Figure E-43 : Relevés de ténacités moyennes (cN/tex) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	150
Figure E-44 : Relevés des allongements moyens au Stéломètre (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	150
Figure E-45 : Relevés de forces de rupture moyennes (cN) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	150
Figure E-46 : Relevés de masses moyennes de fibres rompues (mg) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité. ....	150
Figure E-47 : Allongements (en pas) des faisceaux simulés sans <i>crimp</i> . ....	151
Figure E-48 : Force maximale (cN) des faisceaux simulés sans <i>crimp</i> . ....	151
Figure E-49 : Allongements (en pas) des faisceaux simulés avec <i>crimp</i> . ....	151
Figure E-50 : Force maximale (cN) des faisceaux simulés avec <i>crimp</i> . ....	151
Figure E-51 : Schéma de l'expérimentation sur les coupes de fibres.....	154
Figure E-52 : Vue photographique de la préparation et de la coupe au massicot des échantillons de fibres.....	155
Figure E-53 : Effet de la coupe sur quelques critères de distribution de longueur des échantillons utilisés.....	158
Figure E-54 : Evolution du coefficient de coupe par coton. ....	158

Figure E-55 : Relation entre la mesure de UHML mesurée et celle attendue.....	159
Figure E-56 : Comparaison des moyennes de UHML (attendue, mesurée).....	159
Figure E-57 : Illustration de l'effet de la coupe : relation entre la strength (cN/tex) et la longueur UHML (mm) des fibres. ....	161
Figure E-58 : Représentation de l'interaction constatée pour la Mean Length exprimée en mm.....	161
Figure E-59 : Représentation de l'interaction constatée pour l'Upper Half Mean Length exprimée en mm. ....	161
Figure E-60 : Représentation de l'interaction constatée pour l'Uniformity Index exprimé en %. ....	161
Figure E-61 : Représentation de l'interaction constatée pour la Strength exprimée en cN/tex. ....	161
Figure E-62 : Représentation de l'interaction constatée pour Elong exprimé en %. ....	161
Figure E-63 : Représentation de l'interaction constatée pour le Crimp exprimé en %. ....	162
Figure E-64 : Représentation de l'interaction constatée pour le Work Peak exprimé en m.N. ....	162
Figure E-65 : Représentation de l'interaction constatée pour le Work Total exprimé en m.N.....	162
Figure E-66 : Représentation de l'interaction constatée pour le Modulus en cN/(tex.%). ....	162
Figure E-67 : Relation entre l'allongement HVI et la longueur des fibres, par coton. ....	162
Figure E-68 : Relation entre le crimp et la longueur des fibres, par coton. ....	162
Figure E-69 : Relation entre Modulus HVI et la longueur des fibres, par coton. ....	163
Figure E-70 : Simulation de l'effet du niveau de variance relevé dans la distribution des allongements des fibres individuelles sur les résultats observés sur faisceaux de fibres parallèles.....	164
Figure E-71 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur T1 de 5 cotons.....	166
Figure E-72 : Relation entre T1 et la longueur des fibres représentée par coton. ....	166
Figure E-73 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur Force de 5 cotons. ....	166
Figure E-74 : Relation entre la force de rupture moyenne et la longueur des fibres par coton.....	166
Figure E-75 : Effet de la coupe de fibre sur la valeur de masse de 5 cotons. ....	166
Figure E-76 : Relation entre la masse moyenne de fibres rompues et la longueur des fibres.....	166
Figure E-77 : Evolution de la charge de rupture (daN) et de la masse d'échantillon (mg) au Stéломètre pour les cotons ICCS en fonction de la longueur SL 2,5 % (mm).....	168
Figure E-78 : Evolution de T1 et de E1 au Stéломètre en fonction de la longueur des fibres, 8 cotons ICCS....	168
Figure E-79 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur d'allongement E1 de 5 cotons.....	168
Figure E-80 : Relation entre l'allongement moyen et la longueur des fibres représentée par coton. ....	168
Figure E-81 : Effet de la longueur de fibres sur la variance de E1 pour les cotons Upland ICCS.....	169
Figure E-82 : Représentation de l'interaction variété / état pour la force (exprimée en cN.).....	171
Figure E-83 : Représentation de l'interaction variété / état pour BAMT (exprimée en unité de mesure).....	171
Figure E-84 : Représentation de l'interaction variété / état pour TAMT (exprimée en unité de mesure). ....	171
Figure E-85 : Représentation de l'interaction variété / état pour IB% (exprimée en pas). ....	171
Figure E-86 : Représentation de l'interaction variété / état sur RST04 pour EstWGT (exprimée en mg). ....	171
Figure E-87 : Illustration de l'interaction variété / état sur RSTXX pour EstWGT (exprimée en milligramme). 171	
Figure E-88 : Relations entre les lectures de ténacités lues sur les dispositifs RST et la longueur des fibres. ....	173
Figure E-89 : Illustration de l'erreur possible de positionnement des pinces de traction du HVI et/ou du RST quand les fibres sont trop courtes.....	174
Figure E-90 : Relation entre la UHML mesurée par peignes individuels et la distance entre le peigne et la pince arrière.....	174



Figure E-91 : Relation entre la UHML moyenne déterminée par HVI et la distance entre le peigne et la pince arrière.....	175
Figure E-92 : Expérimentation complémentaire de coupes de fibres.....	176
Figure E-93 : Effet de la coupe sur le coefficient de coupe des fibres observé (rapport de UQLw mesuré sur UQL de la variété non coupée).....	178
Figure E-94 : Effet de la coupe sur le coefficient de coupe des fibres observé (rapport de UHML mesuré sur UHML de la variété non coupée).....	179
Figure E-95 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur la ML exprimée en mm. ....	180
Figure E-96 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Elong exprimée en %. ....	180
Figure E-97 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Amount exprimée en unité de lecture.....	180
Figure E-98 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Workpeak. ....	180
Figure E-99 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur le Crimp exprimée %. ....	180
Figure E-100 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur le Modulus.....	180
Figure E-101 : Relation entre le crimp (en %) et l'UHML pour les deux variétés.....	181
Figure E-102 : Relation entre Strength et UHML pour deux variétés.....	181
Figure E-103 : Relation entre la ténacité T1 et la longueur UHML pour deux cotons.....	183
Figure E-104 : Relation entre la masse de fibres rompues et la longueur UHML pour deux cotons.....	183
Figure E-105 : Représentation des résultats GPT en fonction de la coupe et de la variété pour RST04. ....	184
Figure E-106 : Relation entre les résultats GPT en fonction de UHML pour les deux variétés.....	184
Figure E-107 : Relation entre la UHML mesurée par peigne individuel et la distance entre le peigne et la pince arrière.....	184
Figure E-108 : Relation entre la UHML moyenne déterminée par HVI et la distance entre le peigne et la pince arrière.....	184
Figure E-109 : Relation entre la masse et TAMT sur les échantillons NC et C050 de la variété 1243.....	186
Figure E-110 : Comparaison des fibrogrammes bruts pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de TAMT voisines.....	186
Figure E-111 : Comparaison des fibrogrammes normalisés pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de TAMT voisines.....	186
Figure E-112 : Comparaison de fibrogrammes bruts pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de quantités comparables de fibres dans le peigne voisines.....	187
Figure E-113 : : Comparaison de fibrogrammes normalisés pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de quantités comparables de fibres dans le peigne voisines.....	187
Figure E-114 : Positions des relevés de température et d'humidité relative.....	194
Figure E-115 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts de température relevés quand l'aspiration est arrêtée.....	195
Figure E-116 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts d'humidité relative relevés quand l'aspiration est arrêtée.....	195
Figure E-117 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts de température relevés quand l'aspiration est en marche.....	195
Figure E-118 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts d'humidité relative relevés quand l'aspiration est en marche.....	195
Figure E-119 : Zone de test sur Mantis avec capteur de mesure de RW.....	196
Figure E-120 : Comparaison des résultats Mantis : Tb pour coton B26.....	197
Figure E-121 : Comparaison des résultats Mantis : Dep pour coton B26.....	197

Figure E-122 : Effet de HR : C36, Tb.....	197
Figure E-123 : Effet de HR : C36 Dep .....	197
Figure E-124 : Effet de HR : D5, Tb. ....	197
Figure E-125 : Effet de HR : D5, Dep.....	197
Figure E-126 : Effet de HR : E4, Tb.....	198
Figure E-127 : Effet de HR : E4, Dep.....	198
Figure E-128 : Effet de HR : G17, Tb. ....	198
Figure E-129 : Effet de HR : G17, Dep .....	198
Figure E-130 : Effet de HR : I26, Tb.....	198
Figure E-131 : Effet de HR : I26, Dep.....	198
Figure F-1 : Relations entre les résultats de ténacités (cN/tex) mesurées sur faisceaux de fibres et la longueur UHML (mm).....	203
Figure F-2 : Relations entre les résultats de forces de rupture (cN) mesurées sur Mantis et la longueur UHML (mm).....	203
Figure F-3 : Relation entre la ténacité HVI et les ténacités des filés OE et RS. ....	208
Figure F-4 : Relations entre les forces de rupture Mantis (cN) et les forces de rupture des filés OE et RS (cN).208	
Figure F-5 : Evolution des coefficients de corrélation entre les forces maximales déduites des simulations et les ténacités mesurées sur fibre et sur fil en fonction des paramètres choisis pour définir le <i>crimp</i> .....	210
Figure F-6 : Evolution des coefficients de corrélation entre les ténacités calculées à partir des simulations et les ténacités mesurées sur fibre et sur fil en fonction des paramètres choisis pour définir le <i>crimp</i> .....	210



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau B-1 : Précisions atteintes par les mesures HVI dans le cadre de l'utilisation de l'USDA.....	54
Tableau B-2 : Répartition de la consommation de cotons standards par type et par zone d'utilisation en 1991.....	57
Tableau B-3 : Répartition de la consommation de cotons standards par type et par zone d'utilisation en 1994 ; Evolution de la consommation par rapport à 1991.....	57
Tableau B-4 : Liste des hypothèses / conditions émises dans les tests de résistance des matériaux.....	61
Tableau D-1 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au Stéломètre ; illustrations des cas principaux.....	72
Tableau D-2 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au Mantis ; illustrations des cas principaux.....	79
Tableau D-3 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux.....	89
Tableau D-4 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux, explications des différents cas.....	89
Tableau D-5 : Explication de l'algorithme de calcul des forces estimées pour un faisceau de fibres à partir des données Mantis.....	93
Tableau D-6 : Explication de l'algorithme de calcul des forces estimées pour un faisceau de fibres à partir des données Mantis en intégrant l'effet de la frisure (crimp de valeur c) des fibres.....	94
Tableau D-7 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux, explications des différents cas.....	103
Tableau D-8 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au RST ; illustrations des cas principaux.....	104
Tableau D-9 : Signification des réglages des étages de sensibilité des finesses sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application.....	112
Tableau D-10 : Signification des réglages des étages de sensibilité des grosseurs sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application (Zellweger-Uster, 1984).....	112
Tableau D-11 : Signification des réglages des étages de sensibilité correspondant aux neps, sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application.....	113
Tableau E-1 : Description des échantillons.....	120
Tableau E-2 : Coefficients a, b et R <sup>2</sup> des équations $WGT(mg) = a \cdot TAMT^2 + b \cdot TAMT$ pour tous les cotons testés.....	121
Tableau E-3 : Explication de la réponse du capteur optique en fonction du micronaire pour 1 mg de fibres.....	123
Tableau E-4 : Pourcentages de cires, valeurs de IM mesurées et calculées en fonction de la préparation des échantillons.....	125
Tableau E-5 : Résultats de colorimétrie en fonction de la préparation des échantillons.....	127
Tableau E-6 : Résultats de colorimétrie pour les cotons teints.....	132
Tableau E-7 : Coefficients a, b, et R <sup>2</sup> de l'Équation E-9 pour tous les cotons de l'expérimentation.....	132
Tableau E-8 : Répartition des capsules par variété et par classe de maturité.....	136
Tableau E-9 : Comparaison des gammes de MR entre les différentes études.....	137
Tableau E-10 : Résultats AFIS par variété et par classe de maturité.....	140
Tableau E-11 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par AFIS et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).....	141
Tableau E-12 : Nombre de fibres testées par variété et par classe de maturité.....	142
Tableau E-13 : Résultats Mantis par variété et par classe de maturité.....	142
Tableau E-14 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par Mantis et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).....	142
Tableau E-15 : Résultats HVI par variété et par classe de maturité.....	144

Tableau E-16 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par HVI et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).....	144
Tableau E-17 : Résultats RST04 par variété et par classe de maturité. ....	145
Tableau E-18 : Résultats RSTXX par variété et par classe de maturité.....	145
Tableau E-19 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par RST et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).....	146
Tableau E-20 : Coefficients des relations entre TAMT et la masse par variété et par classe de maturité. ....	147
Tableau E-21 : Résultats Stéломètre par variété et par classe de maturité. ....	149
Tableau E-22 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par Stéломètre et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).....	150
Tableau E-23 : Résultats des simulations. ....	151
Tableau E-24 : Liste des relations significatives entre les critères étudiés sur les simulations et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] ; 0.80[ exclues).....	152
Tableau E-25 : Caractéristiques technologiques des cotons retenus pour l'expérimentation.....	154
Tableau E-26 : Effet de la coupe des fibres sur les paramètres de maturité / finesse mesurés par FMT3 ; résultats de l'analyse de variance.....	156
Tableau E-27 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats FMT3. ....	157
Tableau E-28 : Effet de la coupe des fibres sur les paramètres de longueur par AFIS ; résultats de l'analyse de variance.....	158
Tableau E-29 : Relevé des moyennes des paramètres de longueur mesurés par AFIS par variété et par niveau du facteur coupe.....	158
Tableau E-30 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI. ....	160
Tableau E-31 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats HVI. ....	160
Tableau E-32 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats moyens d'analyse par Mantis.....	164
Tableau E-33 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Mantis. ....	165
Tableau E-34 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au Stéломètre.....	165
Tableau E-35 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Stéломètre. ....	165
Tableau E-36 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au RST04. ....	170
Tableau E-37 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RST04. ....	170
Tableau E-38 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au RSTXX.....	172
Tableau E-39 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RSTXX. ....	172
Tableau E-40 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de maturité / finesse mesurés par FMT3 ; résultats de l'analyse de variance.....	177
Tableau E-41 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats FMT3. ....	177
Tableau E-42 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par AFIS ; résultats de l'analyse de variance.....	178
Tableau E-43 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats AFIS.....	178
Tableau E-44 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres mesurés par HVI ; résultats de l'analyse de variance.....	179
Tableau E-45 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats HVI. ....	179
Tableau E-46 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de dynamométrie mesurés par Mantis; résultats de l'analyse de variance.....	181



Tableau E-47 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Mantis. ....	181
Tableau E-48 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de dynamométrie mesurés par Stéломètre ; résultats de l'analyse de variance. ....	182
Tableau E-49 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Stéломètre. ....	182
Tableau E-50 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par RST04 ; résultats de l'analyse de variance. ....	183
Tableau E-51 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RST04. ....	183
Tableau E-52 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par RSTXX ; résultats de l'analyse de variance. ....	185
Tableau E-53 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RSTXX. ....	185
Tableau E-54 : Coefficients des relations entre TAMT et la masse par variété et par classe de maturité. ....	185
Tableau E-55 : Description des cotons utilisés. ....	189
Tableau E-56 : Effet de l' <i>amount</i> sur les critères technologiques mesurés sur HVI. ....	189
Tableau E-57 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI. ....	190
Tableau E-58 : Relevé des moyennes observées sur HVI par type d'échantillon. ....	190
Tableau E-59 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par RST04. ....	190
Tableau E-60 : Relevé des moyennes observées sur RST04 par type d'échantillon. ....	191
Tableau E-61 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI. ....	191
Tableau E-62 : Relevé des moyennes observées sur HVI par type d'échantillon. ....	191
Tableau E-63 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par RST04. ....	192
Tableau E-64 : Relevé des moyennes observées sur RST04 par type d'échantillon. ....	192
Tableau E-65 : Conditions des analyses Mantis. ....	196
Tableau F-1 : Descriptif des 16 cotons utilisés et leurs caractéristiques HVI, et FMT. ....	201
Tableau F-2 : Corrélations simples significatives au seuil 5 % entre résultats de caractérisation des fibres. ....	204
Tableau F-3 : Corrélations simples significatives au seuil 0.5 % entre les critères de fibres et ceux des filés. ....	205
Tableau F-4 : Liste des principales relations explicatives de la ténacité HVI à partir des critères de fibres. ....	206
Tableau F-5 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil RS 25 tex à partir des critères de fibres. ....	206
Tableau F-6 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil RS 25 tex à partir des critères de fibres (14 cotons, 3 cotons longue fibre non retenus). ....	206
Tableau F-7 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil OE 27 tex à partir des critères de fibres. ....	207
Tableau F-8 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil OE 27 tex à partir des critères de fibres (14 cotons, 3 cotons longue fibre non retenus). ....	207
Tableau F-9 : Nombre de fibres dans les populations d'origine (17 cotons). ....	209
Tableau F-10 : Corrélations entre ténacités calculées par simulations et les résultats obtenus par appareil (17 cotons). ....	209

## ***SOMMAIRE***



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>25</b>
<b>CHAPITRE A : GENERALITES : LE COTONNIER, CULTURE ET TRANSFORMATION.....</b>	<b>29</b>
A.1. LE COTONNIER DU CHAMP A LA FIBRE .....	29
A.1.1. Le genre <i>Gossypium</i> L. ....	29
A.1.2. Le coton à travers le monde.....	29
A.1.3. Morphologie et développement.....	31
A.1.3.1. Morphologie .....	31
A.1.3.2. Cycle du cotonnier .....	31
A.1.4. Conduite de la culture .....	32
A.1.5. La récolte.....	33
A.1.6. L'égrenage .....	33
A.1.6.1. Égreneuse à rouleau .....	34
A.1.6.2. Égreneuse à scies .....	35
A.1.6.3. Opérations ultérieures .....	36
A.2. LA GRAINE DE COTON .....	36
A.3. LA FIBRE DE COTON .....	37
A.3.1. Formation et structure.....	37
A.3.2. Les différentes caractéristiques importantes des fibres de coton au travers de l'examen de la filière .....	39
A.3.2.1. Les étapes de la filière cotonnière.....	39
A.3.2.2. Comment la filière affecte la valeur des critères technologiques ? .....	42
A.3.2.3. Economie de la filière .....	43
<b>CHAPITRE B : BREF APERÇU SUR LES METHODES ET APPAREILS DE MESURE DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES FIBRES DE COTON.....</b>	<b>46</b>
B.1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES METHODES DE MESURE DES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES FIBRES DE COTON.....	46
B.1.1. Les méthodes traditionnelles .....	46
B.1.2. Les appareils classiques .....	47
B.1.2.1. Mesure du micronaire .....	47
B.1.2.2. Mesure des longueurs.....	48
B.1.2.3. Mesures de ténacité avec les appareils classiques sur faisceaux plats de fibres .....	50
B.1.3. Les appareils à basse productivité.....	52
B.1.4. Les appareils à haute productivité.....	52
B.1.4.1. Utilisation des HVI pour le classement commercial .....	53
B.1.4.2. Utilisation dans un programme d'amélioration variétale et la recherche en métrologie .....	54
B.2. NECESSITE D'UNE NORMALISATION INTERNATIONALE ET DEFINITION DES COTONS DE REFERENCE.....	55
B.2.1. Pourquoi une standardisation internationale ? .....	55
B.2.1.1. Les cotons ICCS .....	56
B.2.1.2. Les cotons HVICC.....	56
B.2.1.3. Les standards de grade et de pulling .....	56
B.2.2. Etude de consommation des différents standards d'étalonnage .....	56

B.2.3. Etalonnage (Calibration).....	58
B.2.4. Commentaires sur les méthodes d'établissement des valeurs de référence des cotons standards.....	58
B.3. POINT SUR LES CONDITIONS DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE POUR LE CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS ET LA REALISATION DES CARACTERISATIONS.....	59
B.4. DISCUSSION SUR LES CONDITIONS D'APPLICATION DES MODELES THEORIQUES ET RHEOLOGIQUES AUX TESTS SUR FIBRES DE COTON.....	60
B.5. POINT SUR LES LIBELLES DES CARACTERISTIQUES .....	62
<b>CHAPITRE C : OBJECTIFS DE RECHERCHE.....</b>	<b>65</b>
<b>CHAPITRE D : ANALYSE CRITIQUE DES METHODES DE MESURE UTILISEES DANS LA THESE .....</b>	<b>69</b>
D.1. APPAREIL STELOMETRE.....	69
D.1.1. Préparation des échantillons .....	69
D.1.2. Description de l'appareil .....	71
D.1.3. Réalisation des tests .....	71
D.1.4. Données recueillies et utilisées .....	71
D.1.5. Discussion des biais d'échantillonnage .....	71
D.2. APPAREIL AFIS .....	72
D.2.1. Préparation des échantillons .....	73
D.2.2. Description de l'appareil .....	73
D.2.3. Réalisation des tests .....	73
D.2.4. Données recueillies et utilisées .....	74
D.2.5. Discussion des biais d'échantillonnage .....	74
D.3. APPAREIL MANTIS .....	74
D.3.1. Préparation des échantillons .....	75
D.3.2. Description du Mantis.....	75
D.3.3. Réalisation des tests .....	76
D.3.4. Données recueillies et utilisées .....	77
D.3.5. Discussion sur les biais possibles .....	78
D.3.6. Discussion sur quelques premiers résultats Mantis .....	80
D.4. DESCRIPTION D'UNE CHAÎNE INTEGREE DE MESURE DESIGNEE SOUS LE NOM DE HVI .....	82
D.4.1. Préparation des échantillons .....	83
D.4.2. Description du HVI .....	83
D.4.2.1. Mesure de la colorimétrie et du taux de déchet.....	83
D.4.2.2. Mesure de l'indice micronaire .....	84
D.4.2.3. Méthode de mesure de la distribution de longueur des fibres .....	84
D.4.2.4. Dynamométrie .....	85
D.4.3. Réalisation des tests .....	86
D.4.4. Données recueillies et utilisées .....	86
D.4.5. Discussion des biais d'échantillonnage .....	87
D.4.5.1. En général .....	87
D.4.5.2. Mesure du micronaire .....	88
D.4.5.3. Mesure des longueurs caractéristiques.....	88
D.4.5.4. Mesure de la ténacité .....	88
D.4.5.5. Biais combinés.....	90
D.5. SIMULATIONS DE CASSE EN FAISCEAU A PARTIR DES DONNEES FIBRE PAR FIBRE MANTIS.....	90



D.5.1. Préparation des données relatives aux échantillons .....	91
D.5.2. Réalisation des simulations .....	95
D.5.3. Données recueillies et utilisées .....	96
D.5.4. Discussion sur les biais possibles .....	96
D.6. APPAREIL RST (REFERENCE STRENGTH TESTER) .....	96
D.6.1. Préparation des échantillons .....	96
D.6.2. Description de l'appareil .....	97
D.6.3. Réalisation des tests .....	97
D.6.3.1. Sur le module 910B .....	98
D.6.3.2. Sur le système de coupe et la balance de précision .....	99
D.6.3.3. Sur l'ordinateur .....	99
D.6.4. Données recueillies et utilisées .....	101
D.6.5. Discussion des biais possibles .....	102
D.7. FILATURE .....	105
D.7.1. Préparation des échantillons .....	106
D.7.2. Description du matériel utilisé et de la méthode employée .....	106
D.7.2.1. L'ouverture et le mélange de l'échantillon .....	106
D.7.2.2. Le cardage .....	107
D.7.2.3. La phase d'étirage .....	107
D.7.2.4. La filature .....	108
Le continu à filer à anneaux/ curseurs, à double étirage de Shirley - Platt .....	108
La filature à rotors de laboratoire Suessen .....	109
D.7.3. Réalisation des tests et mesures .....	110
D.7.4. Données recueillies et utilisées .....	110
D.7.4.1. Masse linéique du fil .....	110
D.7.4.2. Propriétés dynamométriques .....	110
D.7.4.3. Régularité du fil .....	111
Le diagramme de masse linéique .....	112
Imperfections du fil .....	112
Grosseurs et finesses du fil .....	112
Neps ou boutons .....	113
D.7.4.4. Pilosité du fil .....	113
D.7.4.5. Torsion du fil .....	113
D.7.5. Discussion sur les biais de mesure .....	114
D.8. CONCLUSION .....	115
<b>CHAPITRE E : EFFET DES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES FIBRES SUR LA MESURE DE LEUR RESISTANCE DE RUPTURE PAR HVI .....</b>	<b>117</b>
E.1. INTRODUCTION .....	117
E.2. EFFET DES IRREGULARITES DE SURFACE DES FIBRES SUR LA MESURE OPTIQUE DE LA MASSE OPTIQUE DE FAISCEAUX DE FIBRES .....	119
E.2.1. Introduction .....	119
E.2.2. Matériels et méthodes .....	119
E.2.2.1. Expérimentation n°1 .....	119
E.2.2.2. Expérimentation n°2 .....	120

E.2.2.3. Expérimentation n°3.....	120
E.2.3. Résultats et discussion.....	121
E.2.3.1. Expérimentation n°1.....	122
E.2.3.2. Expérimentation n°2.....	124
E.2.3.3. Expérimentation n°3.....	125
E.2.4. Conclusion.....	127
E.3. EFFET DE LA COULEUR SUR LA MESURE OPTIQUE DE MASSE DE FAISCEAUX DE FIBRES .....	129
E.3.1. Introduction et objectif.....	129
E.3.2. Matériels et méthodes.....	131
E.3.3. Résultats et discussion.....	131
E.3.4. Conclusion.....	133
E.4. EFFET DU COUPLE MATURITE/FINESSE A PARTIR DE CAPSULES SELECTIONNEES.....	134
E.4.1. Objectif.....	134
E.4.2. Matériels et méthodes.....	135
E.4.3. Résultats et discussion.....	139
E.4.3.1. Résultats AFIS .....	139
E.4.3.2. Résultats Mantis.....	141
E.4.3.3. Résultats HVI.....	143
E.4.3.4. Résultats RST.....	145
E.4.3.5. Résultats Stélomètre.....	149
E.4.3.6. Résultats des simulations.....	150
E.4.4. Conclusion.....	152
E.5. EFFET DE LA DISTRIBUTION EN LONGUEUR DES FIBRES : EXPERIENCE A UNE SEULE COUPE .....	152
E.5.1. Objectif : .....	152
E.5.2. Résultats attendus.....	153
E.5.3. Matériels et méthodes.....	153
E.5.3.1. Organisation de l'expérimentation .....	153
E.5.3.2. Analyses de caractérisation .....	156
E.5.4. Résultats et discussion.....	156
E.5.4.1. Mesure FMT3.....	156
E.5.4.2. Mesure AFIS.....	157
E.5.4.3. Mesure HVI.....	158
E.5.4.4. Mesure Mantis.....	164
E.5.4.5. Mesures au Stélomètre .....	165
Valeur de TI.....	166
Valeurs de EI .....	167
E.5.4.6. Mesure RST .....	170
RST04 .....	170
RSTXX.....	172
Comparaison des deux approches RST .....	172
E.5.4.7. Vérification du positionnement des pinces de traction pour l'application de la contrainte sur les faisceaux de fibres pour une analyse RST ; cas des casses à SL 30 % .....	173
E.5.5. Discussion - Conclusion.....	175
E.6. EFFET DE LA DISTRIBUTION EN LONGUEUR DES FIBRES : EXPERIENCE EN QUATRE COUPES .....	175
E.6.1. Objectif : .....	175



E.6.2. Matériels et méthodes.....	176
E.6.3. Résultats et discussion.....	177
E.6.3.1. Mesure FMT3.....	177
E.6.3.2. Mesures AFIS.....	177
E.6.3.3. Mesure HVI.....	178
E.6.3.4. Mesure Mantis.....	181
E.6.3.5. Mesures au Stéломètre.....	182
E.6.3.6. Mesure RST.....	183
RST04.....	183
RST XX.....	185
E.6.4. Conclusion.....	187
E.7. EFFET DE LA QUANTITE DE FIBRES DANS LES PEIGNES ET DE LA POSITION DE REALISATION DU TEST DE DYNAMOMETRIE SUR LA TENACITE.....	188
E.7.1. Objectifs.....	188
E.7.2. Matériels et méthode.....	188
E.7.3. Résultats et discussion.....	188
E.7.3.1. Effet de la quantité de fibres dans les peignes.....	189
E.7.3.2. Effet de la position de la casse.....	189
Résultats HVI.....	189
Résultats de la méthode RST.....	190
E.7.3.3. Effet de la distance entre le système optique et la pince arrière.....	191
Résultats HVI.....	191
Résultats de la méthode RST04.....	191
E.7.4. Conclusion.....	192
E.8. EFFET DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE RELATIVE PENDANT LES MESURES.....	192
E.8.1. Objectif.....	192
E.8.2. Matériels et méthodes.....	193
E.8.3. Résultats et discussion.....	193
E.8.3.1. Conditions d'ambiance réelles observées.....	193
E.8.3.2. Effet des conditions atmosphériques sur les résultats Mantis.....	195
E.8.4. Conclusion.....	198
<b>CHAPITRE F : VERIFICATION DES EFFETS AVEC DES COTONS GENERAUX .....</b>	<b>200</b>
F.1. OBJECTIF.....	200
F.2. MATERIELS ET METHODES.....	200
F.2.1. Les cotons.....	200
F.2.2. Opérations de filature.....	201
F.3. RESULTATS ET DISCUSSION .....	202
F.3.1. Relations entre résultats des caractérisations des fibres.....	202
F.3.2. Relations entre résultats des caractérisations des fibres et celles des filés.....	208
F.4. CONCLUSION.....	210
<b>CHAPITRE G : CONCLUSIONS – PERSPECTIVES.....</b>	<b>212</b>
<b>CHAPITRE H : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>217</b>

## *INTRODUCTION*



Pour bien comprendre l'importance de ce travail de thèse, il est nécessaire de resituer tous les éléments permettant de décrire les enjeux et les attentes des acteurs de la filière cotonnière. Pour cela, une description du cotonnier et de son fonctionnement, de son mode de culture, de son développement jusqu'à la récolte du produit de la culture, le coton-graine est donnée. Quelques informations sur sa transformation dans les zones de production permettront de connaître les premiers impacts et demandes des producteurs et des égreneurs, qui séparent les graines des fibres pour des utilisations diversifiées.

La lecture de divers ouvrages permettant de décrire ces différents points à aborder m'a renforcé dans l'idée que la description de la filière produite par Krifa (Krifa, 2001a) est à la fois d'une qualité exceptionnelle et une image fidèle de la filière cotonnière mondiale. Aussi, en accord avec l'auteur, je me suis permis de retranscrire *in extenso* l'introduction de son document de thèse dans les paragraphes suivants (paragraphe Introduction suivant jusqu'au paragraphe A.3.1 inclus).

Je compléterai cette description de la filière cotonnière en relatant plus particulièrement les demandes des producteurs, celles des transitaires ainsi que celles des filateurs au vu de l'organisation de la filière textile ainsi que de ses outils de transformation.

## Introduction

[Début de l'extrait de la thèse de Krifa M.]

*La fibre de coton occupe depuis plusieurs siècles un rang de prédilection sur le marché textile. En effet, elle possède de nombreuses qualités naturelles qui en ont fait l'une des fibres textiles les plus répandues dans le monde. L'évolution de l'industrie cotonnière fut pendant longtemps, et le demeure encore de nos jours, étroitement liée aux innovations technologiques apportées au fil des siècles. Ainsi, la production et la consommation de fibre de coton a connu au courant du XIX<sup>ème</sup> siècle une forte expansion dans de nombreux pays du monde.*

*Depuis quelques décennies, la part de marché conquise par le coton se trouve menacée par une concurrence, de plus en plus intense, imposée par l'apparition et la progression incessante des fibres chimiques. Après avoir amplement et longuement dominé le marché textile, le coton représente désormais moins de la moitié de la consommation mondiale de fibres.*

*Pour faire face à cette concurrence, tous les acteurs de l'industrie cotonnière sont appelés à trouver le juste équilibre entre une production de qualité et une productivité compétitive et économiquement rentable. Cet équilibre nécessite inévitablement la conciliation des contraintes, tant économiques que qualitatives, imposées par la matière première et son caractère naturel très variable, par les équipements et leur évolution de plus en plus rapide et enfin par les besoins auxquels aspire le consommateur.*

*Pendant longtemps, la recherche du meilleur rendement l'a emporté sur les préoccupations qualitatives de la filière. Ainsi, la mécanisation et l'automatisation sont devenues de plus en plus présentes à tous les stades de la culture et de la transformation du coton. Les cadences de productions ont été accélérées sans réel souci quant à l'effet de cette course vers la productivité sur la qualité de la fibre et du produit fini.*

*Cette situation n'a changé qu'assez récemment. En effet, il y a eu depuis le début des années 80 une prise de conscience de l'importance que revêt la qualité au même titre que la productivité.*



*Les exigences du consommateur sont devenues de plus en plus pressantes. D'autre part, les nouvelles techniques de transformation, et notamment de filature, ont mis en évidence de nouveaux besoins quant à la qualité de la matière première et aux caractéristiques requises pour permettre un bon déroulement des opérations. Le filateur doit en effet produire un fil de la meilleure qualité possible, à une vitesse de production la plus élevée possible et à partir d'une matière première la moins chère possible, en relation avec ses caractéristiques physiques. En frôlant de la sorte les limites des équipements ainsi que celles de la matière première, le filateur se trouve face à un équilibre fragile et peu stable. Il suffirait donc d'une petite variation dans la matière première ou dans le processus pour que cet équilibre soit perturbé et que le filateur soit confronté à de lourdes pertes d'efficacité et de qualité.*

*Ces nouvelles exigences rencontrées par le filateur se sont répercutées en amont sur tous les acteurs de la filière (producteurs et égreneurs). La principale conséquence réside dans la demande de fibre de coton de plus en plus propre et exempte de matières étrangères. Cette demande a conduit les égreneurs, notamment aux Etats-Unis, à intensifier les opérations de nettoyage du coton-graine et de la fibre après égrenage. Malheureusement, cette intensification n'a pas eu l'effet escompté. En fournissant au filateur une fibre visuellement plus propre, les producteurs ont omis, au moins pendant une certaine période, les effets que cette intensification de nettoyage a sur la longueur des fibres et sur la taille des contaminants qui, fragmentés par l'agression mécanique, sont devenus de plus en plus difficiles à éliminer en aval de la chaîne de production.*

[insertion d'un commentaire complémentaire par Gourlot]

En effet, simultanément à la demande de cotons plus propres, des outils de mesure automatisés de certaines caractéristiques technologiques des fibres – les appareils *High Volume Instrument* (HVI) – ont fait leur apparition et sont installés dans tous les segments de la filière cotonnière.

Ces appareils de mesure vont compléter la caractérisation visuelle de la couleur et du taux de déchets contenus dans les fibres par la mesure objective de paramètres physiques des fibres, tels que les longueurs, le périmètre et l'aire de leur section droite, leur résistance de rupture etc. Ces appareils utilisés à grande échelle vont permettre de sensibiliser toute la profession sur l'effet des nettoyages nombreux et agressifs des fibres pendant leurs étapes de transformation au détriment de leurs caractéristiques intrinsèques.

L'efficacité des HVI aux USA dès 1991 entraîne un essor de leur utilisation au niveau international, jusqu'à devenir un standard incontournable dans les transactions commerciales à partir de 1995 et 1998.

Ce document va tenter de définir tous les termes techniques déjà utilisés et d'explicitier rapidement les contraintes de la culture du cotonnier. Ensuite, suit une description des fibres avant de détailler les méthodes et les principes des appareils de mesure utilisés dans le contexte international.

Au travers des recherches effectuées et relatées dans ce document, nous allons tenter d'apporter notre contribution à la compréhension de la mesure de la ténacité des fibres telle qu'elle est mesurée par les appareils HVI.

Ces appareils doivent être étalonnés régulièrement avec des cotons de référence dont les caractéristiques technologiques ont été établies à la suite de nombreux tests réalisés sur des HVI 'maîtres', c'est à dire des machines de référence. D'autres appareils de mesure ou



méthodes ont déjà été proposées pour réaliser ce travail de standardisation, aussi est-il nécessaire d'en comparer la qualité des mesures.

Certaines communications indiquent que des dérives potentielles peuvent exister, principalement sur les valeurs de ténacité qui peuvent conduire à des écarts importants de primes à la qualité, à des réclamations et à des pertes de temps et de variabilité dans les programmes d'amélioration variétale.

Dans ce contexte, l'objectif principal est de vérifier si ces HVI peuvent être utilisés comme appareils de mesure servant à établir les valeurs de référence de balles de coton qui seront utilisées pour l'étalonnage des nombreux HVI installés dans le monde.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'étudier les possibles biais et dérives affectant les mesures et d'en déterminer les sources potentielles.

Une étude approfondie des principes et méthodes de mesure des ténacités sur les appareils majeurs de mesure existant doit permettre la mise en évidence des avantages et inconvénients comparatifs des mesures HVI (chapitres C et D).

Ensuite, certaines caractéristiques technologiques de cotons sélectionnés ont été modifiées artificiellement par des traitements mécanique et chimiques pour détecter d'éventuels biais de mesure lorsque les réactions des appareils de mesure, et en particulier des HVI, sont amplifiées (chapitre E).

Finalement, nous avons vérifié que les résultats de caractérisation des fibres de coton permettent de prévoir de manière effective la qualité de filés issus de la transformation desdits cotons (chapitre F).

Outre les objectifs poursuivis dans ce document, ces résultats de recherche devraient permettre d'améliorer les appareils de mesure en améliorant la réponse des capteurs de mesure.

[Fin de l'insertion d'un commentaire complémentaire par Gourlot, reprise de l'introduction de M. Krifa]

## ***CHAPITRE A***

### ***GENERALITES : LE COTONNIER, CULTURE ET TRANSFORMATION***



## Chapitre A : Généralités : le cotonnier, culture et transformation

### A.1. Le cotonnier du champ à la fibre

#### A.1.1. Le genre Gossypium L.

*Les cotonniers sont des dicotylédones, appartenant à l'ordre des Malvales, à la famille des Malvacées, à la tribu des Hibiscées et au genre Gossypium L. Parmi les 51 espèces recensées à ce jour, seules quatre portent des fibres cellulósiques sur les graines et constituent le groupe des cotonniers cultivés (Lagière, 1966, Parry, 1982) :*

- *Gossypium herbaceum et Gossypium arboreum : ces deux espèces ont une longue histoire de culture en Afrique et en Asie. Elles sont caractérisées par des fibres très courtes (inférieures à 25 mm) et ne représentent que 3 à 4% du coton cultivé.*
- *Gossypium barbadense : originaire de l'Amérique du Sud tropicale, elle s'est répandue en Amérique Centrale et aux Caraïbes. Elle a été introduite en Caroline du Sud à la fin du XVIIIème et en Égypte au XIXème siècle. De cette espèce sont issus les cotons longue soie, à fibres extra longues (supérieures à 33 mm). Elle représente 5 à 7% du coton cultivé dans le monde.*
- *Gossypium hirsutum : majoritaire dans le groupe des espèces cultivées (plus de 90%), elle est caractérisée par des fibres moyennes à longues (25 à 32 mm).*

*Certaines des espèces sauvages sont exploitées par les sélectionneurs pour l'amélioration variétale des quatre espèces cultivées, et constituent une source potentielle de création de nouvelles variétés (Mergeai et al., 1993).*

#### A.1.2. Le coton à travers le monde

*La culture du cotonnier dans le monde couvre une superficie supérieure à 30 millions d'hectares, répartis sur quelque 70 pays (Figure A-1). Depuis le début des années 50, cette superficie reste relativement constante. La production mondiale de fibres de coton, quant à elle, n'a cessé d'augmenter grâce à une amélioration régulière du rendement moyen en fibre (Figure A-2).*

*La production mondiale de fibre de coton était de 18,5 millions de tonnes en 1998/1999. Elle devrait atteindre, selon les projections de l'ICAC (ICAC, 1999), 19 millions de tonnes en 1999/2000. [Ajout d'un commentaire par Gurlot : la production mondiale de la dernière campagne a été estimée à environ 21 millions de tonnes]. Cinq pays assurent plus de 70% de la production mondiale (Figure A-3) ; il s'agit de la Chine Continentale avec une moyenne de 4,3 millions de tonnes sur les six dernières années, les États-Unis (3,8 millions de tonnes), l'Inde (2,8 millions de tonnes), le Pakistan (1,6 millions de tonnes), et l'Ouzbékistan avec 1,1 million de tonnes (ICAC, 1999). Parmi ces pays producteurs, seuls les États-Unis et l'Ouzbékistan assurent une part notable des exportations (40 %) ; la Chine n'exporte qu'une faible partie de sa production (Figure A-3) et de manière épisodique.*

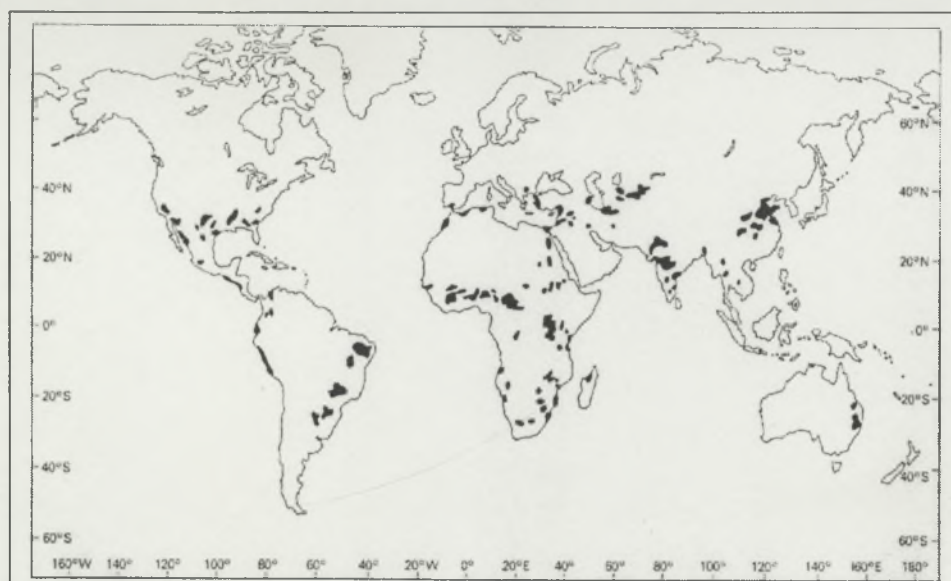


Figure A-1 : Zones de culture cotonnière dans le monde (d'après Matthews, 1989).

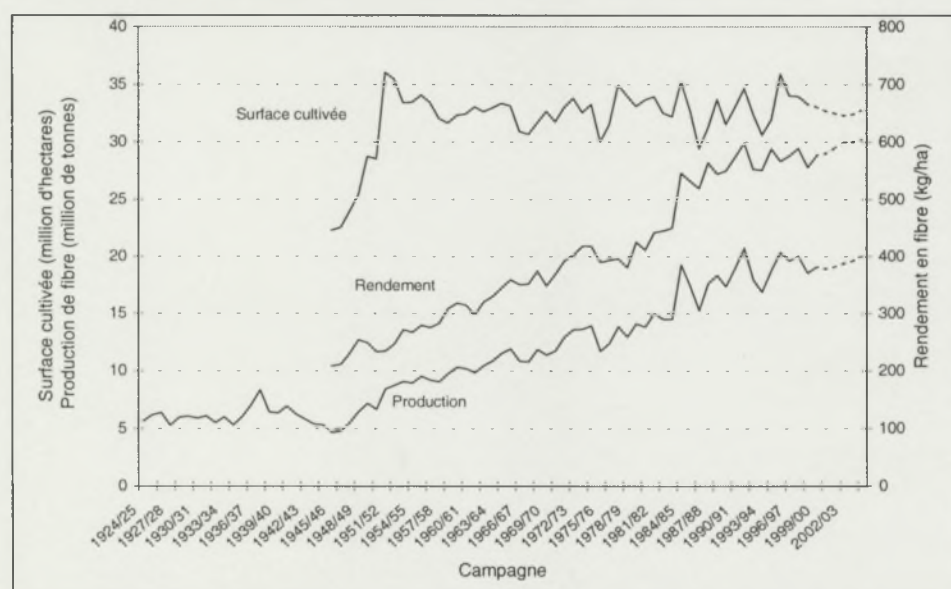


Figure A-2 : Évolution de la surface cotonnière, du rendement et de la production mondiale de fibre (d'après ICAC, 1999).

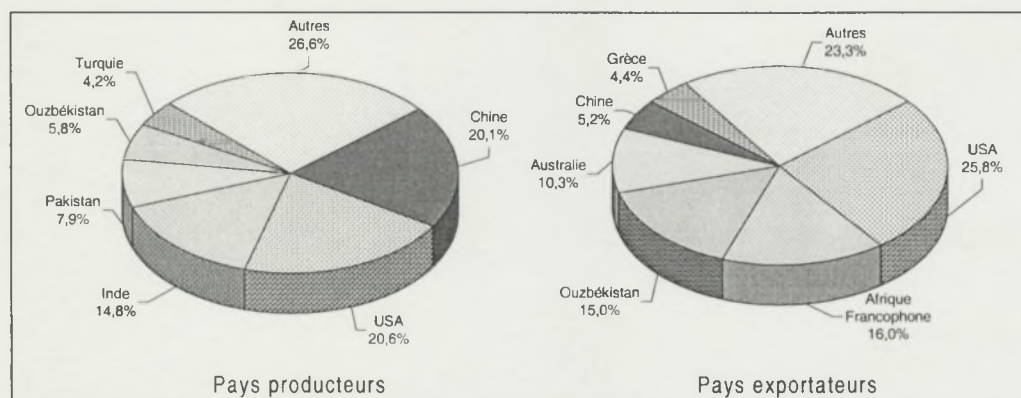


Figure A-3 : Principaux pays producteurs et exportateurs de fibre de coton en 1999/2000 (d'après ICAC, 1999).



### A.1.3. Morphologie et développement

*Le cotonnier est un arbuste de un à deux mètres de hauteur. Pérenne à l'état sauvage, il est très majoritairement cultivé comme plante annuelle. La culture pluriannuelle est économiquement peu rentable pour des raisons climatiques et phytosanitaires.*

#### A.1.3.1. Morphologie

*Le cotonnier possède une racine pivotante et ramifiée, pouvant descendre à plusieurs mètres sous la surface du sol en conditions optimales. Cette partie racinaire possède le double rôle de soutien de la plante et d'absorption des éléments nutritifs du sol.*

*La partie aérienne de cet arbuste est composée d'une tige principale qui, en se développant, forme des nœuds assez régulièrement espacés (Figure A-4). Des rameaux prennent naissance aux nœuds et forment deux types de branches :*

- *les branches végétatives : elles partent généralement des nœuds inférieurs, elles sont présentes en nombre très variable suivant les variétés,*
- *les branches fructifères : elles prennent naissance aux nœuds supérieurs, elles portent les feuilles et les organes fructifères de la plante.*

*Les feuilles du cotonnier peuvent avoir des formes et des dimensions différentes. Elles peuvent également être glabres ou pileuses, ce qui peut avoir une influence sur les impuretés retrouvées dans la fibre (notamment dans le cas de la récolte mécanique), ainsi que sur le développement de certains insectes (Deguine, 1995). Les feuilles assurent un rôle de réserve, d'assimilation, de respiration et de transpiration. Elles constituent pour l'agronome un outil de diagnostic de l'état des échanges avec le sol et de l'état de santé du cotonnier (diagnostic foliaire, Fritz et al., 1971).*

#### A.1.3.2. Cycle du cotonnier

*La date de semis des graines de cotonnier est déterminée par les conditions climatiques (température, pluviométrie). Elle varie donc d'une région de culture à une autre et peut s'étendre sur plusieurs saisons selon le climat.*

*Selon les variétés et les conditions du milieu, la phase de levée<sup>1</sup> et le stade de plantule (Figure A-4) durent 50 à 60 jours. Elles sont suivies par l'anthèse<sup>2</sup> annonçant la fin de la phase végétative et le début de la phase de floraison. Le rythme de floraison peut varier selon les variétés et les conditions climatiques (Boulanger et al., 1955). La pollinisation a lieu dans les quelques heures suivant l'ouverture des fleurs, la fécondation est achevée dans les trente heures qui suivent l'épanouissement de la fleur (Figure A-5-a-). Certains ovules peuvent ne pas être fécondés, d'autres peuvent avorter malgré une fécondation normale. Ces derniers sont à l'origine de graines avortées, généralement appelées « motes » (Lagière, 1966).*

*La floraison est étalée dans le temps ; les phases de floraison et de maturation se chevauchent. La phase de maturation des capsules (fruits du cotonnier, Figure A-5-b-) peut durer de 40 à 80 jours, voire plus selon la variété, les conditions de culture et la position de la capsule au sein du plant. À l'issue de cette phase, les capsules mûres s'ouvrent et le coton-graine sèche (Figure A-5-c-). Le coton-graine est l'objet de la récolte ; il est constitué des graines et des fibres qu'elles portent. Des fleurs peuvent continuer à se former bien que les*

---

<sup>1</sup> 10 à 30 jours de la germination à l'étalement des cotylédons (Lagière, 1966).

<sup>2</sup> Épanouissement de la fleur et libération du pollen.

premières capsules soient ouvertes. C'est une caractéristique du cotonnier d'avoir à la fois des boutons floraux, des fleurs, des capsules fermées ou ouvertes au cours de son développement.

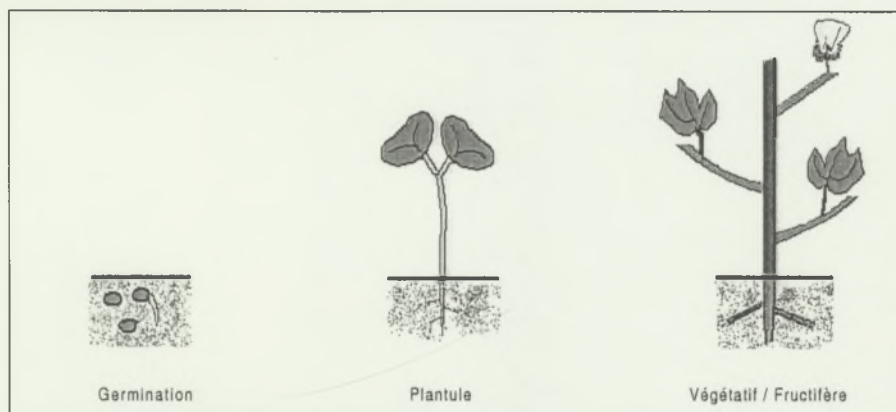


Figure A-4 : Phases de développement du cotonnier (Archives Cirad).

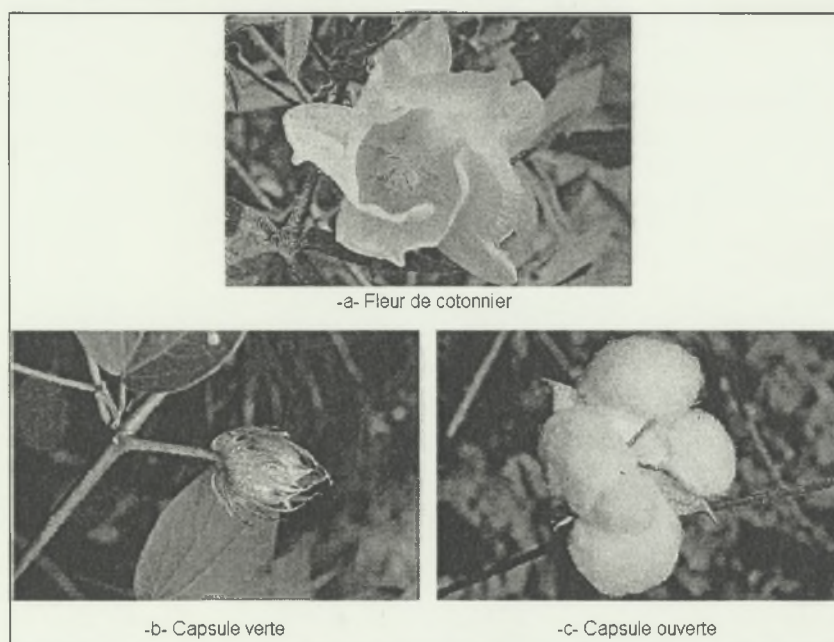


Figure A-5 : Développement du fruit du cotonnier *G. hirsutum* (Archives Cirad).

#### A.1.4. Conduite de la culture

La qualité d'une récolte de coton est fortement liée aux pratiques culturales de l'agriculteur. Les techniques utilisées peuvent varier considérablement suivant les conditions climatiques, la qualité du sol, les étendues des exploitations, et les moyens économiques propres à chaque zone de production. Toutefois, il existe certaines règles générales qui, selon divers auteurs, favorisent le bon développement du cotonnier (Braud et al., 1963, Lagièrre, 1966, Raingeard, 1968, Cauquil et al., 1971, Delattre, 1973). Nous en énumérons les principales :

- la rotation culturale : permet un maintien ou une augmentation de la fertilité du sol. Elle assure, d'autre part, une défense naturelle contre certains ravageurs et certaines maladies spécifiques au cotonnier.
- Une préparation judicieuse du sol, tenant compte de ses constituants et de son état physique, procure au cotonnier des conditions favorables d'enracinement et d'épanouissement.



- La date de semis, la densité (nombre de plants par unité de surface) et la profondeur d'enfouissement des graines représentent autant de facteurs à maîtriser pour une récolte de qualité.
- Le jeune cotonnier est très sensible aux conditions du milieu dans lequel il évolue. Un bon entretien cultural (désherbage, buttage, lutte contre les ravageurs...) est donc nécessaire afin qu'il puisse se développer de façon optimale.

L'évolution des pratiques culturales tend vers la généralisation de la mécanisation. Toutefois dans les régions où les exploitations sont de petite superficie, comme c'est généralement le cas en Afrique et dans certains pays du Moyen Orient, les techniques utilisées restent manuelles.

#### **A.1.5. La récolte**

La récolte du coton-graine est effectuée 6 à 10 jours après l'ouverture des capsules. Celle-ci étant échelonnée, la récolte peut se faire en plusieurs passages et s'étaler sur un laps de temps plus ou moins important selon les variétés et les conditions de croissance de la plante. Elle doit toutefois avoir lieu avant que le coton-graine ne tombe ou qu'il ne soit sujet à des intempéries.

La récolte du coton peut être manuelle ou mécanique suivant les étendues cultivées et les moyens disponibles dans chaque pays.

La récolte manuelle fournit en général un coton-graine peu chargé en matières étrangères (Figure A-6-a-). De plus, elle peut permettre une première classification de la récolte selon l'aspect de la fibre (Lagière, 1966). Cependant, ce type de ramassage est lent et nécessite une main d'œuvre importante.

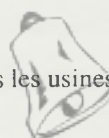
Quant à la récolte mécanique, elle est de pratique courante dans les pays où les exploitations sont de grande surface. Elle permet un ramassage rapide du coton-graine, mais augmente le taux de matières étrangères, malgré l'utilisation de défolians pour favoriser la chute des feuilles avant la récolte (Gutknecht, 1960, Roch, 1975). Il existe deux principaux types de récolteuse mécanique:

- le « cotton stripper » (Figure A-7-a-) : cette machine arrache les capsules entières, qu'elles soient ouvertes ou pas, avec en plus une quantité importante de branches, brindilles et feuilles. Pour limiter la quantité de capsules non ouvertes, certains traitements sont utilisés pour en favoriser l'éclatement avant la récolte. Le « cotton stripper » fournit du coton-graine très chargé en matières étrangères (Figure A-6-b-), donc pouvant être sujet à des dépréciations lors de la classification commerciale.
- Le « cotton picker » (Figure A-7-b-) : ne ramasse que le coton-graine des capsules ouvertes. Deux à plusieurs passages peuvent être effectués si nécessaire. Cette récolteuse est la plus répandue dans le monde et fournit un coton-graine peu chargé en matière étrangère par rapport au « cotton stripper » (Figure A-6-c-).

#### **A.1.6. L'égrenage**

Après récolte, le coton-graine est directement<sup>3</sup> acheminé des exploitations vers les usines d'égrenage afin d'assurer la séparation des fibres de la graine. Le bon déroulement de cette première étape de transformation du coton, est une condition essentielle pour obtenir des

<sup>3</sup> Un stockage de durée variable peut éventuellement précéder l'acheminement vers les usines d'égrenage.





fibres de la meilleure qualité possible.

Des opérations de conditionnement de la matière sont généralement nécessaires avant l'égrenage proprement dit. Dès son entrée dans le circuit d'égrenage, et suivant son taux d'humidité, le coton-graine peut subir une opération de séchage. Des opérations de nettoyage se succèdent ensuite pour assurer l'extraction des impuretés grossières et l'élimination des particules fines (sable, poussière, débris de feuilles ou de tiges...). Un second séchage ou une réhumidification peuvent éventuellement être effectués après nettoyage juste avant l'alimentation des égreneuses. Ces opérations de conditionnement ont une efficacité variable selon le type du coton graine (type de récolte, taux d'humidité...); différentes combinaisons de traitements peuvent donc être utilisées pour assurer des conditions d'égrenage favorables (Gutknecht, 1960).

À l'issue de ce conditionnement, le coton-graine poursuit son parcours dans le circuit pour atteindre les égreneuses proprement dites. Elles sont de deux types : à rouleau ou à scies. L'utilisation de l'un ou de l'autre type est fonction de la longueur des fibres et de la production de coton graine du pays.

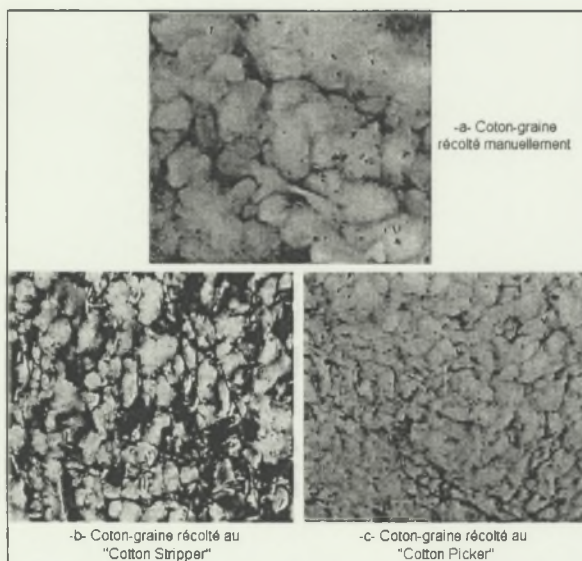


Figure A-6 : Propreté du coton-graine selon le mode de récolte (clichés J.L.Chanselme)

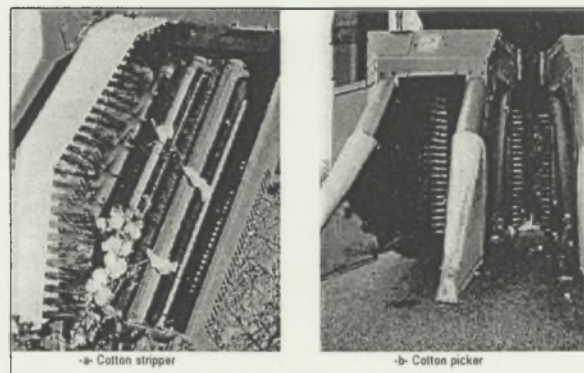


Figure A-7 : Récolteuses mécaniques (clichés J.-L. Chanselme).

Rapport-gratuit.com  
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

#### A.1.6.1. Égreneuse à rouleau

Premier type d'égreneuse industrielle, elle est apparue sous sa forme mécanisée au début du XVIII<sup>ème</sup> (Figure A-8). Elle est toujours utilisée pour les cotons longue et extra-longue soie (G. barbadense).

Cette machine est équipée d'un rouleau tournant garni de cuir ou de matière synthétique, en contact avec le coton-graine. Deux couteaux non coupants, un fixe et un mobile, sont montés tangentiellement au rouleau du côté de l'alimentation en coton-graine. Les fibres sont entraînées par le rouleau tandis que les graines, ne pouvant pas passer entre ce dernier et le couteau fixe, sont maintenues du côté de l'alimentation. Parallèlement, le couteau mobile, animé d'un mouvement alternatif vertical, vient frapper les graines. Cette action conjuguée du rouleau tournant et du couteau mobile assure la séparation des fibres de la graine et leur acheminement vers la sortie de l'égreneuse.

L'égrenage à rouleau est peu productif (environ 50 kg par heure par égreneuse), de plus il



donne un coton peu homogène (Gutknecht, 1977). Cependant, les fibres ne sont pas endommagées et leur longueur est conservée ; d'où l'avantage de ce type d'égrenage pour les soies longues.

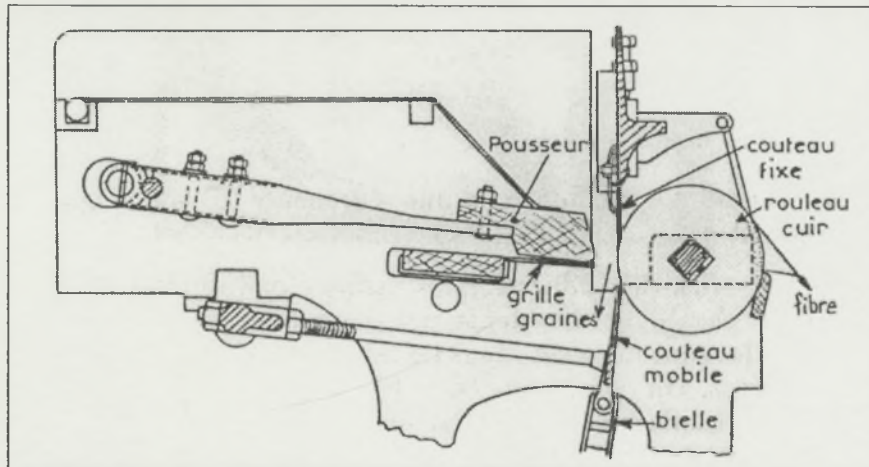


Figure A-8 : Schéma d'une égreneuse à rouleau (Parry, 1982).

#### A.1.6.2. Égreneuse à scies

Apparue à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, l'égreneuse à scie (Figure A-9) est utilisée pour les cotons à courtes ou à moyenne soies (*G. hirsutum*) ce qui représente plus de 90% de la production mondiale.

Elle est constituée d'une série de scies circulaires, à dents non coupantes, régulièrement réparties sur un même axe et tournant au travers d'une grille. Le coton-graine est acheminé par le système d'alimentation et s'accumule sous forme d'un rouleau au contact des scies. Les dents des scies, pénétrant dans le rouleau de coton-graine, accrochent les fibres et les entraînent à travers les barreaux de la grille qui retiennent les graines. Les fibres sont ensuite détachées des scies, soit par un système de brosses, soit par jet d'air.

Ce type d'égrenage est beaucoup plus productif que le précédent (jusqu'à 2 tonnes de fibre par heure par égreneuse ; ICAC, 1994), la fibre qui en est issue est plus homogène du fait de la rotation du rouleau de coton-graine à l'alimentation. Toutefois, la fibre peut être endommagée et sa longueur réduite sous l'action agressive des dents des scies.

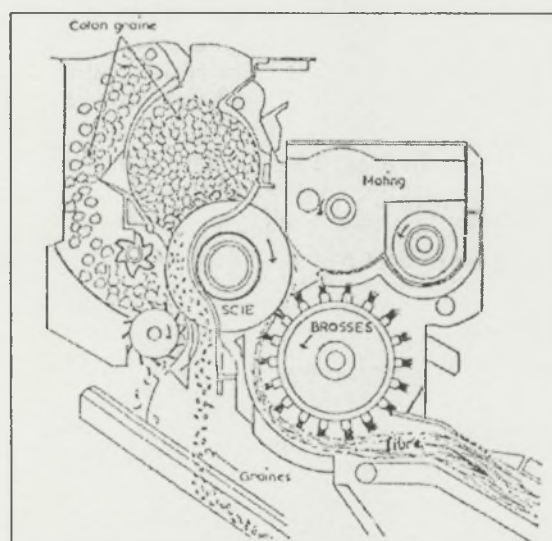


Figure A-9 : Schéma d'une égreneuse à scies (Parry, 1982).



### A.1.6.3. Opérations ultérieures

Le nettoyage du coton-graine n'étant généralement pas suffisant pour obtenir une fibre avec un taux de matières étrangères acceptable, il est parfois nécessaire d'effectuer un nettoyage de la fibre après égrenage afin d'en améliorer le grade (cf. § B.1.1 ). Cette nécessité est apparue suite à la dégradation de la propreté du coton-graine à cause de la généralisation de la récolte mécanique dans certains pays producteurs (Mangialardi et al., 1999). Ce nettoyage est effectué à l'aide de machines appelées « lint-cleaners » apparues en 1939, et dont l'utilisation s'est généralisée notamment aux Etats Unis.

Un à plusieurs lint-cleaners sont habituellement installés à la sortie de l'égreneuse. Ils peuvent être de deux types : pneumatique ou mécanique à cylindre garni de dents. Parmi les déchets éliminés, on trouve des débris de feuilles, des fragments de coques, des motes et des fibres courtes.

Cette opération de nettoyage constitue un passage important dans la détermination de la qualité de la fibre et de la quantité d'impuretés qui s'y trouvent (notamment les débris de coques de graines).

À la sortie des égreneuses ou des nettoyeurs (lint-cleaner), la fibre est transportée jusqu'au condenseur qui assure l'alimentation d'une presse. Les fibres sont alors humidifiées et pressées en balles d'environ 220 kg. Des échantillons de fibres peuvent être prélevés selon diverses méthodes pour la classification commerciale. Les balles ainsi pesées, répertoriées et échantillonnées, sont stockées pour l'acheminement vers les ports d'embarquement.

## A.2. La graine de coton

La capsule est constituée de 3 à 5 loges ; chaque loge peut contenir de 6 à 9 graines. Les graines sont de forme ovoïde (Figure A-10) et peuvent avoir des tailles différentes selon les variétés et les conditions de culture. La taille des graines est définie par un indice qui correspond à une masse de 100 graines ou « seed index ». La graine est constituée d'une amande (50 à 55% de son poids, (Lagière, 1966)) enveloppée d'une coque de couleur brun-foncé ou noire (40 à 45% du poids de la graine). Selon les espèces, la coque peut être recouverte de linter ou duvet. Les graines, comme la majorité des organes aériens du cotonnier, sont naturellement pourvues de glandes à gossypol, qui est un pigment toxique pour les animaux monogastriques et pour l'homme.

La production de graines représente entre 55 et 65 % de la récolte de coton-graine. Cependant, sa valeur marchande atteint à peine 15% de celle de la récolte. Tous les constituants de la graine peuvent être séparés successivement et valorisés pour des usages variés.

Le duvet (linter) est récupéré à l'aide de machines appelées « délinteuses ». Il est exploité dans la fabrication de coton hydrophile, de rembourrage pour matelas, ou comme matière première pour diverses industries chimiques (Gautier, 1947a, Lagière, 1966, Parry, 1982). Les coques sont ensuite séparées des amandes par une opération de décorticage et sont généralement utilisées comme combustible (Gautier, 1949). Les amandes restantes servent à l'extraction d'huile comestible (Gautier, 1947b) ; les tourteaux qui en résultent, riches en protéines, sont utilisés pour l'alimentation des ruminants. Selon Raymond et al., 1995, la production d'huile de coton pendant la campagne 1994-1995 s'est élevée à 3,8 millions de tonnes et celle de tourteaux à 14,4 millions de tonnes.

La création de variétés de cotonnier sans glandes à gossypol (dits « glandless ») a ouvert la voie, pendant quelques années, à une exploitation des graines dans l'alimentation humaine (Buffet, 1979, Bourély, 1987). De nouvelles possibilités de valorisation de la graine de coton



sont également étudiées notamment dans le domaine de la fabrication de matériaux biodégradables (Marquié, 1996).

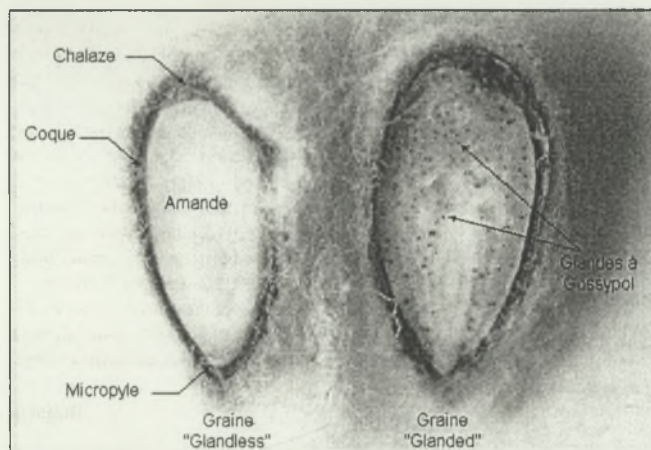


Figure A-10 : Coupe longitudinale de deux graines de coton, glanded et glandless (Archives Cirad-ca).

### A.3. La fibre de coton

#### A.3.1. Formation et structure

La fibre de coton est unicellulaire ; elle se développe à partir d'une cellule de l'épiderme de l'ovule (appelée graine après maturation). Sa formation commence avant l'anthèse (Lagière, 1966, Joshi et al., 1967, Parry, 1982) ou le jour même de l'anthèse (Beasley, 1975, Stewart, 1975) par la différenciation de quelques cellules épidermiques au niveau de la chalaze (partie arrondie de la graine). Le processus s'étend ensuite vers le micropyle (extrémité opposée de la graine) et s'intensifie considérablement après pollinisation. Joshi et al., 1967 rapportent que l'initiation et le développement des fibres avant anthèse montre que leur formation n'est pas complètement dépendante de la fécondation et de la fertilisation de l'ovule. D'où la présence de fibres sur des graines non fécondées ou avortées (motes).

Selon Parry, les poils qui se forment dans les 5 jours après la fécondation donneront naissance aux fibres (dites lint ou soies) qui représentent le principal intérêt commercial de la culture cotonnière. Les poils qui se forment ultérieurement composeront le duvet de la graine, ou « linter », d'une longueur n'excédant pas quelques millimètres. On dénombre environ 10 000 fibres ou lint et entre 5 000 et 10 000 linters par ovule. Les fibres issues d'une même graine ont une longueur variable (Roberty, 1949). Cette variabilité serait liée au moment d'initiation de la fibre. Selon Farr, 1931, les fibres les plus courtes sont celles dont la différenciation a été la plus tardive.

Après une rapide expansion diamétrale (entre 12 et 25  $\mu\text{m}$ ), les fibres, en forme de tubes creux, se développent en s'allongeant. Elles atteignent leur développement définitif entre le 18<sup>ème</sup> et le 25<sup>ème</sup> jour de croissance (Figure A-11). À ce stade, la paroi de la fibre est composée de cellulose amorphe ; elle est encore mince et constitue la membrane primaire. Cette membrane possède une structure orientée transversalement conservée durant toute la période de développement de la fibre (Waterkeyn, 1987).

Le développement longitudinal de la fibre étant achevé, l'épaississement interne de la paroi cellulaire débute alors par le dépôt successif de couches cellulodiques de structure fibrillaire spiralée constituant la membrane secondaire. La cellulose ne remplit jamais complètement la fibre ; il reste un espace au centre : le lumen (Figure A-12). La phase d'épaississement s'achève au bout de 25 à 35 jours ; l'épaisseur de la paroi atteint environ 5  $\mu\text{m}$  à l'ouverture



de la capsule (Figure A-11). De cette épaisseur dépend la maturité de la fibre ; dans le cas d'un développement perturbé (facteurs environnementaux et/ou variétaux), la paroi reste mince ( $< 2 \mu\text{m}$ ) et la fibre est dite immature (Figure A-13).

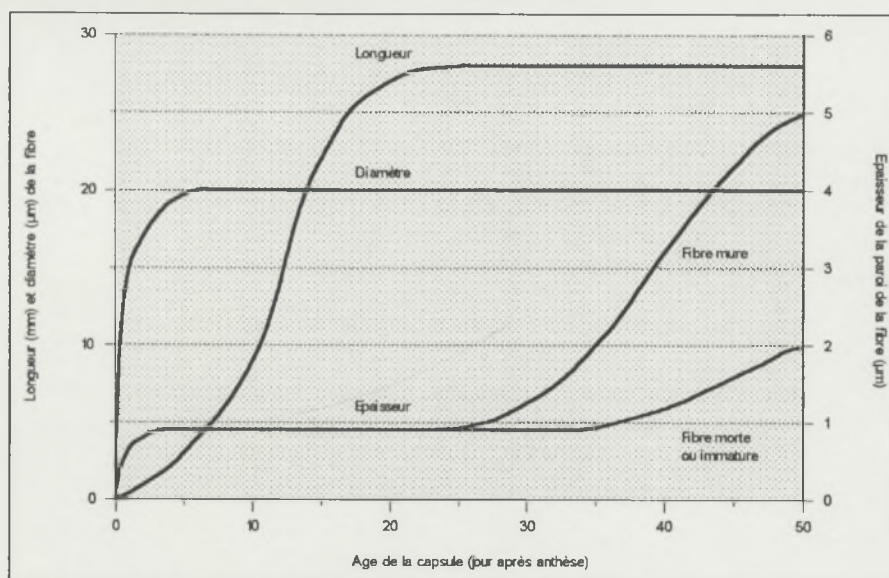


Figure A-11 : Développement de la fibre de coton à partir de l'anthèse (d'après Roehrich, 1947a).

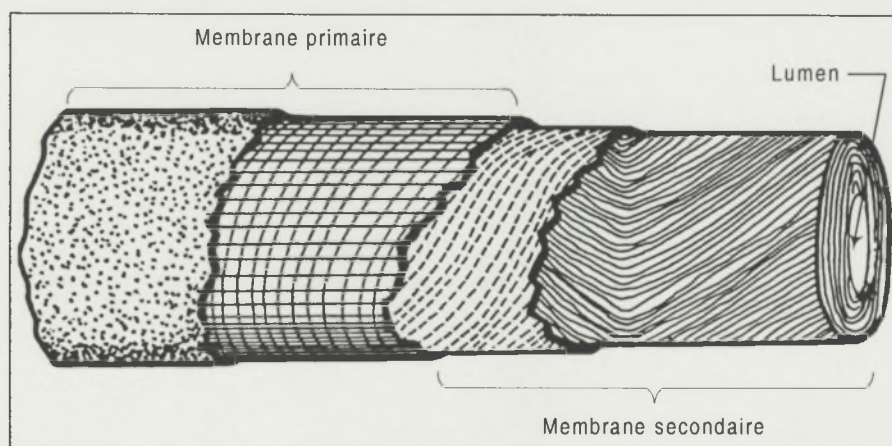


Figure A-12 : Coupe longitudinale schématisée d'une fibre de coton (Parry, 1982) .

Tous ces développements sont dépendants des conditions générales de nutrition des plants de cotonnier, des attaques de la culture par les insectes et les maladies. Ainsi les dépôts de cellulose ne sont pas réguliers et les fibrilles n'ont pas des longueurs et des structures identiques (Palmer, 1960).

A l'ouverture de la capsule, les fibres sèchent, s'aplatissent et se vrillent (Figure A-13, Figure A-14). A maturité, elles sont constituées d'environ 95% de cellulose ; d'autres constituants non cellulosiques (substances minérales, cires, protéines, acides pectiques et autres acides organiques) se localisent dans la membrane secondaire et dans le lumen.

[insertion d'un commentaire complémentaire par Gourlot]

Les différences de structure induisent des tensions qui s'équilibrent avant et après l'ouverture de la capsule. A ce stade, l'eau en excès est éliminée dans l'atmosphère ambiante. Toutes les tensions accumulées s'équilibrent alors en induisant un vrillage et une frisure des fibres.

[fin d'insertion d'un commentaire complémentaire par Gourlot]





Figure A-13 : Coupe schématique de fibres immatures à très mûres ; dessèchement et aplatissement des fibres après ouverture de la capsule (d'après Roehrich, 1947b et Jacquemart, 1953).

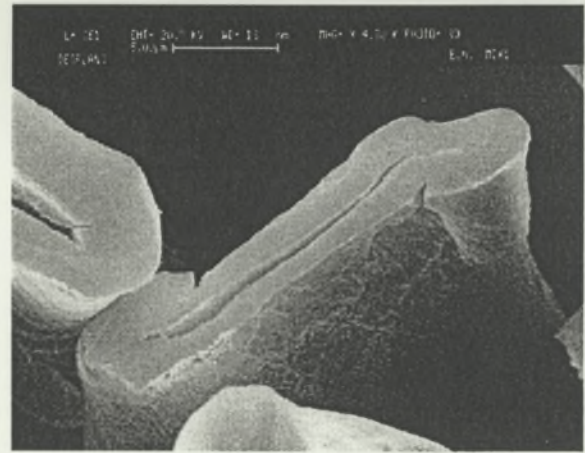


Figure A-14 : Vue microscopique de sections de fibres mûres (Desplans, 1996).

Notons que les étapes de croissance de la fibre sont communes (aux durées près) à toutes les espèces de cotonniers cultivées (Taha et al., 1989).

La qualité du produit textile fini (filé ou étoffe) est directement liée à celle des fibres. Dès lors, la connaissance des caractéristiques physiques des fibres est un enjeu essentiel pour l'industrie cotonnière. Sachant la grande variabilité des critères de qualité de la fibre de coton et la sensibilité des équipements industriels à cette hétérogénéité, une caractérisation des fibres, suivie d'une classification, est nécessaire pour la constitution de lots homogènes pouvant être transformés dans les meilleures conditions possibles. Cette classification, ou classement, détermine la valeur marchande des lots de balles de fibre de coton. Elle est effectuée sur la base de critères de qualité déterminés à partir des échantillons de fibres prélevés aux cours de l'égrenage ou sur la balle après égrenage.

[Cet extrait tiré de la thèse de Krifa prend fin et nous amène à décrire les caractéristiques importantes de fibres de coton au travers de leur cheminement dans la filière textile]

### **A.3.2. Les différentes caractéristiques importantes des fibres de coton au travers de l'examen de la filière**

#### **A.3.2.1. Les étapes de la filière cotonnière**

Chaque étape de transformation du coton-graine (fibres, filés ...) agit sur la qualité des fibres de coton, qui a une incidence sur la capacité et la qualité des transformations ultérieures. Aussi, comme les normes ISO 9000 le requièrent, chaque intervenant dans la filière doit s'assurer de la qualité des matières premières qu'il acquière (en entrée) et de la qualité des produits qu'il manufacture (en sortie).

L'étude de l'organisation de la filière (Figure A-15, extraite de Gurlot, 1999b) montre qu'un nombre important d'étapes de transformation est appliqué aux matières premières avant de parvenir chez le consommateur final. Le consommateur final attend des 'qualités' spécifiques pour chacun des produits manufacturés. Un cahier des charges est donc transmis du vendeur au manufacturier qui, en fonction de ses méthodes de transformation, le transmet à son

fournisseur. Et le cahier des charges se transmet ainsi d'opérateur à opérateur en remontant la filière jusqu'au producteur de coton-graine.

Les étapes importantes en terme de caractérisation des fibres débutent dès la fin de l'égrenage quand les fibres sont compressées en balles d'environ 228 kg. A ce moment, un ou plusieurs échantillons sont prélevés, généralement avec un emporte-pièce, pour constituer des échantillons nommés 'échantillons au sabot'. Ceux-ci sont transférés vers un laboratoire où une caractérisation des fibres est réalisée soit visuellement soit de manière instrumentale (voir chapitre B).

En fonction des résultats d'analyse, le producteur regroupe les balles de fibres par qualité homogène selon la demande du transitaire.

Les balles sont alors expédiées vers les lieux de transformation. A l'arrivée à la filature, les balles sont organisées en lots en fonction des qualités, des prix et du type de fil à produire, pour alimenter la chaîne de production. La première étape, la 'grosse préparation', a pour objectif d'individualiser les fibres, de les nettoyer et de les mélanger intimement avant de les transférer vers une carte qui constitue généralement la dernière étape de nettoyage.

A ce stade, la plupart des petites impuretés sont retirées des amas fibreux qui sont alors conditionnés sous forme de ruban déposés dans des pots. Ces pots alimentent ensuite deux à plusieurs étapes d'étirage où les rubans sont affinés en même temps que sont réalisés aussi une fonction de mélange, de démêlage et de défrisage des fibres. C'est généralement à cette étape que des fibres synthétiques ou artificielles sont mélangées avec les fibres de coton.

Selon le type de fil à produire, les rubans de fibres sont soit dirigés vers une dernière étape d'affinage précédent leur transformation en filés par procédé classique à anneau et curseur, soit directement transformés en fil grâce au procédé de filature à bouts libérés.

Les bobines de fil sont alors expédiées vers le tissage ou le tricotage où sont produites des étoffes ensuite confectionnées en produits commercialisés au 'grand public'.

Afin de gérer ses conditions de production (qualité et productivité), chacun des maillons de cette chaîne s'est doté de méthodes, d'outils, d'appareils de mesure de certaines caractéristiques des produits, jusqu'à parvenir aux producteurs de fibres. Afin de promouvoir leurs productions, et défendre leur part de marché, les producteurs de coton ont créé divers instruments de mesure dont une description apparaît au chapitre B.

En face de chacune des étapes de transformation, la Figure A-15 indique quelques attentes des intervenants dans la filière en terme de critères de qualité.



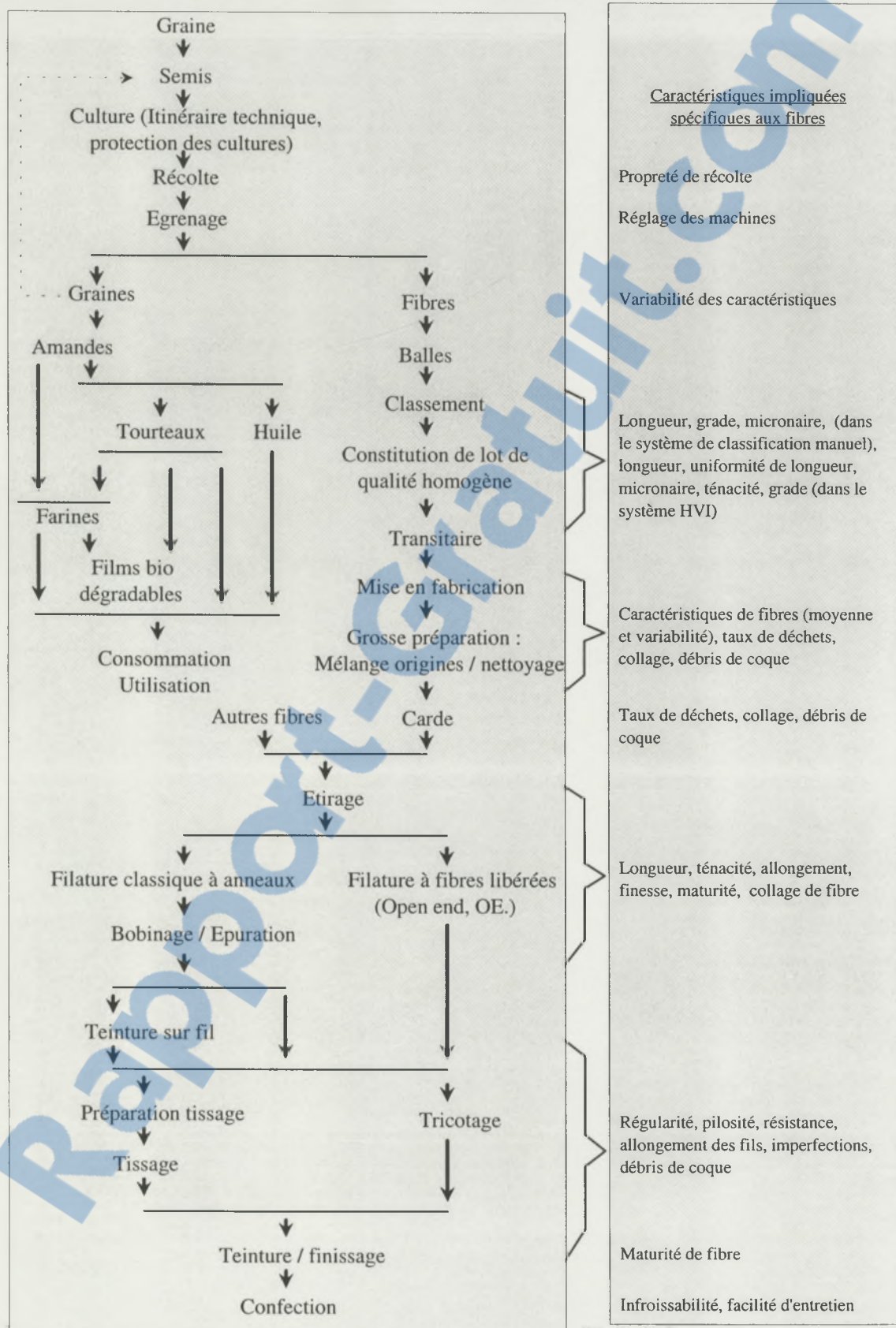


Figure A-15 : Schéma de l'organisation de la filière textile.

### A.3.2.2. Comment la filière affecte la valeur des critères technologiques ?

Nous avons déjà vu quelques critères technologiques importants dans les paragraphes précédents. Cependant, nous allons approfondir leur étude avant de décrire les détériorations que les fibres peuvent subir pendant les différentes étapes de transformation.

Les caractéristiques mesurées par les différents appareils existants tentent de décrire les critères intrinsèques des fibres (Figure A-16).

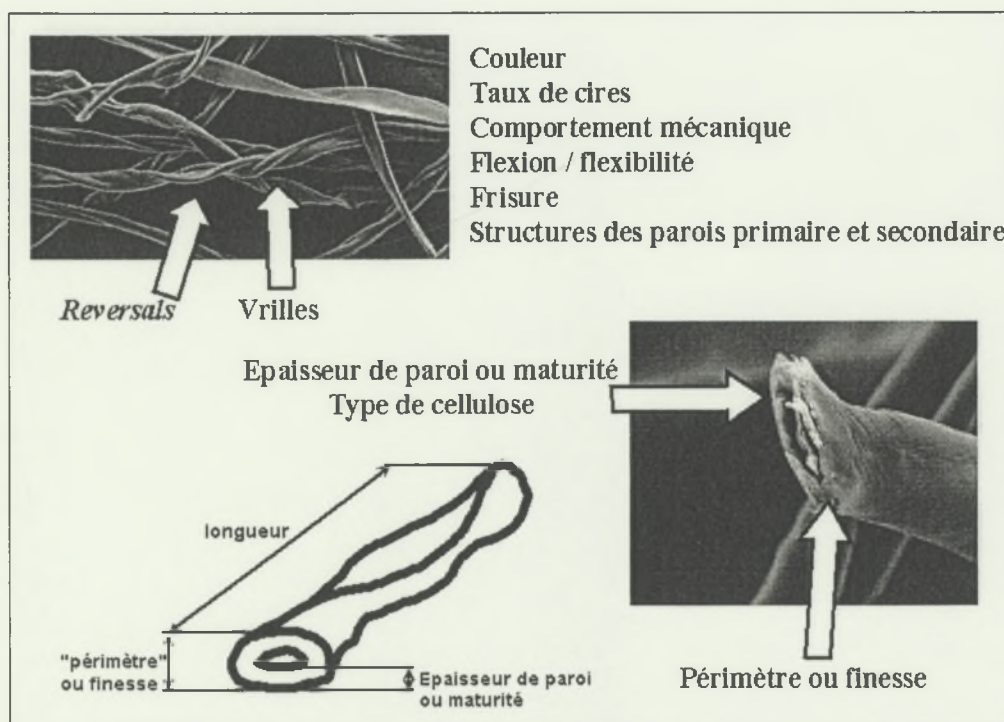


Figure A-16 : Critères technologiques les plus importants pour les fibres de coton.

Les premiers critères estimés sont ceux relatifs à la couleur des cotons et à leur taux de matières étrangères. En effet, la connaissance de la couleur des fibres permet d'assembler des fibres de comportement comparable en terme de traitements chimiques à appliquer pour les usages textiles (débouillissage, mercerisage, teinture...). Pour ce qui concerne les matières étrangères, de nombreux auteurs mentionnent le collage des fibres (dû au déjections sucrées d'insectes dans les cultures et/ou sucres en provenance de la plante), les débris de coque (partie de la coque de la graine arrachée au moment de l'égrenage qui porte ou non des fibres), les morceaux de feuilles et de tiges, et des débris divers (Frydrych, 1996, Tamime, 2000, Krifa, 2001a). Le retrait de ces impuretés, quand cela est possible, nécessite des nettoyages coûteux qui déprécient encore plus la qualité finale des fibres.

La longueur des fibres est un critère très important et a été l'un des premiers à être estimé. Variable en fonction des variétés et des conditions de culture, les longueurs sont également affectées de manière irrémédiable à l'étape de l'égrenage et du nettoyage de fibres si des réglages inappropriés sont utilisés (Anthony et al., 1986). Cela concerne à la fois les réglages des machines de transformation, mais également les conditions d'ambiance (température, humidité) dans lesquelles le coton-graine est usiné. Avec l'information de longueur, il est possible de régler les machines de filature, de décider du type de produit en choisissant de retirer ou non les fibres les plus courtes en fonction de l'information de longueur commerciale des fibres (opération de peignage).



Un autre critère est la maturité des fibres qui, comme nous l'avons déjà vu, est en relation avec l'épaississement de la paroi secondaire. Ce remplissage dépend des conditions de culture à certains stades de croissance des capsules sur le plan de cotonnier.

La finesse<sup>4</sup> – évaluée en pratique par la masse par unité de longueur – des fibres est également un critère important. Celle-ci est liée à la variété, mais aussi à la maturité des fibres. Elle permet au filateur d'estimer le nombre moyen de fibres par section de fil, et d'en prévoir la résistance à la traction. Le complexe de la maturité et de la finesse est appelé micronaire ou indice micronaire (voir § B.1.2.1).

La résistance de rupture des fibres est un paramètre important conditionné par plusieurs critères intrinsèques de la fibre, comme la finesse et la maturité, mais également la longueur des chaînes celluloses, leur orientation, leur conformation, la longueur des fibrilles de cellulose, leur structure et leur organisation dans la fibre<sup>5</sup>. Le test de traction ambitionne de 'révéler' cette organisation, difficile à quantifier avec des moyens rapides, faciles d'emploi et peu coûteux. Les résultats de cette mesure sont éminemment dépendants de la variété et des conditions de culture. Grâce à l'association des résultats de mesure de la finesse des fibres, de leur longueur et de la résistance de rupture, le filateur peut ajuster le coefficient de torsion le plus approprié à la production d'un fil de résistance et de titre (masse par unité de longueur) attendus. Il doit également tenir compte de la frisure et du vrillage des fibres qui changent le coefficient de friction entre fibres dans le fil et modulent la torsion à appliquer.

#### A.3.2.3. Economie de la filière

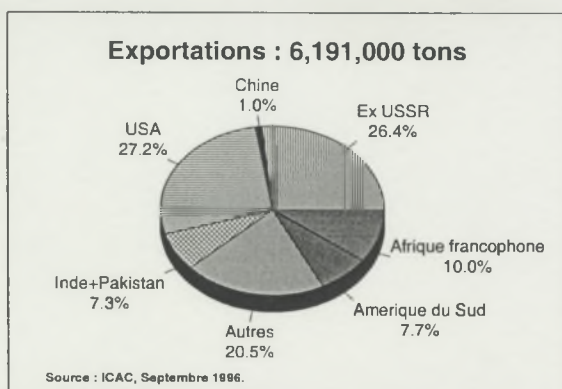
La filière a depuis très longtemps lié les prix de vente des produits à leur qualité, qualité déterminée selon des protocoles internationaux assez stricts (voir § B.2).

Aussi, l'apparition d'appareils de mesure des différentes caractéristiques technologiques des fibres de plus en plus automatisés, a permis de sécuriser la fixation des barèmes de primes et de décotes à la qualité des fibres. Les USA ont été les premiers à utiliser des machines automatisées pour caractériser les fibres, à regrouper les résultats dans des systèmes d'informations centralisés et à comparer les résultats de qualité aux informations de prix relatives aux qualités déclarées. Des grilles de décotes et de primes sont fixées tous les ans depuis 1991 pour guider les intervenants de la filière dans la définition des prix de vente des fibres produites aux USA.

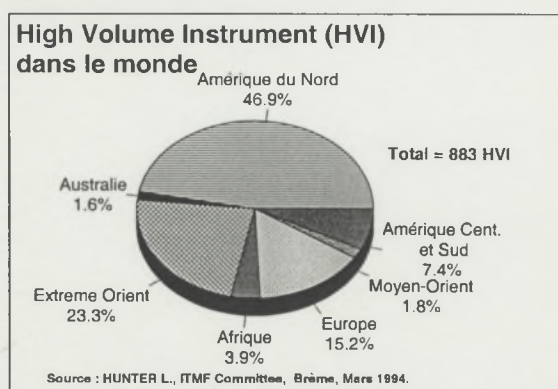
Des enquêtes sous financement Cirad ont été réalisées en France et parmi les adhérents de l'*International Textile Manufacturers Federation* (ITMF) ; ces études n'ont cependant pas pu établir de lien clair entre qualité et prix de vente des fibres (Gourlot, 1998a). Notons cependant que les différences d'organisation des filières internationales et des USA peuvent expliquer ce résultat. Cette idée peut être mise en évidence par la comparaison des deux graphes suivants : l'un montre les parts d'exportation des grands pays producteurs, et l'autre la part de ces pays qui possèdent ces appareils automatisés de mesure HVI des caractéristiques de fibres (Figure A-17, Figure A-18).

<sup>4</sup> Pour les filés, on utilise aussi l'appellation de titre exprimé dans la même unité.

<sup>5</sup> En passant de l'échelle microscopique à macroscopique, les niveaux structuraux de la fibre sont : molécule de cellulose, chaîne cellulose, fibrille, couche ou paroi, fibre.



**Figure A-17 : Parts de marché des différents exportateurs de fibres de coton en 1994.**



**Figure A-18 : Répartition des HVI dans les pays producteurs et/ou utilisateurs de fibres de coton.**

L'organisation de la filière cotonnière internationale étant en permanente évolution (voir § B.2), la prise en compte des critères technologiques et de leur mesure dans la fixation des prix de vente, telle que pratiquée aux USA, deviendra probablement très importante.

La qualité des mesures de ces critères technologiques des fibres de coton doit donc être déterminée de manière fiable pour garantir une certaine sécurité dans la fixation des prix de vente au niveau international.

Pour étudier ce point, les méthodes générales utilisées pour caractériser les fibres vont être abordées. Il faut cependant noter que certaines caractéristiques ne pouvant pas encore être mesurées avec les moyens actuels, seules les méthodes utilisées de manière usuelle et celles conduisant à une mesure de la ténacité vont être décrites.



## ***CHAPITRE B***

### ***BREF APERÇU SUR LES METHODES ET APPAREILS DE MESURE DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES FIBRES DE COTON***

## **Chapitre B : Bref aperçu sur les méthodes et appareils de mesure des principales caractéristiques des fibres de coton.**

L'appareillage le plus utilisé actuellement pour mesurer les principales caractéristiques technologiques, en dehors de l'appréciation visuelle et manuelle des fibres, est du type HVI.

Une brève description de son mode de fonctionnement va permettre d'aborder le domaine de la technologie de la fibre en rappelant succinctement l'historique des techniques de caractérisation. Il faut en effet rappeler que, depuis l'extension de la culture du cotonnier à une grande échelle favorable aux échanges internationaux, les techniques ont évolué en fonction des développements de l'électronique, de l'informatique etc. Les appareils de mesure actuels sont étalonnés sur des références qui étaient déjà utilisés au début du vingtième siècle, alors que les technologies ne disposaient pas de la même finesse qu'actuellement.

Un bref historique des techniques de caractérisation des fibres de coton nous montrera que certains étalons ou références, même aberrants au sens des techniques actuelles, sont cependant utilisés pour étalonner les appareils de mesure actuels.

### **B.1. Etude bibliographique sur les méthodes de mesure des caractéristiques technologiques des fibres de coton**

La qualité des produits textiles finis (filés ou étoffes) est directement liée à certains critères technologiques des fibres. La connaissance de ces critères est essentielle pour l'industrie cotonnière et une gamme importante d'appareillages de mesure a été mise au point pour répondre à ce besoin d'information.

Dans ce chapitre, nous allons lister les appareils qui ont servi à caractériser les fibres et détailler les différentes techniques de mesure ou d'interprétation des résultats des tests existantes dès lors qu'elles sont partiellement ou intégralement utilisées dans les appareils de mesure actuels ou qu'elles sont nécessaires à la compréhension de la mesure de la résistance de rupture des fibres.

Ces différents appareils de mesure peuvent être répartis en différentes catégories en fonction de leur sophistication, de leur degré d'automatisation et du nombre d'échantillons traités par unité de temps. Aussi, la répartition suivante est proposée :

- les méthodes traditionnelles ;
- les appareils classiques ;
- les appareils à basse productivité ;
- et les appareils à haute productivité.

#### **B.1.1. Les méthodes traditionnelles**

Une estimation visuelle et manuelle des fibres est réalisée pour apprécier le grade et la longueur des fibres par un 'classeur' (Anonyme, 1965, Parry, 1982). Cette méthode, bien que manuelle permet encore de caractériser les productions de plusieurs pays producteurs.

L'estimation du grade visuel relève de l'estimation de trois composantes distinctes :

- la charge en matière étrangère ; le classeur estime la quantité présente de débris de feuilles, de débris de coques de graine, de contaminants divers ;



- la préparation ; le classeur estime le degré d'enchevêtrement des fibres qui peut conduire au méchage préjudiciable à la facilité d'ouverture des fibres et à leur facilité de nettoyage ;
- la couleur des fibres ; le classeur estime la brillance et le degré de jaune des fibres en comparaison à des échantillons 'type'. (ASTM, 1987)

Une note globale de grade est donnée en référence à des standards physiques ou descriptifs vendus sous la forme de boîtes d'échantillons représentatifs. Chaque pays producteur peut disposer de ses propres standards ou faire référence à des standards reconnus internationalement (voir paragraphe B.2).

L'estimation de la longueur des fibres se fait à partir d'une pincée de fibres parallélisées par une opération manuelle, le '*pulling*' (Anonyme, 1965, Parry, 1982). La longueur est déduite de l'apparence de ce faisceau de fibres en référence à des standards physiques de longueurs connues.

Les standards physiques sont distribués par l'USDA dans le cadre d'un effort de normalisation internationale.

### **B.1.2. Les appareils classiques**

Les appareils dits 'classiques' sont des instruments de mesure qui ont été créés dans les années 1940-50. En général, ils permettent de quantifier de manière plus précise et reproductible que précédemment les différentes caractéristiques des fibres de coton. Ils mesurent en particulier la perméabilité à l'air pour la mesure du micronaire, les distributions de longueurs et la résistance à la traction des fibres.

#### **B.1.2.1. Mesure du micronaire**

Il s'agit de mesurer la porosité à l'air d'un échantillon de fibres d'une masse définie. Ce degré de porosité mis en relation avec la masse linéique des fibres exprimée en micro-gramme par pouce de longueur par Lord (Lord, 1955; Lord, 1956a; Lord, 1956b; Lord, 1956c), a été appelé micronaire. Ensuite, renommé indice micronaire, il s'exprime sans unité à la suite d'un effort de normalisation (Krowicki et al., 1996a).

La mesure est faite sur un échantillon de fibres de masse donnée, placé dans une chambre de volume connu dans laquelle circule un courant d'air de débit et de pression fixes. La pression résiduelle de l'air qui traverse le tampon de fibres est proportionnelle à la surface extérieure moyenne des fibres dans la chambre (une définition particulière de la surface spécifique donnée par Lord).

Le micronaire est décrit comme une mesure du complexe maturité/finesse qui conjugue la maturité (liée à l'épaississement de la paroi secondaire des fibres) et la finesse qui est la masse linéique des fibres (masse par unité de longueur, Lord et al., 1988). Du fait de sa nature de complexe entre deux grandeurs, le micronaire est diversement compris et cela introduit une certaine confusion dans l'industrie cotonnière (Gourlot, 1998a).

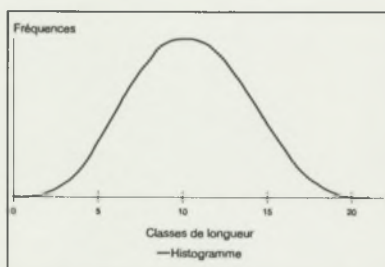
Des appareillages particuliers, *Fineness Maturity Testers* (FMT, de diverses générations), Aréalomètre etc., ont été créés sur le principe de la mesure de la porosité à l'air de tampons de fibres pour dissocier ces deux grandeurs (Lord and Heap, 1988, Roehrich, 1961). Ainsi les FMT mesurent des dépressions occasionnées par le passage de deux flux d'air successifs (à différents débits) dans les tampons de fibres ayant subi deux niveaux de compression mécanique dans la chambre de mesure. Les informations relevées, PL et PH, ont été mises en relation avec des observations au microscope de fibres vues latéralement et en coupe en section droite (après gonflement à la soude dans une concentration particulière). Les informations déduites sont le micronaire, le *Maturity Ratio* (MR), le pourcentage de fibres mûres (PM%), la finesse linéique (H en millitex), et la finesse standard (Hs en millitex).

### B.1.2.2. Mesure des longueurs

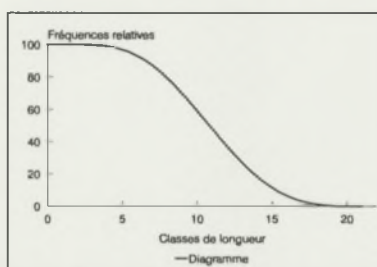
Un certain nombre de techniques ou méthodes ont été créées pour caractériser la longueur des fibres avec une précision améliorée. La méthode de référence est une méthode où la longueur de chaque fibre est mesurée et permet la constitution d'un histogramme (Figure B-1) duquel sont déduites la moyenne, le coefficient de variation, etc.

Pour la majorité des autres méthodes, il s'agit de répartir les différentes classes de longueur de fibres isolées par une préparation sur des champs de peignes parallèles et d'en quantifier les importances relatives par des comptages ou par des pesées pour chaque classe. Dans ces méthodes, la préparation des fibres permet de supposer avec confiance que les origines de chaque fibre sont alignées et peuvent constituer un diagramme des fréquences cumulées (Figure B-2, intégrale de l'histogramme des fréquences). Des méthodes particulières (Roehrich, 1947a; Roehrich, 1947b) permettent de déduire les informations importantes de ce diagramme. Ces méthodes sont relativement longues et ne sont accessibles qu'à des opérateurs possédant une grande pratique.

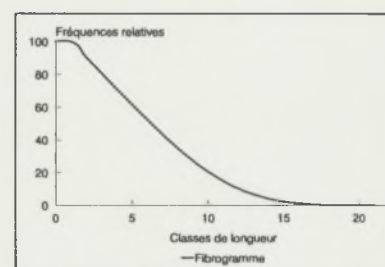
Il a ensuite été montré qu'un échantillonnage randomisé par un peigne de fibres avec un échantillonneur tel que le *Fibrosampler* (les fibres sont prélevées au travers d'une plaque perforée par un peigne) permet d'obtenir des résultats comparables aux méthodes traditionnelles, avec l'avantage d'être réalisé en quelques secondes seulement (Hertel, 1940, Hertel et al., 1964). Cette méthode d'échantillonnage est à la base du 'fibrogramme' (Figure B-3) à partir duquel sont extraits les paramètres de longueur utiles. Le détail de cette interprétation est présenté ici car ces méthodes ont encore cours de nos jours.



**Figure B-1 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un histogramme.**



**Figure B-2 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un diagramme.**



**Figure B-3 : Représentation de la distribution de la longueur des fibres sous la forme d'un fibrogramme normalisé.**

Dans ce mode d'échantillonnage proportionné à la longueur, on suppose que chaque fibre individuelle sélectionnée pour la caractérisation est prélevée en un point arbitrairement choisi sur son axe longitudinal. Ainsi, après un brossage adéquat, une extrémité de la fibre dépasse à gauche par rapport au point de préhension, et l'autre extrémité à sa droite. Par convention, seul un côté du point de pincage est retenu pour analyse. Quand on suppose que les fibres sont rangées par longueur croissante pour un côté de l'analyse, on peut tracer une courbe passant par toutes les extrémités de fibres ; cette courbe est appelée le fibrogramme (Roch, 1976b). En théorie, cette courbe suit une fonction d'auto-corrélation numérique qui est l'intégrale double de l'histogramme des fréquences ou l'intégrale du diagramme des fréquences pondérée par le ratio du nombre de fibres dans le faisceau sur leur longueur moyenne (Le Magnen, 2000)

Du fait que les fibres ne sont pas alignées à origines communes contrairement aux méthodes existantes jusqu'alors, il s'est révélé impossible de déduire les mêmes paramètres de longueur que ceux déduits des histogrammes et des diagrammes autrement que par régression.

Ainsi, à partir de ce fibrogramme, la théorie des '*Span Lengths*' (longueur d'extension ou d'étirement) a été mise en place avant d'en arriver à la théorie des '*Mean Lengths*' permettant



de raccorder ces résultats à ceux des méthodes antérieures. Il existe deux systèmes d'interprétation du fibrogramme : *Span* ou *Mean Length*.

Dans la théorie des *Span length* (SL), une longueur SL particulière peut être obtenue par les coordonnées d'un point du fibrogramme (Figure B-4, Équation B-1) :

$$\text{longueur à } x \% = F(x \%)$$

Équation B-1

Les pratiques commerciales ont retenu les longueurs SL particulières suivantes :

- au point d'ordonnée 50 % du nombre de fibres correspond une abscisse égale à la *Span Length* 50 % (SL 50 %).
- au point d'ordonnée 2.5 % du nombre de fibres correspond la longueur *Span Length* 2.5 % (SL 2.5 %) ; les valeurs pour cette caractéristique correspondent à la longueur "pulling" du coton.

On interprète les SL x% comme étant la longueur atteinte ou dépassée par x% des fibres du coton. Par exemple, SL 2.5 % = 30 mm signifie que 2.5 % des fibres composant la frange mesure plus de 30 mm.

Jusqu'en 1995, les standards ICCS (*International Calibration Cotton Standards*) donnaient les longueurs selon cette interprétation du fibrogramme (paragraphe B.2).

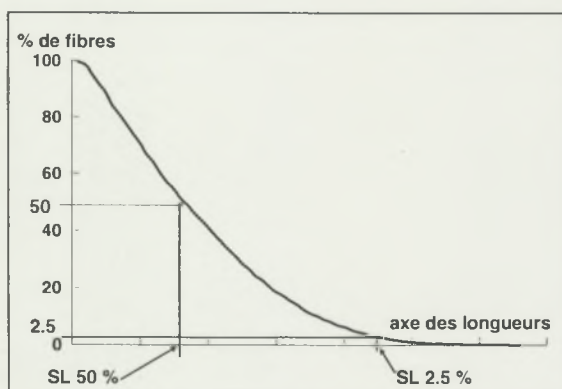


Figure B-4 : Système d'interprétation du fibrogramme ; principes des *Span Lengths*.

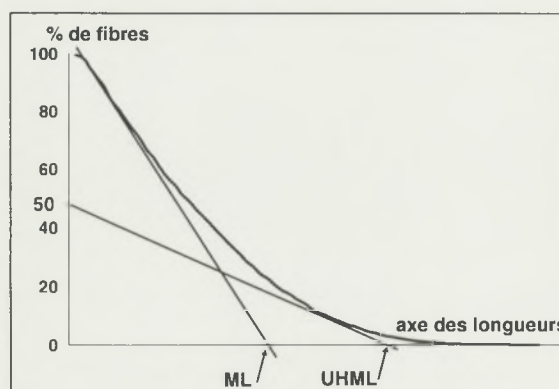


Figure B-5 : Système d'interprétation du fibrogramme ; principe des *Mean Lengths*.

Le système d'interprétation par les *Mean lengths* est graphiquement équivalent à un tracé de tangentes au fibrogramme à des points caractéristiques (Figure B-5) du fait des propriétés particulières des fonctions d'auto-corrélation. Pour simplifier la mise en évidence des critères retenus, deux tracés sont nécessaires :

- la *Mean Length* (ML) est égale à la longueur moyenne de toutes les fibres constituant le faisceau de fibres (Équation B-2).

$$\text{Mean length} = \frac{\sum_{n_i \% = 0}^{100} n_i \% \cdot l_i}{\sum_{n_i \% = 0}^{100} n_i \%}$$

Équation B-2

avec  $n_i \%$  : pourcentage de fibres ; et  $l_i$  : longueur correspondante.

Une tangente au fibrogramme tracée à partir du point 100 % de fibres (à l'endroit de la première lecture d'*amount* ou *Base amount* ou quantité de fibres dans le peigne estimée par le capteur optique du HVI) indique la *Mean Length* sur l'axe des longueurs (Figure B-5).

- La valeur *Upper Half Mean Length* (UHML) est la longueur moyenne des 50 % des fibres qui apparaissent les plus longues dans le faisceau (Équation B-3).

$$\text{Upper Half Mean Length} = \frac{\sum_{n_i \% = 0}^{50} n_i \% \cdot l_i}{\sum_{n_i \% = 0}^{50} n_i \%}$$

Équation B-3

Avec  $n_i \%$  = pourcentage de fibres ; et  $l_i$  = longueur correspondante.

La tangente au fibrogramme tracée à partir du point 50 % de fibres indique la UHML sur l'axe des longueurs. Les résultats pour cette caractéristique sont devenus équivalents aux estimations de la longueur "*pulling*" (longueur obtenue par un classeur manuel avec un pas de 1/32<sup>ème</sup> de pouce) et aux valeurs de SL 2.5 % à la suite d'expérimentation de mise à niveau des résultats (Barger, 1996, Barger et al., 1993).

Les standards HVICC (*High Volume Instrument Calibration Cottons*) donnent les longueurs selon cette interprétation du fibrogramme.

Des ratios d'uniformité sont déduits des deux systèmes d'interprétation du fibrogramme. Respectivement, l'*Uniformity Ratio* (UR %) est le rapport de la SL 50 % sur la SL 2.5 % multiplié par 100, et l'*Uniformity Index* (UI %) est le rapport de la ML sur la UHML multiplié par 100.

Les Fibrographes utilisent la théorie de *Span Lengths* alors que les HVI, suite à de récentes décisions de normalisation (voir paragraphe B.2) utilisent le système des *Mean Lengths*.

#### B.1.2.3. Mesures de ténacité avec les appareils classiques sur faisceaux plats de fibres

Avant d'étudier les méthodes de mesure, voyons la définition de la ténacité, notion propre au domaine de la science des fibres et fondamentalement différente de la grandeur 'ténacité' utilisée en mécanique des matériaux.

La ténacité dans le domaine textile, exprimée en cN/tex, peut être reliée par le biais de la masse volumique à la notion de contrainte en traction généralement utilisée pour les matériaux (Équation B-4).

$$\text{Ténacité (cN / tex)} = \text{Contrainte (Pa)} \times \frac{10^{-4}}{\text{Masse volumique (kg / m}^3\text{)}}$$

Équation B-4

La contrainte correspond à la charge de rupture par unité de surface rompue (généralement exprimée en Pascal ou le cas échéant en daN/cm<sup>2</sup>). Comme il n'est pas possible de mesurer la surface rompue pour les textiles, on utilise la masse linéique (g/1000 m) qui en est une estimation correcte quand la masse volumique du matériaux est constante et connue (il est admis que celle de la cellulose est de 1520 kg/m<sup>3</sup>, Morton et al., 1975).

L'hypothèse d'homogénéité de masse volumique (comparable en tout point) nous paraît discutable pour les raisons suivantes :



- il peut exister un biais 'd'échantillonnage' lors de l'estimation de la section rompue en un endroit précis durant un test de dynamométrie par une valeur moyenne de finesse linéique estimée sur une grande longueur. En effet, l'aire de la section rompue peut être différente de cette valeur moyenne.
- les différences d'organisation de structure dans les diverses couches qui composent les fibres entraînent probablement des variations de masses volumiques. La masse linéique et la masse volumique ne seraient alors pas équivalentes dans les deux couches principales de fibres de coton (voir Kunzek et al., 1999 qui citent plusieurs références bibliographiques sur le sujet).

L'utilisation de la masse linéique – et donc des masses volumiques – dans l'estimation des sections rompues pourrait biaiser l'estimation de la contrainte admissible.

La structure interne est composée de fibrilles qui peuvent être liées sur des longueurs différentes entre elles par un nombre plus ou moins important de liaisons. Cela conditionne alors les forces de rupture enregistrées. Cette organisation des fibrilles différente selon la couche de la fibre considérée (paroi primaire ou paroi secondaire) aurait pour effet de modifier les contraintes admissibles des différentes couches. La contrainte applicable sur la fibre serait donc dépendante de la proportion entre les aires des deux parois principales, autrement dit de la maturité de la fibre considérée.

Ces différences induiraient alors des significations différentes de la ténacité selon le type de fibres testées en dynamométrie.

Il existe plusieurs appareils classiques de détermination de la ténacité :

- Pressley 0 (Pressley, 1942) : c'est un appareil à gradient de charge accélérée uniformément et à pinces de traction jointives qui ne permet pas la mesure de l'allongement. Bien que permettant des tests rapides de ténacité à grande échelle, cet appareil requiert une très grande technicité dans la préparation des spécimens et regroupe beaucoup d'inconvénients techniques. Malgré ces inconvénients, il a longtemps servi de référence dans les transactions commerciales, et n'est théoriquement plus utilisé (il ne devrait plus l'être).
- Pressley 1/8" (Pressley, 1942) : c'est un appareil à gradient de charge accélérée uniformément qui ne permet pas la mesure de l'allongement puisqu'il n'y a pas de dispositif d'enregistrement. Cet appareil requiert une très grande technicité dans la préparation des spécimens. Malgré ces inconvénients, il a été l'appareil de référence aux USA pour la commercialisation des cotons et a servi de référence lors de la création du niveau de lecture de ténacité par HVI.
- Stéломètre (Hertel, 1953) : premier appareil à gradient de charge constant permettant la mesure de l'allongement grâce au test de dynamométrie à pinces écartées de 1/8<sup>ème</sup> de pouce. L'utilisation de dispositifs particuliers de préparation des spécimens, l'application d'une pré-tension aux fibres avant le test et la possibilité de mesurer l'allongement des fibres entre autres ont fait du Stéломètre une référence en matière de caractérisation de la ténacité. Une description plus approfondie est donnée au paragraphe D.1.

Les différents principes d'application de charge impliquent que les résultats de chaque appareil sur un coton donné peuvent être totalement différents. Les analyses d'un même coton ont donné les résultats suivants : Pressley 1/8" : 23.3 cN / tex ; Stéломètre : 19.3 cN / tex. Pourtant ce n'est sans doute pas la seule explication de ces différences. La découverte de biais de mesure par ce travail pourra permettre d'en comprendre mieux l'origine.

Il convient donc de connaître à la fois les conditions d'essai et les résultats pour chaque échantillon lors de l'examen des résultats d'analyse.



### **B.1.3. Les appareils à basse productivité**

Cette catégorie d'instruments n'est apparue que récemment sous le signe de LVI (*Low Volume Instrument*, Hunter, 1998; Hunter, 2000).

Ces appareils permettent des analyses plus précises que les appareils classiques décrits ci-dessus en respectant des contraintes théoriques de réalisation des tests et d'application de principes de mesure plus sévères. Cependant, leur utilisation n'est pas encore généralisée pour la caractérisation des fibres dans un but commercial quotidien. De manière générale, un certain niveau d'automatisation a été réalisé pour permettre de limiter l'intervention de l'opérateur et son effet sur les résultats. Leur principale limitation réside dans leur productivité assez limitée.

Ainsi, l'appareil AFIS (*Advanced Fiber Information System*) permet l'analyse des échantillons de fibres individuelles en caractérisant plusieurs paramètres, tels la longueur, le diamètre et la maturité. Par ailleurs, il permet la quantification de diverses impuretés, tels que les neps (emmêlements de fibres), les débris de coque et les déchets divers (Baldwin et al., 1995, Krifa, 2001b, Krifa et al., 2001c). Cet appareil est décrit plus en détail au paragraphe D.2.

Il existe différents dynamomètres dans cette catégorie. Ainsi, Texttechno et Lenzing proposent des dynamomètres sur fibres individuelles. Pour chacune des fibres testées, l'évolution de la force en fonction du déplacement des pinces peut être produite, et des paramètres importants isolés.

Dans ce travail, l'appareil Mantis (décrit dans le paragraphe D.3) de la société Zellweger Uster a été utilisé dans les locaux de *Cotton Incorporated*.

### **B.1.4. Les appareils à haute productivité**

Les appareils de cette catégorie permettent la mesure rapide de plusieurs caractéristiques des fibres de coton en quelques secondes. L'évaluation balle par balle d'une production est rendue possible pour un regroupement des balles par qualité de fibre.

Sasser et Moore (Sasser et al., 1992b) retracent l'historique du développement des appareils HVI. Après les recherches de base sur la technologie de la fibre de coton (1930-1940), la demande pour des appareils de mesure rapide des caractéristiques technologiques de la fibre augmente.

Le premier appareil automatisé est le Fibronaire, décrit en 1955, et ensuite intégré dans les lignes de contrôle. Dès cette époque, certains pensent à intégrer la mesure des autres paramètres technologiques dans ces lignes de contrôle.

En 1960, la première chaîne HVI développée par la firme "*Plain Cotton Cooperative Association*" mesure automatiquement l'indice Micronaire, la couleur, et le taux de matières étrangères (visuellement).

En 1963, comme il existait des appareils performants et indépendants de laboratoire (*stand alone test*) pour la mesure de plusieurs caractéristiques du coton (couleur, longueur, ténacité etc.), l'USDA impose un cahier des charges pour l'obtention de la mesure automatique sur chaque balle de coton US.

En 1965, *Motion Control Incorporated* (MCI) a développé un appareil rapide de lecture des longueurs. L'USDA signe alors avec eux un contrat de développement pour un appareil de lecture rapide de la ténacité, avec les mêmes consignes pour toutes les firmes qui voulaient se lancer dans les recherches : test en 10 secondes ; utilisation d'un faisceau de fibres prises au hasard (spécimen dit "*tapered*" : c'est-à-dire en forme de pointe) ; évaluation de la masse du



spécimen corrigée par le Micronaire ; système permettant la répartition des efforts de serrage des pinces de traction au moment de la casse du spécimen.

Dès 1969, les six premiers appareils (MCI) sont livrés et la reproductibilité des mesures est éprouvée. Cet appareil utilise un système pneumatique pour la mesure de la distribution de longueur (Brown, 1958).

Spinlab (racheté par Zellweger Uster dans les années 1990) commercialise la première chaîne (modèle 800) en 1980.

Dans les années 80, la production importante de fils Open-End induit une demande de caractérisation des fibres pour prévoir la ténacité des fils. Les systèmes HVI vont répondre à cette demande, et le nombre de machines en service croît rapidement (Hunter, 1998, Hunter, 2000, Figure B-6).

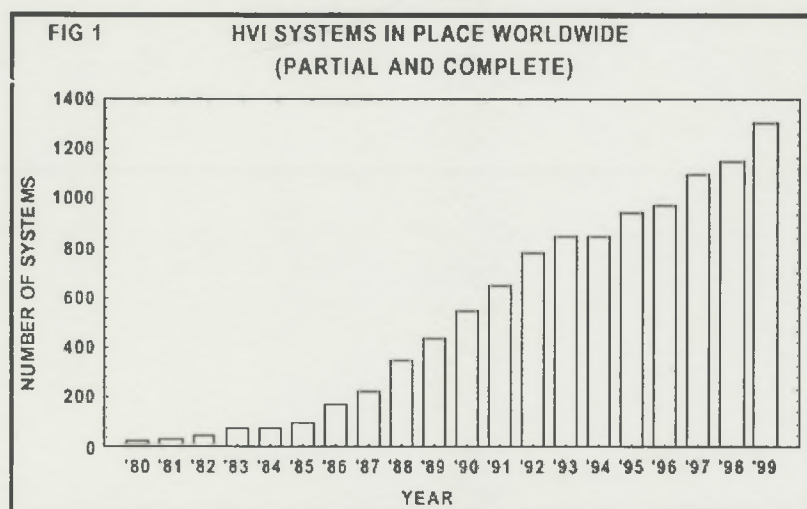


Figure B-6 : Nombre de HVI (complets ou partiels) installés dans le monde (Hunter, 2000).

En 1988, les appareils HVI sont agréés comme appareils de mesures pour la caractérisation des fibres de la production cotonnière des USA. La récolte des cotonniers Upland (*G. Hirsutum*) de 1991 aux USA a été la première récolte totalement classée par HVI balle par balle. En 1995, les HVI sont reconnus par l'*Universal Standard Committee* comme un des appareils de classement commercial des cotons pour le monde entier. En 1998, le même comité organise la fabrication et la validation de cotons de référence en vue de l'étalonnage et du contrôle des résultats des appareils à travers le monde (voir paragraphe B.2).

Plusieurs compagnies proposent désormais des appareils automatisés et plusieurs modèles sont disponibles : Lintronic (Mor, 2000), Premier (Taylor, 1998), Schaffner (Shofner et al., 2000), Zellweger Uster (Gorashi, 2000).

Les principes de fonctionnement de cet appareil sont décrits dans le paragraphe D.4. Cependant, on peut remarquer que, contrairement aux appareils classiques où les tests de dynamométrie sont réalisés sur faisceaux plats de fibres, les tests HVI sont réalisés sur des échantillons en forme de pointe (*tapered beards*) du fait du mode d'échantillonnage des fibres au hasard.

#### B.1.4.1. Utilisation des HVI pour le classement commercial

Par classement commercial ou classification, nous entendons toutes les étapes qui permettent de constituer des lots de balles dont les caractéristiques de fibre respectent une certaine homogénéité pour un ou plusieurs critères technologiques. Les étapes critiques sont : le prélèvement d'échantillons représentatifs, leur conditionnement dans des conditions normalisées d'ambiance, leur analyse selon les normes en vigueur dans ces mêmes conditions

d'ambiance, la récupération des résultats pour l'affichage sur chaque balle servant à un tri sélectif qui permet d'assembler des balles de qualité comparable au sein de lots différenciés. Le détail des informations fournies pour toutes les balles de la production est donné dans Anonyme, 2001.

La caractérisation proprement dite n'est qu'une étape dans cette opération de classement pour laquelle des normes et des agréments internationaux sont à respecter (Hunter, 1998, Hunter, 2000, ASTM, 1996c, Anonyme, 1993, Règlement Général du Havre etc.).

Les appareils HVI permettent l'analyse de 600 à 800 échantillons de coton par 8 heures dans les conditions suivantes : 1 à 2 employés par chaîne selon les modèles d'appareil, lecture par code-barre des références des échantillons, 2 analyses de Micronaire par échantillon, 2 ou 4 lectures de longueur / ténacité, respectivement pour Upland ou Pima, et 2 ou 4 lectures de couleur et taux de déchets. La précision des résultats avec cette méthode est donnée par Sasser (Sasser, 1992a, Tableau B-1).

**Tableau B-1 : Précisions atteintes par les mesures HVI dans le cadre de l'utilisation de l'USDA.**

Caractérisation HVI	Tolérance (+ ou -)
Micronaire	0.1
Longueur	0.02 pouce ou 0.51 mm
Uniformity Index	1.0 %
Ténacité Strength	1.5 cN/tex
Réflectance Rd %	1.0 %
Degré de jaune +b	0.5 unité
Trash	0.1 %

Ces conditions ont permis à l'AMS USDA de classer balle à balle toutes les productions des USA dès 1991. Un projet de laboratoire HVI complètement automatisé est en cours de préparation aux USA pour la salle de classement de Memphis (TN). (Gorashi, 2000).

Afin d'améliorer davantage la répétabilité des mesures, le concept de '*module averaging*' a été mis en place pour affecter la valeur moyenne des résultats de toutes les balles d'un module de production à chacune des balles de ce module. Par cette méthode, le nombre de mesures individuelles est augmenté apportant une meilleure précision dans les caractérisations (Backe, 1993, Boyd, 1993, Britt et al., 1995, Moore, 1994, Rowland, 1995).

Par ailleurs, des efforts importants d'information ont été consentis à l'attention de tous les segments de l'industrie cotonnière (Moore, 1987; Moore, 1988; Moore, 1992)

#### B.1.4.2. Utilisation dans un programme d'amélioration variétale et la recherche en métrologie

Afin de créer de nouvelles variétés qui seront commercialisées en tenant compte des caractéristiques HVI, il est nécessaire de les évaluer en utilisant les mêmes appareils de caractérisation.

La méthode commerciale de l'USDA pour le classement d'une campagne ne permet pas d'atteindre le niveau de précision requis. Pour atteindre cet objectif, il est donc nécessaire d'adapter les méthodologies commerciales. Après différentes recherches sur les modes d'échantillonnage pour les analyses HVI (Gawrysiak et al., 2002, Gurlot et al., 1994, Gurlot et al., 1996, Chanselme et al., 1996), des recommandations pratiques particulières ont été mises en place par les sélectionneurs comme, par exemple, obtenir un bon mélange du coton-graine et des fibres, respecter un protocole opératoire permettant de limiter la variabilité des résultats et augmenter la représentativité de l'échantillon. Grâce à ces dispositions, des précisions suffisantes peuvent être atteintes afin de permettre une bonne efficacité dans la sélection variétale.



## B.2. Nécessité d'une normalisation internationale et définition des cotons de référence

Tout écart de qualité par rapport à ce qui est attendu est pénalisé par des décotes ou récompensé par des primes sur le prix de vente desdites fibres. Il faut donc étudier les règles essentielles de fonctionnement de ce système de rétribution à la qualité.

### B.2.1. Pourquoi une standardisation internationale ?

En supposant que deux échantillons identiques soient prélevés sur une même balle de fibres de coton, et que ces deux échantillons soient soumis à l'analyse des caractéristiques technologiques des fibres dans deux laboratoires différents (par exemple, celui du service classement, et celui du client filateur), il peut arriver que les résultats obtenus ne concordent pas. Dans ce cas, il est difficile, voire impossible, de savoir quels sont les résultats 'objectifs' et valides.

Pour éviter ce problème, des précautions doivent être prises, comme le respect des normes en vigueur concernant le conditionnement d'air ( $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $65\% \pm 2\%$  d'humidité relative, ASTM, 1990, AFNOR, 1980a, Hunter, 1998) et l'étalonnage des appareils de mesure. Afin de rendre possible une comparaison des résultats entre laboratoires du monde entier, chaque laboratoire doit respecter les conditions d'analyse suivantes (Gurlot, 1999a) :

- étalonner ses appareils avec les dernières générations de standards de référence pour garantir le niveau de lecture à la référence internationale ;
- vérifier et mettre en place des procédures pour garantir les précisions fixées ;
- participer à des tests périodiques externes de contrôle de la qualité des résultats fournis ;
- vérifier la qualité du classement qualitatif effectué.

Ces différentes recommandations doivent permettre de classer les cotons conformément à leur qualité à des niveaux comparables à ceux attendus par le marché, tout en limitant les réclamations pour améliorer ou conforter une image de marque.

Des 'cotons de référence' ont été créés pour rendre comparables tous les résultats intra et inter-laboratoires. Ce sont des cotons bien mélangés, qui ont été analysés par des laboratoires de référence pour leur affecter des valeurs technologiques pour chaque caractéristique mesurée.

Pour établir ces niveaux de mesure, plusieurs étapes se sont succédées au rythme des technologies disponibles à la période considérée :

- En 1923 : constitution de l'*Universal Standard Committee* pour l'établissement de standards de référence pour le grade et la longueur *pulling*.
- Dans les années 1940 : apparition des appareils classiques de mesure comme stélomètre, fibrographe, fibronaire, appareils *Pressley*, avec la constitution de l'*International Calibration Cotton Standards Committee* (ICCS) qui établit progressivement les cotons de référence pour tous les appareils de mesure et les distribue au travers de l'*United States Department of Agriculture* (USDA) des Etats-Unis.
- Dans les années 1980 : apparition des appareils *High Volume Instruments* (HVI), et constitution de standards d'étalonnage spécifiques HVICC (*HVI Calibration Cottons*) valides et reconnus au sein des USA, également distribué par l'USDA.
- En 1995 et 1998 : décision d'accepter universellement les standards HVI comme base de référence commerciale de mesure de qualité des fibres et, en conséquence, les HVI



comme appareils de classification de la qualité des fibres de coton. Les cotons d'étalonnage HVICC sont alors devenus des standards universels (Knowlton, 2000).

Les cotons de référence disponibles sont répartis dans les grandes catégories suivantes.

#### B.2.1.1. Les cotons ICCS

Neuf types de standards ICCS très bien mélangés grâce à différentes étapes de battage et de cardage (A, B, C, D, E, F, G, H et I) possédant des caractéristiques couvrant des gammes dans chaque critère technologique mesuré ont existé. Ces cotons ICCS étaient déterminés par 6 laboratoires (4 aux USA, 2 en Europe dont le laboratoire Cirad-ca) pour les caractéristiques suivantes : SL 2.5 et 50 %, UR%, ténacité stéломétrique et allongement, Pressley 0 et 1/8", Micronaire.

En complément, une gamme spécifique de six cotons ICCS est sélectionnée et vendue pour l'étalonnage des dispositifs de mesures de Micronaire sur HVI (label ICCS Mike only).

Les cotons ICCS doivent être utilisés :

- sur tous les appareils classiques de déterminations des caractéristiques de fibres pour l'ajustement des résultats au niveau international ;
- sur les appareils classiques et les chaînes HVI pour les standards ICCS *Mike only*.

Après la modification des agréments de 1995 et 1998 (Anonyme, 1998), seuls 3 types de standards ICCS nommés C, L et M demeurent. En revanche, tous les types de standards *ICCS Mike Only* ont été conservés.

#### B.2.1.2. Les cotons HVICC

Les cotons HVICC, issus de balles prélevées dans la production égrenées à la scie des Etats-Unis d'Amérique, sont déterminés par 5 laboratoires (3 aux USA, 2 en Europe depuis 1998, Knowlton, 2000) et sont aptes à l'étalonnage des HVI pour les caractères suivants : UHML, *Uniformity Index* et la ténacité HVI (*Strength*).

Les cotons HVICC sont utilisés comme système officiel de référence pour les tractations commerciales depuis 1998, et d'étalonnage des chaînes HVI pour l'ensemble des paramètres cités ci-dessus, à l'exception du micronaire dont l'étalonnage requiert des cotons ICCS *Mike only*.

#### B.2.1.3. Les standards de grade et de pulling

Des boîtes de standards sont constituées par l'USDA et validées par toute la profession cotonnière tous les trois ans. Notons cependant que chaque compagnie cotonnière peut utiliser ses propres standards de référence.

Ces standards ont légèrement évolué ces dernières années, en particulier depuis 1998, pour faire correspondre les estimations visuelles traditionnelles avec les résultats des appareils de mesure tels le colorimètre et le *trashmeter*.

Des carreaux de céramique simulant des cotons de teintes et de charge données sont également utilisés pour l'étalonnage des équipements, et reproduisent des combinaisons particulières de couleur et de taux de charge en matières étrangères rencontrées dans le cas d'échantillons de coton (ASTM, 1987).

### B.2.2. Etude de consommation des différents standards d'étalonnage

La consommation des divers types de standards (Figure B-7 à Figure B-9) atteste de la révolution qui fait suite aux décisions prises au niveau international, et en particulier à l'apparition des HVI, et montre que, mis à part à l'USDA – organisme officiel de classification des cotons aux USA – trop peu de laboratoires étalonnent leurs appareils de



mesure (Tableau B-2). Le grand danger est, comme nous l'avons déjà dit, que sans étalonnage ou vérification du niveau d'étalonnage, aucune mesure ne peut être considérée comme valable et comparable à d'autres.

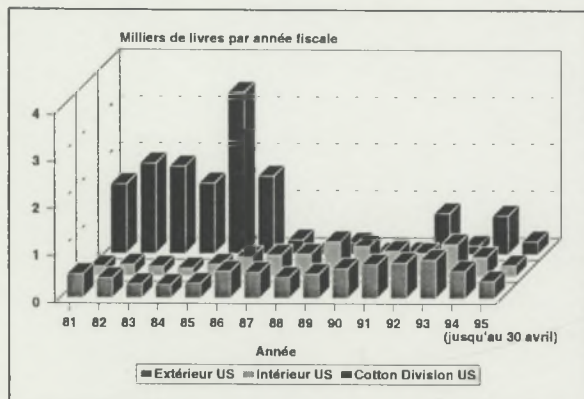


Figure B-7 : Consommation annuelle de cotons ICCS (Source USDA).

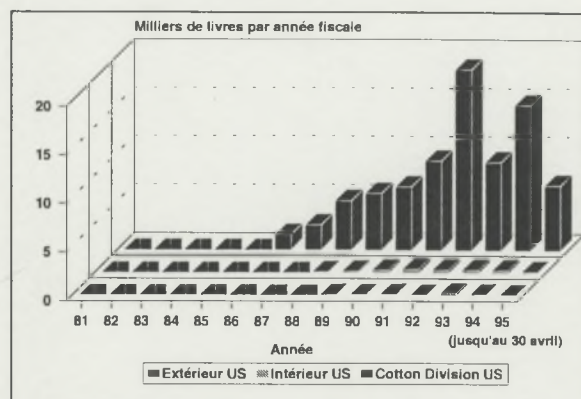


Figure B-9 : Consommation annuelle de cotons ICCS Mike Only (Source USDA).

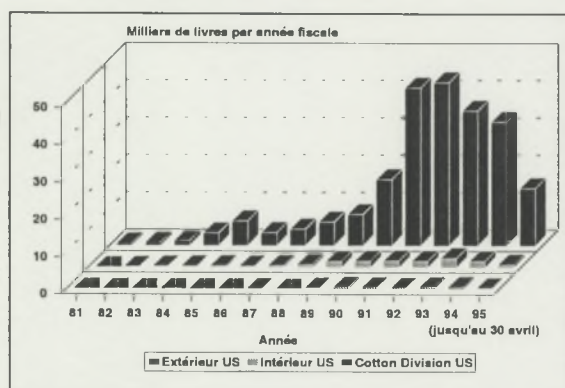


Figure B-8 : Consommation annuelle de cotons HVICC (Source USDA).

Tableau B-2 : Répartition de la consommation de cotons standards par type et par zone d'utilisation en 1991.

Utilisateur	Nombre de HVI	HVICC		ICCS Mike Only	
		Quantité (kg)	Consommation par machine	Quantité (kg)	Consommation par machine
USDA	212	19214	199.8	3023	31.4
USA sauf USDA	91	828	20.1	49	1.2
Extérieur USA	318	193	1.3	2	0.01
Total	621	20235		3074	

Le tableau de la consommation de standards ventilée en 1994 (Tableau B-3) permet de montrer la prise de conscience en cours de l'importance de l'étalonnage des appareils de mesure.

Tableau B-3 : Répartition de la consommation de cotons standards par type et par zone d'utilisation en 1994 ; Evolution de la consommation par rapport à 1991.

Utilisateur	Nombre de HVI	HVICC		ICCS Mike Only	
		Quantité (kg)		Quantité (kg)	
USDA		15052 (- 21 %)		6803 (+ 125 %)	
USA sauf USDA		767 (- 7 %)		127 (+ 159 %)	
Extérieur USA		245 (+ 27 %)		42 (+ 2200 %)	
Total	883 (+ 42 %)				

### **B.2.3. Etalonnage (Calibration)**

Pendant la réalisation des analyses, plusieurs cotons de référence (le minimum recommandé est de deux) subissent le même mode opératoire que les échantillons à caractériser. Ainsi, des relevés d'informations comparables sont disponibles pour les échantillons ( $R_E$ ) comme pour les cotons de référence ( $R_R$ ) qui portent des valeurs de référence ou théoriques définies par ailleurs ( $R_T$ ). Les résultats corrigés obtenus sur les échantillons ( $R_{EC}$ ) sont généralement les seuls à être transmis.

Lors du calcul des résultats, plusieurs possibilités de correction ont progressivement été développés :

- les résultats bruts sont remis sans correction, et les résultats sur les cotons de référence ne servent qu'au suivi à long terme des résultats du laboratoire pour un système de maintenance par exemple ;
- un facteur de correction additif est calculé à partir de la différence entre la moyenne des résultats attendus et la moyenne des résultats bruts pour les cotons de référence ( $R_T - R_R$ ) ; ce facteur de correction est ensuite appliqué à tous les résultats obtenus sur les échantillons analysés dans la même série que les cotons de référence qui ont permis le calcul du coefficient de correction [ $R_{EC} = R_E + (R_T - R_R)$ ] ;
- un facteur de correction multiplicatif est calculé à partir du rapport entre la moyenne des résultats attendus et la moyenne des résultats bruts pour les cotons de référence ( $R_T / R_R$ ) ; ce facteur de correction est ensuite appliqué à tous les résultats obtenus sur les échantillons analysés dans la même série que les cotons de référence qui ont permis le calcul du coefficient de correction [ $R_{EC} = R_E * (R_T / R_R)$ ] ; (Anonyme, 1986) ;
- une formule de correction régressive (généralement polynôme du premier degré) est calculée à partir de la relation existant entre les résultats attendus et les résultats bruts pour les cotons de référence ( $R_T = f(R_R) = a.R_R + b$ ) ; cette formule de correction est ensuite appliquée à tous les résultats obtenus sur les échantillons analysés dans les mêmes conditions que précédemment [ $R_{EC} = a.R_E + b$ ].

Les appareils de caractérisation des propriétés physiques de la fibre utilisent généralement les corrections multiplicatives (appareils classiques) ou régressives (appareils informatisés tels que les HVI). Une norme ASTM donne quelques précisions sur les méthodes à appliquer pour l'étalonnage des appareils de mesure (ASTM, 1986).

### **B.2.4. Commentaires sur les méthodes d'établissement des valeurs de référence des cotons standards**

L'étalonnage et la vérification de la validité des résultats obtenus sur les différents appareils de mesure sont généralement destructifs. En conséquence, les stocks de cotons de référence s'épuisent et il est nécessaire de les reconstituer régulièrement avec de nouveaux cotons candidats.

L'USDA, organisme responsable de ce travail, sélectionne des nouvelles balles de fibres qui peuvent potentiellement devenir des cotons de référence.

La procédure d'établissement de valeurs de référence fait alors appel à des laboratoires désignés pour tester les balles candidates. Comme indiqué dans le paragraphe précédent, les résultats bruts des balles candidates doivent être corrigés en fonction de résultats obtenus sur des cotons de référence analysés simultanément.

Des expérimentations particulières ont été mises en place pour s'assurer que les valeurs de référence ne dérivent pas au fil du temps pour les deux types de standards ICCS et HVICC.



Dans le cas des cotons ICCS, une vingtaine de ces cotons de différentes générations établis en relation avec des cotons standards de différentes générations ont été testés par plusieurs techniciens expérimentés dans un dispositif complètement randomisé. Les résultats ne montrent pas de dérive notable de résultats sur une période de plus de 15 années (Gurlot, 1993).

Pour ce qui concerne les cotons standards HVICC, malgré toutes les précautions prises (Knowlton, 2000, Mc Nabb, 1995), les résultats de nos expérimentations montrent une dérive très significative des résultats établis selon ces procédures normalisées (Gurlot, 1997a).

C'est à cette époque, et sans lien évident avec ce qui précède, qu'une demande formalisée s'est faite jour pour une méthode de référence sur l'établissement des niveaux de lectures de la ténacité HVI (Hequet et al., 1994, Adams, 1994).

Une communication récente a montré d'une autre manière que le problème n'est semble-t-il pas résolu. Schneider (Schneider et al., 2002) montre une évolution du rapport entre les résultats obtenus sur HVI et ceux obtenus sur Stéломètre pour certains cotons au fil des années.

### **B.3. Point sur les conditions de température et d'humidité pour le conditionnement des échantillons et la réalisation des caractérisations**

Les analyses de caractéristiques technologiques de la fibre sont toutes dépendantes des conditions ambiantes de test. L'humidité relative a une incidence sur le taux de frisure des fibres. Cette frisure induit un biais et les mesures de longueurs sont faussées. En conséquence, l'évaluation de la ténacité est elle aussi biaisée. Roch en a étudié les effets et a conduit à certaines recommandations techniques (Roch, 1976a).

Les conditions normales de laboratoire sont fixées à  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  et 65 % d'humidité relative  $\pm 2\%$  (ASTM, 1990, AFNOR, 1980a). Ces conditions particulièrement draconiennes sont régulièrement remises en cause par différents groupes de pression, mais aucun changement n'est prévu dans un futur proche.

Les variations de conditions climatiques ne jouent pas seulement sur les niveaux de mesure, mais aussi sur la variabilité des résultats. Une étude américaine montre qu'une variation de courte durée de 1 % en humidité relative apporte une modification moyenne de ténacité de 1 cN / tex (Sasser P, 1990). Les cotons ne réagissent pas tous de la même manière à un apport d'humidité et leur temps de conditionnement doit être suffisamment important. Ce temps est affecté par la compacité des échantillons à analyser, des taux respectifs des différents types de cellulose et de leur cinétique d'absorption en eau. Des dispositifs importants de contrôle des conditions d'ambiance dans les salles de classement sont utilisés (Cowden et al., 1993; Cowden et al., 1994).

Cependant, des dispositifs particuliers de conditionnement des échantillons ont été récemment mis en place afin d'en limiter la durée. Connue sous le nom de *rapid conditioning*, ces techniques utilisent des taux importants de brassage d'air pulsé et conditionné au travers des échantillons. Les premières recherches ont été conduites à l'USDA Clemson (Brown, 1987), et ont été adaptées puis utilisées dans les salles de classement de l'USDA (Knowlton, 1996). Plusieurs constructeurs proposent ce type de produit (Shirley Development Ltd, Schaffner Technologies Inc.).

#### B.4. Discussion sur les conditions d'application des modèles théoriques et rhéologiques aux tests sur fibres de coton

Afin de prévoir le comportement des matériaux dans leur milieu d'utilisation, beaucoup de paramètres mécaniques sont mesurés, et en particulier leur(s) réponse(s) à des sollicitations axiales, transversales, de torsion, de fatigue, ..., appliquées individuellement ou en combinaison (Morton and Hearle, 1975).

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés uniquement à l'application de contraintes axiales et de traction sur les fibres de coton, seules ou organisées sous forme de faisceaux de fibres parallèles, pour en déterminer leur résistance de rupture. Cependant, du fait de la conception des dispositifs de maintien et de mise sous tension des spécimens, il est possible que d'autres types de contrainte soient appliqués lors du test, sans qu'il soit possible de les quantifier. Nous nous sommes néanmoins efforcés à mettre en évidence toutes les interactions probables qui peuvent induire des biais dans les mesures effectuées.

Il faut noter qu'il existe en France une distinction entre 'résistance de rupture' et 'résistance à la rupture' AFNOR, 1975a; AFNOR, 1975b. Cette distinction n'existe pas clairement en langue anglaise où on ne retient que la première acception. La 'résistance de rupture' concerne la force maximum relevée sur la courbe force / allongement, et l'allongement correspondant pour un essai conduit jusqu'à la rupture, alors que la 'résistance à la rupture' est relative à la contrainte instantanée relevée au moment de la rupture du spécimen (pas toujours facile à mettre en évidence, surtout dans le cas de spécimen composites, Figure B-10).

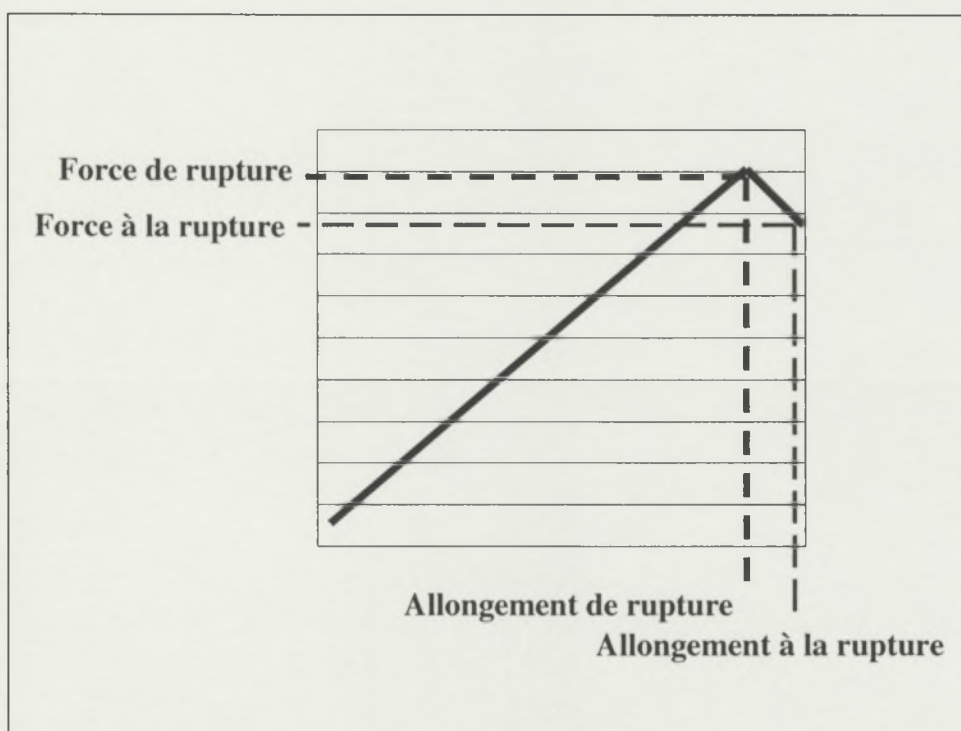


Figure B-10 : Définition de quelques termes utilisés pour interpréter les résultats d'un test de dynamométrie.

Par la suite, seule la notion de 'résistance de rupture' sera retenue quand la force est maximale (*peak force* en anglais) et l'allongement relevé correspond à cette force maximale sur la courbe force/allongement.

Pour appliquer les lois générales de la Résistance des Matériaux, les hypothèses suivantes (Tableau B-4) doivent être vérifiées par commodité pour effectuer des modélisations sur les matériaux et faciliter les mesure de résistance des matériaux (Kerguignas et al., 1977).



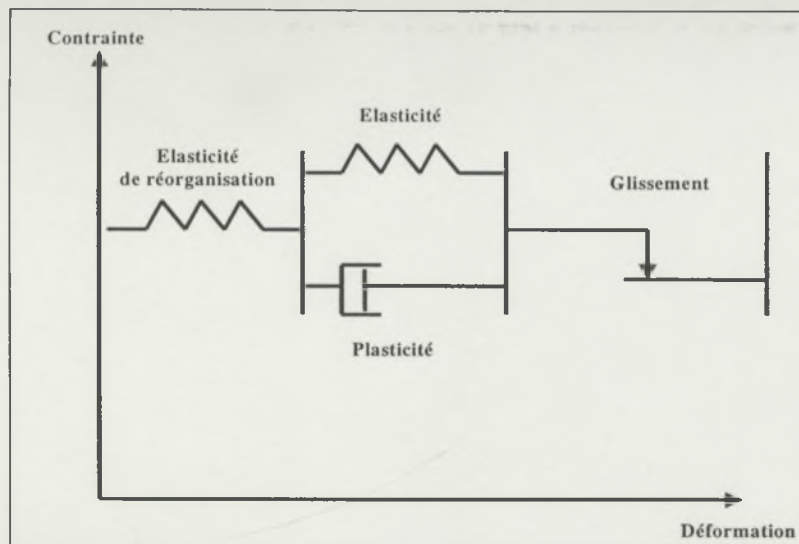
Dans cette liste, plusieurs conditions ne semblent pas être vérifiées. Il faut y ajouter le fait que la plupart des dynamomètres de fibres travaillent sur des faisceaux de fibres et, qu'en conséquence, la situation ne facilite pas la vérification des hypothèses générales de travail.

**Tableau B-4 : Liste des hypothèses / conditions émises dans les tests de résistance des matériaux.**

Hypothèse	Cas des fibres de coton
Les matériaux sont isotropes (mêmes caractéristiques dans toutes les directions) et homogènes (même caractéristiques en tous points).	Il est connu que les fibres de coton sont composées de fibrilles et que leur dépôt est fonction des conditions de culture ; cette hypothèse semble donc ne pas être vérifiée.
Les solides étudiés sont des poutres qui sont des solides : - engendrés par une surface plane, appelée section droite, dont le centre de gravité décrit une courbe, appelée ligne moyenne, et dont le plan reste orthogonal à cette ligne moyenne ; - tels que leur section droite varie lentement et de façon continue ; - tels que la ligne moyenne a un grand rayon de courbure par rapport aux dimensions de la section droite ; - tels que les dimensions de la section droite soient petites par rapport à la longueur.	Tous les points de cette hypothèse semblent se vérifier ici. Cependant, les sections droites des fibres de coton pivotent autour de la ligne moyenne (vrillage), dans des sens qui peuvent changer selon leur position dans la fibre (reversals).
Les actions extérieures doivent : - être exercées progressivement et sans choc, - ne pas être appliquées très longtemps (risque de fluage), - ne pas être appliquées très longtemps de très nombreuses fois (test de fatigue), - ne pas être modifiées par les déformations de la poutre.	Il semble que cette hypothèse est vérifiée sur tous les dynamomètres utilisés.
Lors des déformations, les sections restent planes, les matériaux restent dans le domaine élastique.	On peut supposer que cela est vrai. Cependant, on peut imaginer que, du fait de la structuration de la fibre en fibrilles, certaines sections peuvent se déformer. D'autre part, lorsque la contrainte est appliquée quelques instants avant la rupture, l'hypothèse du domaine élastique est rejetée.
Les sections droites considérées sont éloignées des zones d'application des actions extérieures.	On peut considérer que cette hypothèse est vérifiée dans des tests à pinces non-jointives.
Le principe de superposition s'applique aux déformations.	Dans le cas des tests en traction pure comme ils sont réalisés sur les fibres de coton, cette hypothèse est vérifiée.
On applique la loi de Hooke où l'hypothèse de linéarité entre contraintes et déformations est émise.	Cela peut être vrai dans les zones élastiques, mais pas dans les zones plastiques de déformation.

Deux grandes catégories de dynamomètres existent par leur mode d'application de la contrainte de traction : les appareils à augmentation constante de charge par unité de temps (CRL, *Constant Rate of Loading*), et les appareils à augmentation de déplacement constante par unité de temps (CRE, *Constant Rate of Extension*). En technologie cotonnière, les deux types d'appareils sont utilisés et cette information sera précisée dans la description des appareils utilisés pour ce travail (Chapitre D). Notons que les concepts dénommés CRE et CRL définissent les appareils de mesure, et non ce que subissent les fibres. En effet, bien que le Stéломètre soit un appareil à application de contrainte par augmentation constante de charge par rapport au temps, les fibres subissent des charges qui sont fonction du nombre de fibres à rompre. Aussi, jusqu'à l'instant où la première fibre va casser, la charge augmente constamment et est répartie sur les  $n$  fibres composant le faisceau. En revanche, dès la première casse, la même charge instantanée est répartie sur les  $n-1$  fibres restantes. Un phénomène 'd'avalanche' peut alors se produire par concentration des contraintes sur un nombre décroissant de fibres qui résistent encore à l'effort de traction.

Le point sur la modélisation du comportement mécanique des fibres de coton, non étudié en détail ici, semble s'apparenter à un modèle de Kelvin-Voigt amélioré (Lemaitre et al., 1998) qui combine un ressort et un amortisseur linéaire, qui peut être complété par une élasticité de réorganisation et un glissement (Figure B-11).



**Figure B-11 : Représentation selon un modèle analogique du comportement réel de la réponse des fibres à la traction.**

Dans cette figure, l'élasticité de réorganisation peut être affectée à la frisure des fibres qui est récupérée, par exemple après un brossage peu agressif. La partie 'élasticité' peut être mesurée sur les appareils à pinces non jointives, et cela peut être une partie de l'explication des différences observées par exemple entre les résultats des appareils Pressley sans jauge (distance entre pinces en début de test de traction) et Pressley à jauge de 3.175 mm. Pour ce qui concerne la plasticité, elle peut affecter les résultats de tests effectués à différentes vitesses de traction.

Peu de choses sont connues sur la modélisation du comportement des fibres de coton. Une tentative récente ne travaille d'ailleurs que sur des fibres cellulosiques reconstituées (Kompella et al., 2002). Pendant ce travail de thèse, aucune des machines de test utilisées et disponibles rapidement ne permettait les mesures qui auraient pu conforter cette hypothèse.

### B.5. Point sur les libellés des caractéristiques

Comme nous allons le voir dans ce document, différents constructeurs proposent des matériels de caractérisation des fibres de coton. Cependant, la majorité d'entre eux résident aux Etats-Unis d'Amérique, et les libellés des caractéristiques qu'ils tentent de mesurer ainsi que les unités utilisées ne correspondent pas forcément avec ceux définis par le système international des unités (ISO).

Afin de rendre ce document lisible à la fois par le monde de la recherche et celui des utilisateurs, j'ai pris le parti d'utiliser les libellés des constructeurs pour chaque caractéristique mesurée, et de traduire les unités selon les normes ISO.

Pour ce qui concerne les mesures de force, nous admettrons que l'accélération de la pesanteur est voisine de  $10 \text{ m/s}^2$  afin de rendre les niveaux de mesures comparables aux données utilisées quotidiennement par de nombreux utilisateurs.

Les unités utilisées ainsi que les libellés des variables sont donnés dans le chapitre d'avant-propos.

Cependant, de manière générale, nous nous efforcerons d'utiliser les unités (et leur multiples et sous-multiples) suivantes :

- force en Newton ;
- masse en gramme ;



- finesse en tex qui est la masse en gramme de 1000 m de textile linéaire (fibre, fil, ruban, etc ...) ;
- ténacité en cN/tex ; dans le milieu du coton, on utilise encore souvent le g/tex (sous-entendu gramme-force /tex) qui est l'équivalent du cN/ tex dans cet ouvrage,
- distances exprimées en mètre. Notons cependant que dans le milieu du coton, le pouce, ses fractions et le nombre de ses fractions sont souvent utilisés.

A la suite de cette étude, nous définissons les objectifs assignés à cette recherche (chapitre C) dans le cadre de la formation doctorale.

Ensuite, nous définirons les méthodes et appareils de mesure retenus (chapitre D) pour atteindre les objectifs fixés, avant de décrire les expérimentations et les résultats obtenus (chapitre E et F) avant d'en arriver à une conclusion générale qui regroupe les principaux acquis de ces recherches (chapitre G).

## ***CHAPITRE C***

### ***OBJECTIFS DE RECHERCHE***



## Chapitre C : Objectifs de recherche

L'étude du nombre de communications et publications réalisées ces dix dernières années permet de constater que les chercheurs comme les utilisateurs semblent se satisfaire des résultats produits par les appareils HVI. Pour réaliser cette étude, les publications ont été réparties en fonction de la caractéristique majeure mesurée et étudiée sur HVI (micronaire, maturité, finesse, ténacité, couleur, taux de déchet ...). De manière générale, le nombre de communications sur le HVI diminue régulièrement chaque année (Figure C-1). En isolant celles relatives à la mesure de la ténacité des fibres, le nombre d'articles est également en diminution et est maintenant très bas. Le pic de 1994 correspond aux études préliminaires au changement de standardisation internationale pour ce qui concerne la colorimétrie et le taux de charge ; celui de 1998 correspond à la communication des premières recherches relatives à ce travail de thèse sur la ténacité des fibres (Figure C-2).

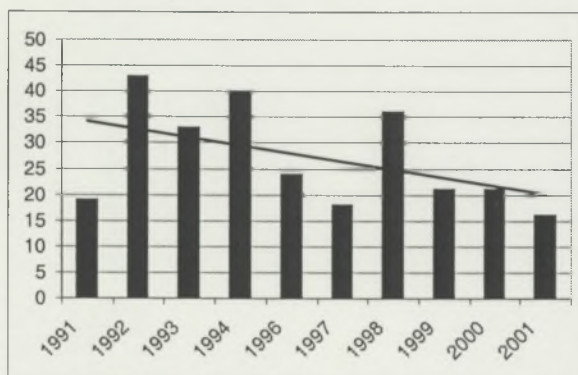


Figure C-1 : Nombre de communications / publications sur la technologie cotonnière par HVI.

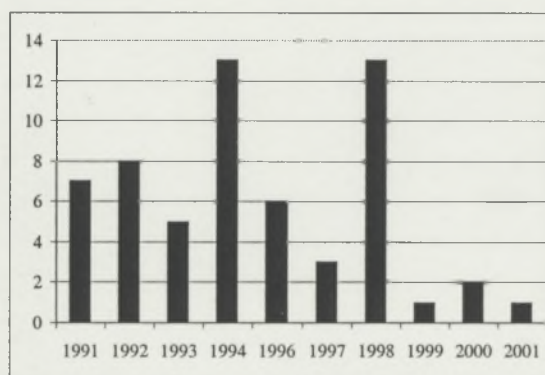


Figure C-2 : Nombre de communications / publications sur la mesure de la ténacité des fibres par HVI.

Ce travail sur la mesure de la résistance de rupture des fibres présenté ici a été réalisé dans le cadre d'un effort de normalisation internationale. A l'époque où il est apparu nécessaire d'aborder ce sujet, plusieurs modèles de HVI existaient, et des écarts de résultats étaient constatés. Aussi, l'USDA a mis en œuvre un projet de recherche internationale désigné sous le terme de *Reference Strength Tester* ou RST.

L'objectif de ce projet est de vérifier si des appareils HVI complétés par quelques dispositifs pouvaient produire des résultats reproductibles dans plusieurs laboratoires internationaux sur une longue période de temps, et devenir ainsi la méthode de référence d'établissement des valeurs de cotons de standards d'étalonnage.

Dans ce contexte, l'hypothèse de base est que les mesures réalisées sur le module de mesure de la longueur et le dynamomètre intégré sont fiables et non biaisées par d'autres propriétés des fibres de coton.

Je me suis intéressé à la vérification de cette hypothèse de base. Il s'agit donc d'une recherche en approche méthodologique et en métrologie principalement s'appuyant sur diverses méthodes de mesure et leur mode opératoire. Cela est indispensable pour conclure sur la signification d'effet des propriétés des fibres sur la caractérisation de leur ténacité.

Outre la vérification de la qualité des mesures des appareils HVI, cette recherche conduit également à la vérification de la qualité de mesure d'autres appareils indépendants (*stand alone testing*) qui ont été utilisés.



Le mode de calcul de la ténacité est simple : il s'agit de diviser une force de rupture mesurée sur des spécimens par la masse linéique desdits spécimens.

En pratique, le type de dynamomètre utilisé, le mode d'échantillonnage et de préparation des fibres, la vitesse et la méthode d'application de la contrainte, la largeur entre pinces de traction, leur configuration, l'intervention humaine, le mode d'estimation de la masse de fibres rompues, etc... sont autant de biais potentiels dans la mesure de la ténacité des fibres.

Différents essais de machines de référence pour la mesure de ténacité ont déjà été tentés (Godbey et al., 1990, Godbey et al., 1991, Taylor et al., 1993, Harig et al., 1994, Thibodeaux et al., 1998). Les activités économiques et les lobbies de l'ensemble de la filière cotonnière des pays producteurs les plus puissants affectent très clairement le déroulement de la normalisation des mesures, et donc des recherches qui ont été entreprises sur le sujet. Ainsi, un modèle particulier d'appareil de mesure (*Motion Control Inc. 3500*) a été initialement utilisé pour cette recherche, jusqu'à ce que son fabricant soit absorbé par son concurrent principal, Zellweger Uster. Alors, un modèle 910 a remplacé le modèle MCI 3500, et différents équipements ont été placés/utilisés dans plusieurs laboratoires.

Cependant, peu de vérifications de l'absence d'interaction entre les différentes mesures des propriétés des fibres et celles de la ténacité et de sa mesure ont été publiées.

Pour parvenir à vérifier cette absence d'interaction, nous allons tout d'abord examiner le fonctionnement et les biais de mesure de tous les appareils de mesure utilisés et présentés au chapitre D. En effet, en plus de montrer l'effet de telle ou telle propriété de fibres sur la qualité de mesure du HVI, il est également nécessaire de comprendre l'origine de cet effet afin de prévoir des solutions correctives. Il est également nécessaire de vérifier si l'effet constaté n'est pas tout simplement causé par un problème d'échantillonnage ou de mesure de la propriété causant le biais. Le chapitre D rappelle au lecteur l'essentiel de la bibliographie, mais aussi en indiquant quelques biais potentiels qui peuvent également se produire dans une mesure instrumentale automatisée comme le HVI.

Au chapitre suivant, des modifications volontaires de quelques propriétés des fibres provoquées sur quelques cotons sont utilisées pour quantifier leurs effets dans la mesure de ténacité par HVI. Les appareils décrits dans le chapitre D et exploités dans ces expérimentations particulières permettront de vérifier les hypothèses émises (Figure C-3).

Les propriétés qui ont été modifiées sont la couleur, les qualités de surface extérieure, le micronaire, les distributions de maturité, de finesse et de longueurs des fibres.

Pour compléter l'analyse des effets constatés de certaines propriétés de fibres sur la mesure de la ténacité par HVI, des cotons dont les caractéristiques couvrent des gammes élargies sont ensuite utilisés pour tenter de vérifier les effets constatés précédemment.

En fin de lecture, nous devrions avoir compris les raisons des différences de lecture et de niveaux déjà observés entre les différents appareils de mesure. Nous devrions apporter également les éléments nécessaires pour décider de l'utilisation d'un module HVI pour la création d'une méthode de référence de mesure de la ténacité des fibres de cotons standards d'étalonnage. Dans le cas où les biais constatés seraient trop importants pour accepter cette méthode comme référence, une liste définissant des pré-requis indispensables à la création d'une méthode de référence devrait être dégagée.

En outre, on devrait pouvoir dégager quelques pistes de recherche qui déboucheront sur la création d'une nouvelle génération de HVI.



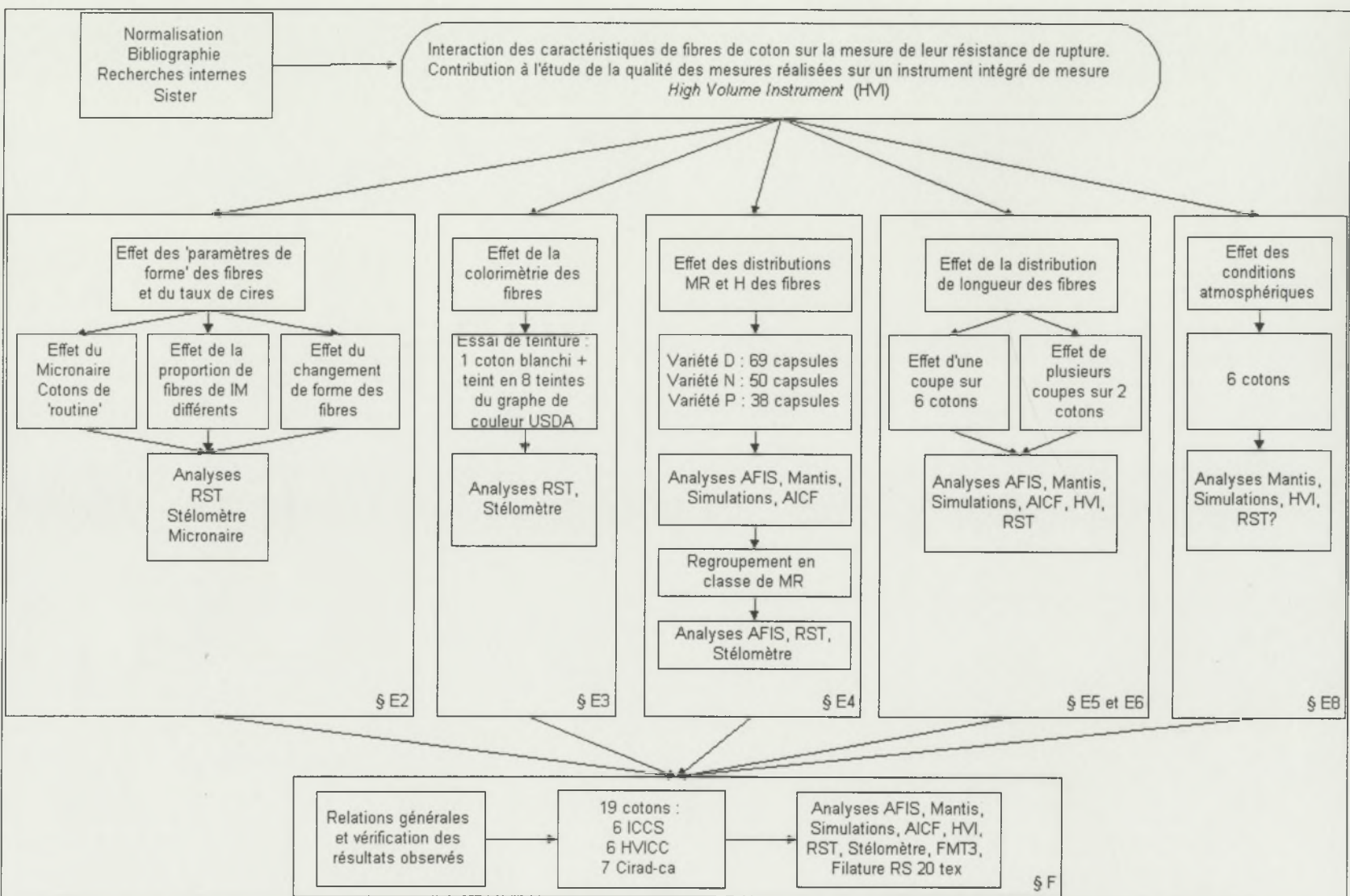


Figure C-3 : Organisation générale des recherches conduites dans ce travail de thèse.

## ***CHAPITRE D***

### ***ANALYSE CRITIQUE DES METHODES DE MESURE UTILISEES DANS LA THESE***



## Chapitre D : Analyse critique des méthodes de mesure utilisées dans la thèse

Un appareil HVI, appareil principalement étudié dans ce travail, regroupe un certain nombre d'appareils de mesures en un seul afin de mesurer en un temps très court toutes les caractéristiques jugées utiles afin de valoriser au mieux la production de fibre et gérer au mieux les conditions de production en filature. En effet, pour répondre aux objectifs de recherche énoncés précédemment, il est nécessaire de décrire les principes et modes d'utilisation de ces appareillages et identifier les biais possibles de mesure. A partir de cette analyse, nous pourrions alors déduire les vérifications prioritaires à conduire pour définir le domaine d'utilisation des équipements HVI en recherche et dans le cadre de leur utilisation en classification commerciale. Nous nous concentrerons donc dans ce chapitre sur une explication détaillée de son fonctionnement, et tout particulièrement sur la méthode de mesure de la résistance de rupture des fibres de coton.

Pour atteindre notre objectif, il a été nécessaire d'utiliser d'autres appareils de mesure pour vérifier les hypothèses émises et les conditions de tests qui permettent de démontrer leur validité. Les principes de fonctionnement des appareils sont décrits pour comprendre leur apport dans le cadre de ce travail. Les matériels utilisés sont ceux qui étaient accessibles dans le(s) laboratoire(s) où les recherches ont été conduites. Il s'agit des appareils Stéломètre, AFIS, Mantis, et HVI. Pour les besoins de cette recherche, d'autres appareils de mesure ou méthodes d'interprétation des résultats ont été utilisés et sont décrits ici ; il s'agit des simulations de casse en faisceau à partir des données fibre par fibre Mantis, de l'appareil RST (Reference Strength Tester) et de la micro-filature.

Dans la suite du document, seuls les noms d'appareils seront précisés ainsi que les modes spécifiques de réglages lors de leur utilisation le cas échéant.

### D.1. Appareil Stéломètre

Créé par Hertel (Hertel, 1953), le Stéломètre pallie certains inconvénients des appareils existants à cette période, plus particulièrement du Pressley.

Son apport pour les programmes d'amélioration variétale a été étudié par Roch (Roch, 1976). Roch montre en particulier que la sélection de variétés sur la base de résultats obtenus avec les appareils Pressley 0 a conduit à sélectionner des variétés dont les fibres sont jugées de faible allongement par le Stéломètre.

#### D.1.1. Préparation des échantillons

Une norme ASTM (ASTM, 1996a) précise les conditions de préparation et de test des échantillons à tester.

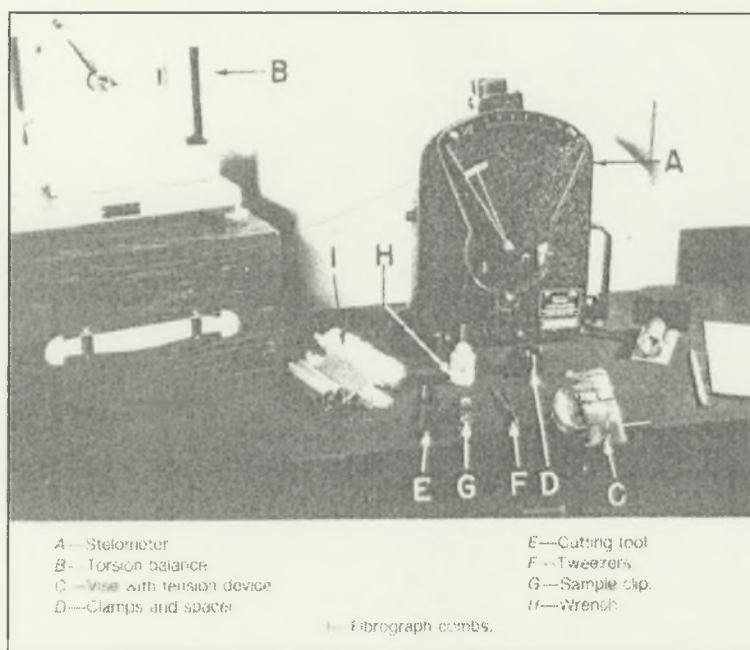
Pour cette caractérisation, les fibres doivent être nettoyées de toute impureté et très bien mélangées afin d'obtenir de petits spécimens représentatifs. Pour ce faire, il est coutumier d'utiliser des méthodes de mélange mécaniques tels que l'appareil Shirley qui permet de quantifier les différentes impuretés dans la fibre par retrait de celles-ci de la masse fibreuse.

Des prélèvements sont ensuite réalisés par petites pincées. Les fibres sont alors parallélisées à la main selon la méthode du *pulling*, puis sont disposées sur des peignes de Fibrographe manuel pour une parallélisation plus poussée et pour retirer les fibres les plus courtes. Grâce à

une pince de prélèvement spéciale (dénommée G dans la Figure D-1), des fibres sont prélevées et peignées avant d'être disposées, sous une pré-tension définie, dans des pinces de traction, elles-mêmes disposées dans un étau dynamométrique.

Ces pinces de traction, dites de Pressley, ont des dimensions définies et sont séparées par une cale de 3.175 mm ou 1/8° de pouce, distance initiale du test de dynamométrie.

Le serrage des fibres dans les pinces est contrôlé par l'étau dynamométrique (Figure D-1, repère C).



**Figure D-1 : Photographie du Stéломètre et de tous ses accessoires (photographie extraite de la norme ASTM).**

Cette méthode particulière de préparation des fibres évite une grande partie des biais relevés dans la méthode de mesure au Pressley. Ainsi, il n'y a pratiquement aucune manipulation de la mèche de fibre par l'opérateur autrement que par des pinces, et les différents spécimens sont théoriquement pré-tendus avec la même intensité, et la pression que subissent les fibres dans les pinces de traction est homogène entre spécimens (Hertel, 1953, Roch, 1976).

Une grande attention doit être portée sur le fait que seules les fibres parallèles et plus longues que la largeur hors tout des pinces de traction (15 mm) subissent le test.

Dans le cadre de cette thèse, la préparation des spécimens est réalisée suivant un protocole qui améliore la qualité des faisceaux de fibres testés et en conséquence la précision des analyses. Ainsi, les fibres sont disposées à la main après leur parallélisation selon la méthode *pulling* sur un champ de peignes de type *Sutter Web Array* ou Baer. Une première pince permet de prélever un spécimen qui est peigné et disposé de telle sorte que les fibres puissent être reprises par leur autre extrémité. Les fibres sont alors reprises par la même pince pour un nouveau peignage, avant d'être reprises par la pince de prélèvement spéciale (pince G) de mise en place des fibres dans les pinces de traction sur l'étau dynamométrique. Dès cet instant, l'analyse décrite précédemment est réalisée.



### **D.1.2. Description de l'appareil**

Le Stéломètre est un dynamomètre à application de charge augmentée uniformément (1 daN/s ; CRL).

Au moment de la casse, un dispositif particulier permet le débrayage du système d'enregistrement constitué de deux aiguilles placées en regard de deux échelles : celle de la force nécessaire pour rompre le faisceau de fibres et celle de l'allongement subi par les fibres.

### **D.1.3. Réalisation des tests**

Après la casse, les fibres qui dépassent de part et d'autre des pinces sont coupées grâce à un couteau spécial. Puis les pinces sont replacées dans l'étau dynamométrique pour y être ouvertes. Les fibres sont alors récupérées grâce à une pince brucelles et sont pesées sur une balance de précision.

### **D.1.4. Données recueillies et utilisées**

La force et l'allongement de rupture sont enregistrés ainsi que la masse de fibres effectivement rompues.

Le résultat de ténacité devrait être indépendant de la masse de fibres testées. Pour cela, la ténacité T1 (terme normalisé) est déduite du rapport de la force de rupture (en daN) sur la masse des fibres rompues (en mg) affectée d'un coefficient multiplicatif de 15 qui permet de retrouver l'unité normalisée (cN/tex, Équation D-1).

$$T1 = \frac{\text{force}}{\text{masse}} * 15$$

Équation D-1

Cette valeur doit être corrigée par un coefficient de correction (paragraphe B.2), généralement multiplicatif, calculé à partir de résultats obtenus sur des standards ICCS testés dans la même série que les échantillons (Anonyme, 1986).

La valeur enregistrée d'allongement E1 (en %, terme normalisé) est une valeur relative à la distance initiale du test (Équation D-2).

$$E1 = \frac{\text{écartement après rupture} - 3.175}{3.175} * 100$$

Équation D-2

Comme pour la ténacité T1, les résultats doivent être corrigés par un facteur de correction (paragraphe B.2) calculé à partir des résultats obtenus sur des standards ICCS analysés dans la même série d'échantillons.

### **D.1.5. Discussion des biais d'échantillonnage**

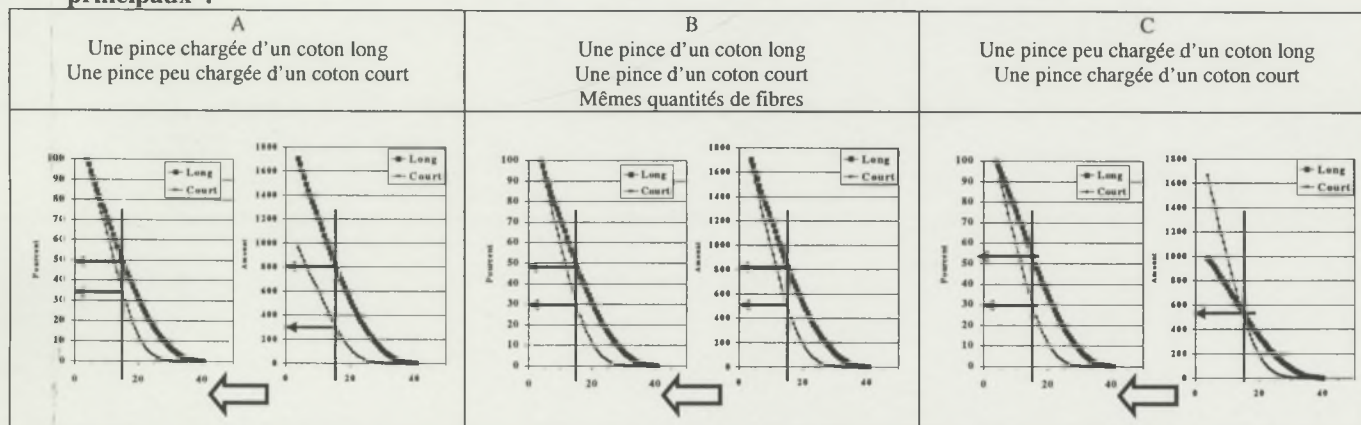
La préparation des fibres grâce à des peignes peut avoir un effet sur le type de fibres sélectionnées car il est probable que les fibres les plus fragiles soient cassées pendant cette opération. Ainsi, trop courtes pour être sélectionnées, elles échappent au test contrairement aux fibres les moins fragiles.

La longueur des fibres qui participent au test doit être supérieure à 15 mm, qui est la largeur des pinces de traction. Il est même requis que les fibres soient encore plus longues pour

permettre leur préhension. Ainsi, le test de dynamométrie ne se réalise que sur des fibres plus longues que 15 mm et les fibres plus courtes sont écartées (Gourlot, 1991).

Selon que le coton est long ou court et que la pince est chargée ou non, la proportion de fibres testées n'est pas identique, et la représentativité de la valeur de ténacité n'a alors pas la même signification (Tableau D-1). Pour représenter les diverses possibilités, j'ai utilisé les fibrogrammes bruts et normalisés par rapport à la première lecture pour tous les appareils cités. Dans chaque case de ce cas de figure, une longueur de fibres est sélectionnée (15 mm sur les deux graphes). On en déduit des pourcentages de fibres (à gauche) et des quantités de fibres (à droite) qui participent au test de dynamométrie (cas du Stéломètre).

**Tableau D-1 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au Stéломètre ; illustrations des cas principaux<sup>6</sup>.**



Pour résumer, on peut dire que la ténacité mesurée au Stéломètre est une caractérisation des fibres les plus longues des échantillons, et que les tests ne concernent pas toujours la même proportion des fibres par classe de longueur que dans l'échantillon de départ.

## D.2. Appareil AFIS

L'appareil AFIS (*Advanced Fiber Information System*)<sup>7</sup> Uster permet l'analyse de plusieurs critères technologiques des fibres à partir de spécimens de 0.5 grammes environ.

La machine a été développée graduellement par le constructeur pour parvenir à une utilisation modulaire ou intégrée comme le suggère le terme « AFIS Multidata » (Yankey et al., 1993, Calhoun et al., 1997, Hequet, 1999). Le premier module (AFIS-N) est apparu à la fin des années 1980 pour détecter, dénombrer et mesurer la taille des neps dans la fibre de coton, sans toutefois effectuer de séparation entre les différents types de neps qui sont les nœuds de fibres et les fragments de coque (Baldwin et al., 1995, Frydrych et al., 1989, Krifa, 2001, Sasser et al., 1987). Ensuite, les modules AFIS-T, pour la mesure des débris végétaux divers, et AFIS-L&D, pour la mesure de la longueur et du diamètre des fibres, ont été installés (Gorashi et al., 1994). Le module AFIS-F&M, pour la mesure de la maturité et la finesse des fibres, a été le dernier à être intégré dans l'appareil.

Dans le cadre de cette thèse, bien que toutes les caractérisations aient été réalisées, seules les informations de longueur de fibres, de maturité et de finesse ont été utilisées.

<sup>6</sup> Les données des fibrogrammes présentés ici sont issues de tests RST (décrit au paragraphe D.6).

<sup>7</sup> Développé dans les années 80 par Schaffner Technologies et repris par Zellweger Uster en 1990. Son utilisation s'est répandue rapidement dans l'industrie cotonnière. Hunter (Hunter, 1998; Hunter, 2000) indique que le nombre de machines installées est de l'ordre de 800 en 2000.



### D.2.1: Préparation des échantillons

Des spécimens sont prélevés dans les différentes masses disponibles de fibres et doivent être conditionnées dans les conditions normales de laboratoire. Les échantillons sont ensuite préparés manuellement de manière à obtenir des rubans de fibres parallèles qui sont alimentés dans l'appareil AFIS. Dans le cadre de la mesure des différentes caractéristiques retenues, des répétitions de mesure de 3000 fibres issues des spécimens de 0.5 grammes sont caractérisées.

### D.2.2. Description de l'appareil

Un système d'alimentation conduit le ruban de fibres vers un système d'ouvraison et de nettoyage par deux cylindres (Figure D-2), un à dents et l'autre à picots. Les fibres se séparent du dernier cylindre ouvreur par l'effet d'un courant d'air qui accélère les fibres et les oriente vers le capteur de mesure. Arrivée dans le capteur, la fibre se déplace dans un flux d'air de vitesse connue et constante. Le capteur électro-optique est constitué d'une source lumineuse cohérente qui illumine un capteur optique (Figure D-3). Lors du passage de la fibre dans ce dispositif, le temps écoulé, entre l'apparition et la sortie de la fibre du champ du capteur, est enregistré afin d'en déduire la longueur de la fibre.

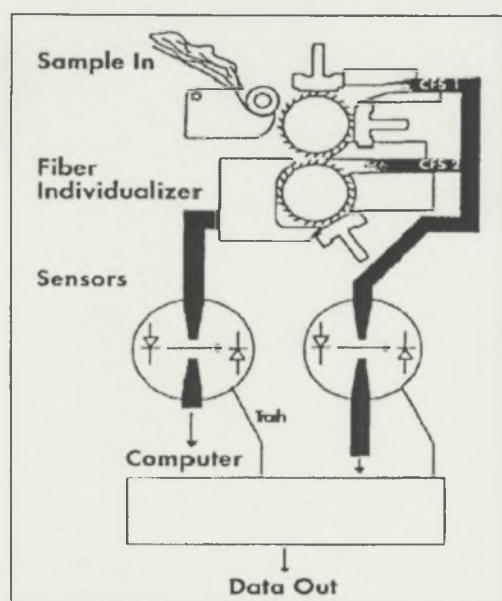


Figure D-2 : Schéma de fonctionnement de l'appareil AFIS (Shofner et al., 1992).

Pour la mesure de la maturité, un deuxième capteur placé à  $40^\circ$  du premier analyse la lumière diffractée par les fibres (Figure D-3). Le signal de diffraction a été mis en relation avec le diamètre apparent des fibres (Bragg et al., 1993a, Hinojosa et al., 1991, Chu et al., 1992, Bragg et al., 1993b) et semble satisfaisant. Hequet, dans une étude de mise en relation entre les critères technologiques des fibres et la qualité des fils, note que la finesse mesurée par AFIS correspondrait plus à une notion de finesse standard (Hequet, 1999) et qu'il semble surprenant que ce paramètre soit aussi bien corrélé avec les propriétés des filés.

### D.2.3. Réalisation des tests

Les spécimens sont introduits dans l'appareil, où les fibres sont individualisées et caractérisées.

A partir d'un grand nombre d'échantillons à vocation de représentation cartographique de la qualité des fibres sur les plants de cotonnier, Chanselme a calculé les précisions attendues en fonction du nombre de répétitions et du nombre de fibres testées (Chanselme et al., 1997).

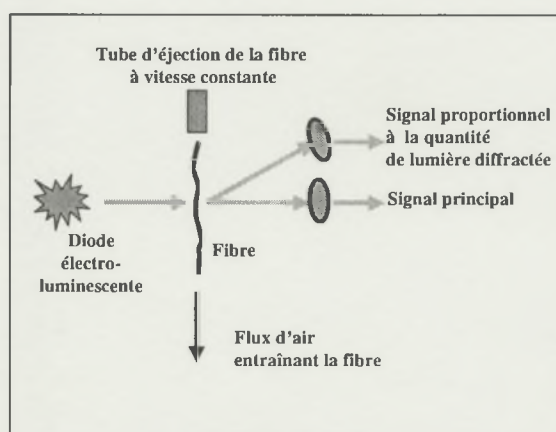


Figure D-3 : Schéma du principe opto-électronique de mesure de la longueur et du diamètre des fibres.

D'après ses résultats, les précisions atteintes sont tout à fait satisfaisantes avec 3000 fibres analysées par spécimen.

#### **D.2.4. Données recueillies et utilisées**

Dans ce travail, nous avons surtout utilisé les données relatives à la caractérisation des longueurs de fibre. Plusieurs paramètres permettent de la refléter :

- $L_w$ ,  $L_n$  : longueur moyenne des fibres respectivement en poids et en nombre. Cette mesure est étalonnée sur la mesure des longueurs réalisée en utilisant un champ de peignes parallèles de la manière suivante : des classes de longueur sont isolées par l'abaissement successif des peignes où sont disposées les fibres. Chaque classe de longueur est pesée, respectivement comptée, et les pourcentages en poids, respectivement en nombre de chaque classe de longueur relatifs à la masse totale, respectivement en nombre du spécimen sont reportés sur un graphe pour en déduire la longueur moyenne.  $L_w$  et  $L_n$  sont exprimées en millimètre.
- $L_wCV$ ,  $L_nCV$  : coefficient de variation de  $L_w$  ou  $L_n$  exprimé en pour cent.
- $UQL_w$  : *Upper Quartile Length*, longueur moyenne en poids du quart des fibres les plus longues. Cette information est tirée du graphe des longueurs en poids.
- $MR$  : *Maturity Ratio*.
- $H$  : finesse linéique en mtex.

#### **D.2.5. Discussion des biais d'échantillonnage**

Comme premier biais d'échantillonnage, on peut retenir que seules les informations concernant les fibres individuelles bien alignées et bien disposées dans le capteur sont retenues pour bâtir des histogrammes de fréquence et en déduire les données caractéristiques des échantillons testés. Ainsi, une grande majorité des fibres des spécimens de 0.5 grammes n'est pas prise en compte (Calamari et al., 1998).

Ensuite, l'individualisation des fibres par les cylindres à dents et à picots peut affecter leur longueur au même titre que tout système d'ouvrison et mélange (Calamari et al., 1998).

Dans une récente communication, Simonton *et al* ont montré que la longueur des fibres les plus longues serait surestimée en liaison avec un artefact de mesure lié au frottement des fibres dans le capteur et dans le courant d'air (Simonton et al., 2000) qui se manifesterait davantage quand les fibres ont été préalablement étirées mécaniquement.

### **D.3. Appareil Mantis**

Deux générations d'appareils Mantis de Zellweger Uster ont été développés : une utilisant le principe d'une casse en boucle et l'autre en utilisant des pinces de traction. Le premier modèle n'est plus commercialisé. Plusieurs auteurs ont déjà utilisé le deuxième modèle pour tenter de standardiser son utilisation (Hebert et al., 1995, Sasser et al., 1991, Suh et al., 1993, Shofner, 1994).

Pour mon travail, des analyses de dynamométrie ont été réalisées fibre à fibre sur un appareil Mantis à pinces de traction dont la description est donnée ci-dessous.



### D.3.1. Préparation des échantillons

Après un échantillonnage soigné dans les masses de fibres de départ préalablement conditionnées dans une atmosphère de laboratoire pendant au moins 24 heures, un échantillon d'environ 0.5 à 1 gramme de fibre est collecté. A partir de cet échantillon, quelques pincées de fibres sont prélevées, puis parallélisées à la main selon la méthode du 'pulling'. Ensuite, la pincée de fibres est disposée sur un peigne de Fibrographe (Figure D-4 (a, b)), pour opérer un peignage avec un deuxième peigne (Figure D-4 (c)). Puis, des pincées de fibres peignées sont transférées (Figure D-4 (d)) et disposées sur un velours (Figure D-4 (e)) grâce à une pince large de prélèvement. Cinq ou six de ces prélèvements sont suffisants pour y prélever suffisamment de fibres par jeu d'essai (Figure D-4 (f)). La plaque de velours avec ses fibres est alors référencée et stockée pendant au moins une heure avant la phase de test dans une ambiance normalisée de laboratoire.

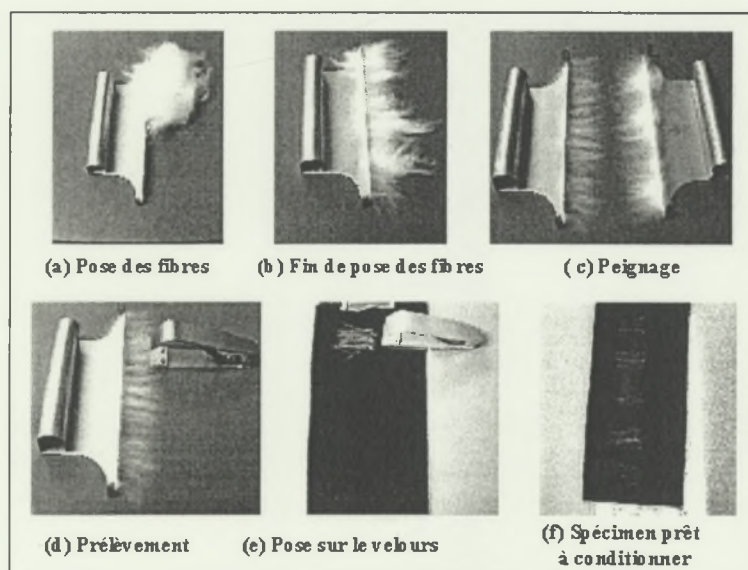


Figure D-4 : Illustration de la préparation des échantillons de fibre pour une caractérisation sur appareil Mantis.

### D.3.2. Description du Mantis

Il s'agit d'un appareil de mesure de dynamométrie capable de caractériser des fibres individuelles. Originellement créé pour tester les fibres de carbone, cet outil est utilisable pour les fibres de toutes natures, en particulier pour le coton.

Une première version de cet appareil utilisait le principe de traction en crochet mais il n'est plus commercialisé. Le modèle utilisé applique la contrainte de traction grâce à deux pinces de traction.

L'écartement initial des pinces est réglable entre 0 et 54 mm grâce au logiciel de pilotage qui asservit des moteurs pas à pas. Dans le cadre de cette thèse, sauf mention contraire, le choix de l'écartement initial des pinces s'est porté sur la valeur traditionnelle de test des fibres de coton : 3.175 mm ou 1/8° de pouce.

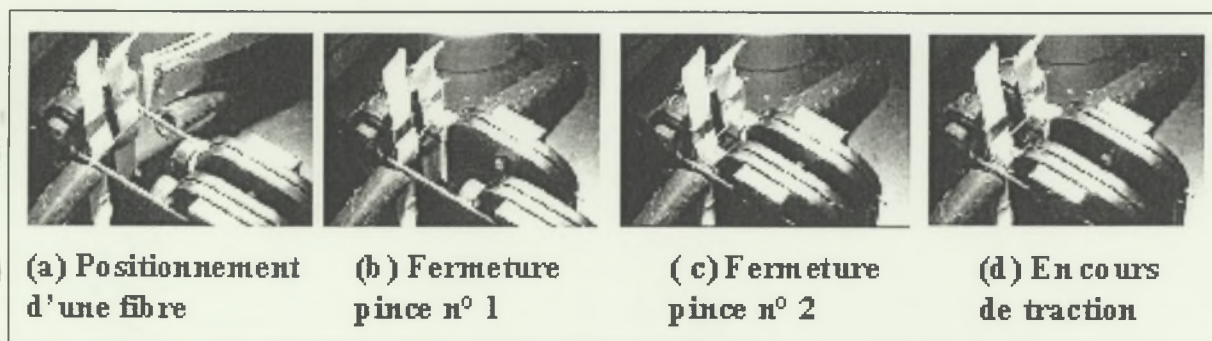
La vitesse d'application de la contrainte de traction (il s'agit d'un appareil à application de contrainte de type CRE) est réglable également et a été choisie à 1 mm/s (voir les raisons de ce choix au paragraphe D.5). Ces conditions de test ne sont pas courantes dans la bibliographie car chaque auteur semblait poursuivre des objectifs spécifiques. Quelques tests ont également été réalisés à la vitesse d'application de contrainte du HVI, à savoir à environ 13.3 cm / mn soit 2.22 mm / s.

L'étalonnage de l'appareil est fait par le constructeur et la vérification de la stabilité de réponse de la jauge de contrainte est réalisée grâce à l'analyse d'une série de trois masses montées sur un dispositif spécial. Pendant les tests, aucune modification notable des résultats n'a été déplorée.

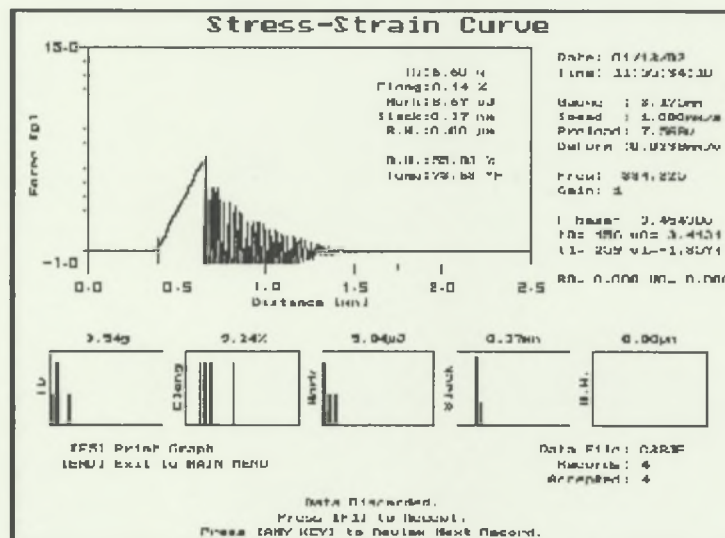
### D.3.3. Réalisation des tests

Des fibres individuelles sont prélevées une par une grâce à une pince fine et sont disposées dans le système d'application de contrainte du Mantis.

Afin de placer les fibres en bonne position dans les pinces de traction, un système à dépression permet l'aspiration d'une extrémité de la fibre pendant que la pince opposée se ferme (Figure D-5 (a, b)). Notons que tous les tests ont été réalisés avec un niveau d'aspiration constant (aucune modification des réglages). Ensuite la deuxième pince se ferme (Figure D-5 (c)), les pinces se rapprochent légèrement (ce qui permet de mesurer une flexion pour les fibres de carbone), puis l'application de la contrainte de traction débute (Figure D-5 (d)). A chaque incrément d'écartement de la pince de traction, une jauge de contrainte enregistre la force de réaction de la fibre, et on obtient ainsi un graphe contrainte en fonction d'un déplacement (Figure D-6).



**Figure D-5 : Réalisation d'un test Mantis sur une fibre.**



**Figure D-6 : Ecran de l'appareil avec représentation du graphe force / distance ; on remarquera notamment l'allure du signal.**



### **D:3.4. Données recueillies et utilisées**

Comme illustré dans la Figure D-6, le spectre complet est présent dans la série des données récupérables sous format d'un fichier de données. Les informations utilisées dans ce document concernent :

- $T_b$  : la force maximale de rupture de la fibre, exprimé en gramme (sous-entendu gramme-force ou cN). En fait, l'appareil Mantis, en résumant l'information du graphe sous la forme du critère  $T_b$  considère que l'axe de la force débute à 0. Or, comme une certaine zone d'instabilité du capteur d'une amplitude de 0.2 cN est notée au début du test, la force  $T_b$  retenue dans ce document concerne la force maximum relevée diminuée du bruit considéré comme fixe d'une valeur de 0.2 cN.
- $Dep$  : l'allongement de la fibre en nombre de pas moteur de 0.00248 mm.
- La zone de données correspondant à l'ensemble des relevés compris dans l'intervalle  $0.2 < T_{b_i} < T_b$ ,  $i$  étant le pas correspondant à l'enregistrement de force.

Note : après la casse de la fibre, l'enregistrement montre une réaction d'amortissement du capteur dont il n'est pas tenu compte dans cette thèse. Il faut cependant noter qu'il est probable que de tels comportements se produisent également dans les casses de faisceaux de fibres parallèles, même s'ils ne sont pas perceptibles dans les signaux enregistrés. On peut se demander s'ils ont des conséquences sur la dynamique des tests et sur les résultats correspondants.

- Les données de température et d'humidité relative enregistrées à proximité de la zone de test.

Il est utile de définir ici quelques autres termes techniques relevés lors de l'analyse Mantis. Quand il s'agit d'estimer la part d'allongement de la fibre lors d'un test de dynamométrie à compter de son positionnement avec ou sans pré-tension, certains paramètres physiques sont importants à considérer. Ainsi, différents termes techniques (quelquefois valides en une ou plusieurs langues sans correspondance rigoureuse) apparaissent selon la technologie employée :

- Sur Mantis, le terme '*slack*' est retenu. Selon la définition des normes ASTM, le slack se manifeste par une courbature de l'éprouvette sous l'effet de sa masse et de l'accélération de la pesanteur lorsque les pinces de traction se rapprochent.
- Le terme '*crimp*' correspond à la frisure des fibres. Après une opération de pré-tension, la fibre tend donc à retrouver sa géométrie originale dans l'espace lorsque les pinces de traction se rapprochent.
- Le terme '*convolution*' correspond au vrillage des fibres. Il s'agit en quelque sorte de l'hélice que forme la fibre autour de son axe principal.
- Le terme '*reversal*' correspond au changement de sens du vrillage au long de la fibre. Un '*reversal*' se produit à l'endroit du changement de sens de torsion S vers Z ou inversement.

Chacune de ces manifestations a des effets indirects sur les caractéristiques mesurées selon les conditions dans lesquelles ces mesures sont effectuées.

Sur Mantis, la mesure du *slack* peut recouvrir l'ensemble des 4 phénomènes cités ci-dessus.

Les données illustrées dans la Figure D-6 sont disponibles dans des fichiers qui peuvent être récupérés pour traitements ultérieurs.

Afin d'accéder en ligne à toutes les données disponibles, j'ai créé un système évolutif de base de données de manière à intégrer automatiquement tout nouveau jeu de données (Figure D-7, Gourlot et al., 1998c, Guérinot, 2000).

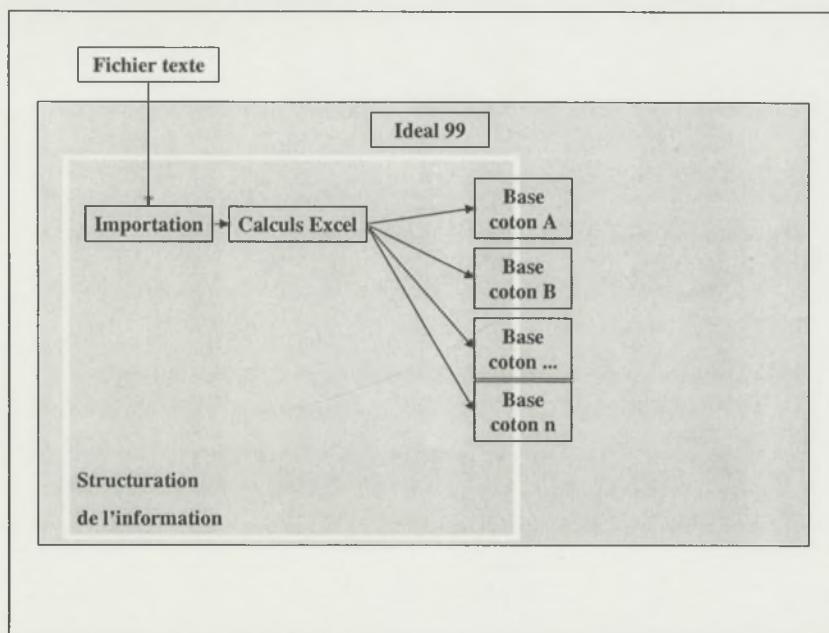


Figure D-7 : Schéma de l'application Ideal99 permettant l'accès en ligne des données Mantis.

Un module d'importation est intégré dans ce système informatique. Il permet de stocker toutes les informations concernant les conditions de test, au même titre que toutes les données individuelles obtenues sur fibres individuelles pour chaque coton. En complément, un lien avec des feuilles de calcul d'Excel permet de calculer différents indicateurs comme la pente moyenne de la phase montante des courbes force / allongement, la force maximale enregistrée et la valeur d'allongement correspondante. Par ailleurs, selon une pratique courante de l'équipe M. Bragg à Clemson (USA), une équation polynomiale du cinquième degré (Équation D-3) est calculée pour chaque fibre afin d'éliminer le bruit des données expérimentales.

$$F(\text{pas}) = u. \text{pas}^5 + v. \text{pas}^4 + w. \text{pas}^3 + x. \text{pas}^2 + y. \text{pas} + z$$

Équation D-3

Avec :

- $F(\text{pas})$  : la force estimée à chaque pas d'écartement des pinces du Mantis.
- $\text{pas}$  : pas de d'allongement Mantis pour lequel on calcul la force correspondante.
- Les coefficients  $u, v, w, x, y$  et  $z$  sont relatifs aux différents coefficients du polynôme du cinquième degré pour chaque fibre.

### D.3.5. Discussion sur les biais possibles

Le premier échantillonnage dans la masse de l'échantillon semble non biaisé car le prélèvement se fait par pincées sans privilégier le choix d'une catégorie particulière de fibres. En revanche, dès que le prélèvement se fait à l'aide de la pince (Figure D-4 (e)), ou au niveau du prélèvement de la fibre individuelle à tester, une sélection des fibres les plus longues se produit

- afin de permettre l'analyse sur Mantis,



- et d'une manière inconsciente.

Dans le premier cas, il s'agit de s'assurer que les fibres peuvent effectivement être testées et donc que leur longueur permette à la fois leur manutention et le test. Ainsi, il peut être considéré qu'une fibre de longueur inférieure à 19-20 mm ne peut pas être utilisée, car elle ne couvre pas la distance entre la buse d'aspiration d'un côté et l'extrémité de la pince n°2 de l'autre en y ajoutant une longueur de fibre qui puisse permettre sa manutention (Figure D-5 (a)).

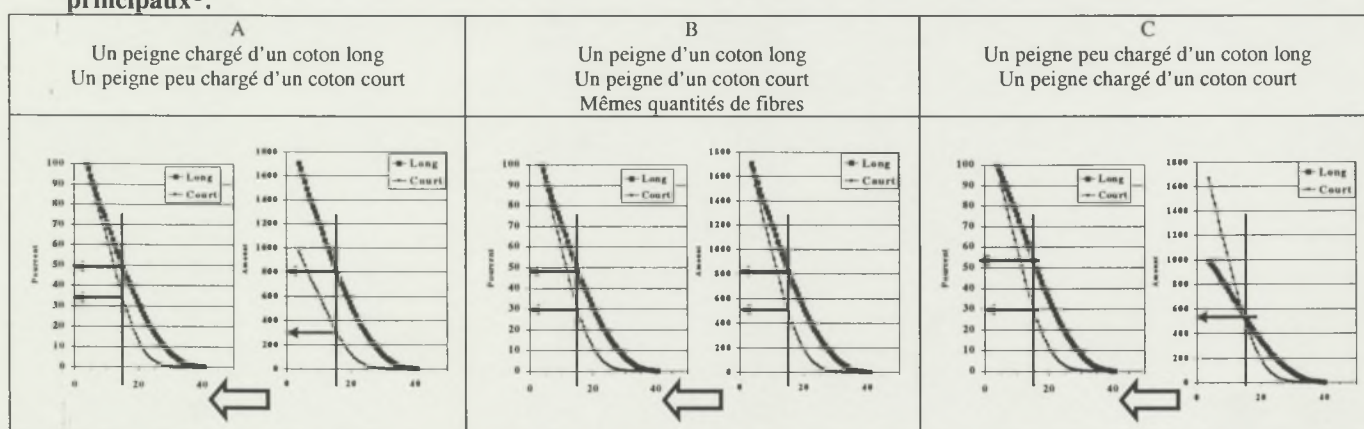
Dans le deuxième cas, prélever une fibre dans un ensemble disposé sur le velours introduit un biais quasi-systématique au profit des fibres les plus longues.

Il sera donc probablement nécessaire de prendre en compte ces deux biais d'échantillonnage lors de l'interprétation des résultats.

En complément, le mode de sélection des fibres au sein de l'échantillon s'apparente à celui utilisé au Stéломètre où la représentation de l'échantillon par les fibres sélectionnées est dépendant de la longueur des fibres (Tableau D-2). On notera en particulier que les fibres courtes ont peu de chances d'être représentées dans les tests réalisés sur Mantis ; il est ainsi probable que les distributions de force de rupture et d'allongement de rupture ne soient pas complètes.

Afin de vérifier si les fibres les plus longues peuvent supporter des forces de rupture supérieures ou des allongements supérieurs à ce qui est observé sur des fibres plus courtes, les longueurs de 2279 fibres en provenance de 17 variétés différentes ont été 'mesurées' avec un réglet sous légère pré-tension (celle de la résistance au glissement sur le support en velours). Cette mesure de longueur est très imprécise, mais la définition minimale a été choisie large (le dixième de pouce soit 2.54 mm) pour la classification des résultats. Les forces ou les allongements de rupture ne semblent pas être en relation avec la longueur des fibres (illustration avec deux exemples, Figure D-8 et Figure D-9).

**Tableau D-2 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au Mantis ; illustrations des cas principaux<sup>8</sup>.**



<sup>8</sup> Les données des fibrogrammes présentés ici sont issues de tests RST (décrit au paragraphe D.6).

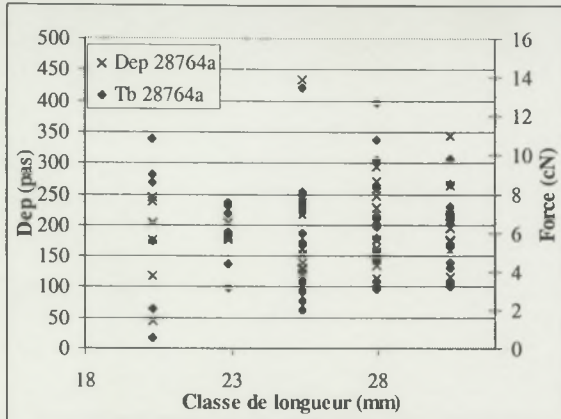


Figure D-8 : Répartition des enregistrements de Tb et Dep par classe de longueur de fibre sur Mantis, variété 1243.

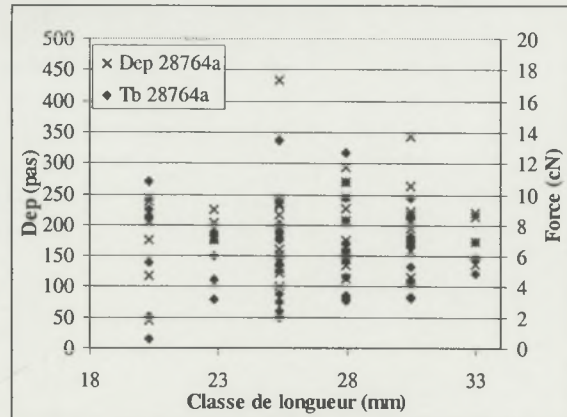


Figure D-9 : Répartition des enregistrements de Tb et Dep par classe de longueur de fibre sur Mantis, variété 28764.

La conception mécanique du Mantis, où la charge est appliquée sans bras de levier, permet de penser qu'il n'y a pas de déformation mécanique lors de l'application de la contrainte aux fibres individuelles. Cette assertion est confortée par le fait que les contraintes appliquées sont faibles. Cependant, pour permettre l'utilisation d'un capteur de grande sensibilité de mesure, une certaine élasticité de celui-ci est nécessaire.

### D.3.6. Discussion sur quelques premiers résultats Mantis

Différents jeux de résultats ont pu être obtenus et analysés lors de ce travail de thèse.

Le premier jeu de données a été réalisé sur financement USDA à l'attention de *Cotton Incorporated* aux USA pour la réalisation d'analyses sur environ 1500 fibres des échantillons issues de 6 balles de coton standards HVICC différents (27742, 27992, 28020, 28463, 28671, 28764, ce dernier coton est un standard ICCS correspondant à E5). Nous ne connaissons pas grand chose sur les conditions de réalisation de ces mesures : le laboratoire de *Cotton Incorporated* fait référence aux USA, aussi pouvons-nous être sûrs que les conditions hygrométriques ont été soigneusement respectées. Cependant, il n'est pas possible de remonter au mode d'échantillonnage des fibres au sein des populations de départ.

Le logiciel spécial que nous avons développé pour stocker et traiter toutes les données individuelles relevées permet leur visualisation sous forme graphique. Au vu des données des 1500 fibres disponibles par coton au départ, un certain nombre d'entre elles n'ont pas été retenues car elles montraient des courbes force/allongement d'allure particulière (Figure D-10) en comparaison à celles considérées comme normales (Figure D-11).

Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'un comportement rhéologique spécifique a pu avoir lieu dans certaines zones de test des fibres. Bien que cela soit peu probable, on ne peut pas écarter un possible glissement des fibres dans les pinces de traction.

En première analyse, toutes les fibres montrant cet aspect de relation force allongement ont été éliminées de l'analyse. Afin de s'assurer qu'aucune fibre devant être éliminée ne pourrait figurer dans les simulations, une comparaison du carré de coefficient de corrélation linéaire et du coefficient de détermination obtenu avec la prévision polynomiale de degré 5 a été effectuée. En conséquence, aucune fibre ne semble avoir été sélectionnée pour les analyses alors qu'elle montrait des caractéristiques non attendues. La même démarche a été utilisée pour tous les jeux de fibres testées sur Mantis mentionnés dans ce document.



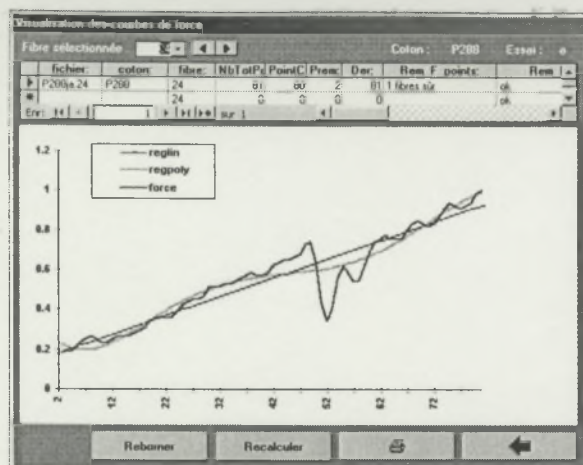


Figure D-10 : Visualisation d'une courbe de force en fonction de l'allongement sur Mantis dont l'allure est discutable.

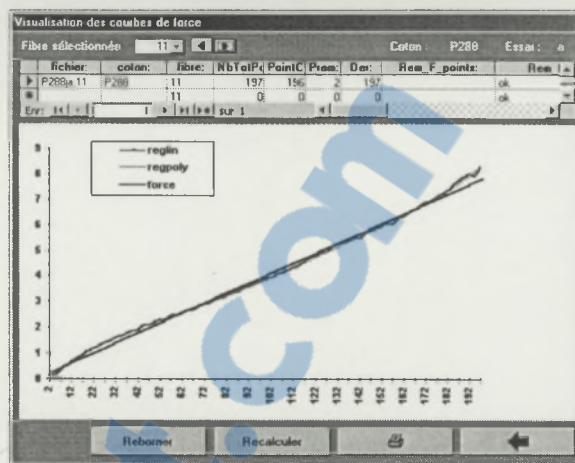


Figure D-11 : Visualisation d'une courbe de la force en fonction de l'allongement sur Mantis dont l'allure est normale.

Un deuxième jeu concerne des analyses réalisées en 1997 sur des cotons ICCS (B26, C36, D5, E4, G17, I26) et des cotons utilisés par un test inter-laboratoires que j'ai organisé pour les besoins du Laboratoire de Technologie Cotonnière (Gurlot, 1994, Gawrysiak et al., 1999). Il concerne des variétés en provenance de nos stations de recherche en amélioration variétale (1243, BLT, Gua2, P288 et Stam). Du fait de leur utilisation pour détecter d'éventuelles erreurs de manipulation ou de dérèglement des instruments de mesure au fil du temps, ces cotons ont été soigneusement mélangés selon le protocole mis en place pour en établir les valeurs de référence (Gurlot, 1997b). Une expérimentation en blocs faisant appel à la détermination leurs caractéristiques par plusieurs techniciens et sur plusieurs jours a montré qu'il n'y avait pas de différences entre échantillons prélevés dans les populations de départ. Certains cotons ont été utilisés par Kaewprasit pour son travail de thèse (Kaewprasit, 1997).

La masse de départ de ces cotons varie entre 300 grammes (ICCS) et une dizaine de kilogrammes de fibres (test inter-laboratoires). Tous ces cotons ont finalement constitué des populations de environ 300 grammes de fibres. Des échantillons représentatifs ont ensuite été prélevés pour chaque expérimentation en fonction des besoins de l'analyse par sélections successives de petites touffes de fibres pour composer un échantillon intermédiaire. Cet échantillon intermédiaire a été homogénéisé une fois de plus avant d'y prélever la masse nécessaire à l'analyse.

Des séries de 50 à 300 fibres ont été réalisées pour chacun des cotons testés pour ce travail de thèse.

Plusieurs constats peuvent être tirés des données recueillies :

- Les relations entre  $T_b$  et  $Dep$  montrent des nuages de points très dispersés et généralement évasés pour les fortes valeur de  $Dep$  (voir annexe 1).
- Les distributions des valeurs retenues  $T_b$  et  $Dep$  ne sont généralement pas normales. Certains auteurs ont tenté de raccorder ces données à des lois de distributions connues (Suh et al., 1997, Frydrych, 1997, Frydrych, 1997), et leurs conclusions montrent que les lois Gamma, les lois les plus proches, peuvent être utilisées. Kompella observe que le même type de raccordement peut être utilisé pour des fibres de cellulose pure (Kompella and Lambros, 2002).
- En conservant l'hypothèse d'un loi Gamma, on peut se limiter à émettre l'hypothèse d'homoscedasticité, mais cela ne permettrait pas de comparer les moyennes observées. Pour permettre une première analyse des données collectées dans ce document, on se limitera à poser une hypothèse de normalité des résultats. Les variances inter-séries de



- chacun des cotons peuvent être généralement considérées homogènes, et il n'y a pas de différences de valeurs moyennes pour les paramètres F et Dep.
- La modification de la vitesse de déplacement des pinces (voir paragraphe ci-dessous) et/ou des conditions hygrométriques (voir paragraphe E.8) conduit à des modifications des distributions qui peuvent conduire à des différences de variances et de moyennes entre séries (toujours en supposant une distribution normale pour les caractéristiques Tb et Dep).
- Des cotons qui ont été testés sur Mantis à cinq années d'intervalle n'ont pas montré de différence significative ni de variance ni de moyennes pour Tb et Dep même si les conditions de tests ne sont pas complètement définies pour les premiers tests.
- Sur 27 cotons, des casses ont été réalisées à 1 mm/s (soit 60 mm/mn, 2946 fibres rompues) et à 2.22 mm/s (soit la vitesse de casse utilisée sur HVI de 133 mm/mn, 1304 fibres rompues) pour étudier l'effet de la vitesse de casse sur les résultats d'allongement et de force de rupture des fibres. Les résultats indiquent une perte significative d'allongement moyen alors que les forces de rupture n'évoluent pas en moyenne avec l'augmentation de la vitesse de casse (Figure D-12 et Figure D-13). Ces observations ne sont valides que sous réserve des conditions de tests et d'échantillonnage homogènes. Cet écart en terme d'allongement pourrait induire des comportements particuliers de certaines fibres dans les conditions de tests HVI qu'il faudrait étudier plus précisément à l'avenir. Cette différence de comportement pourrait altérer la qualité des relations explicatives entre les données Mantis et celles des HVI, mais également celles en relation avec la qualité du fil.

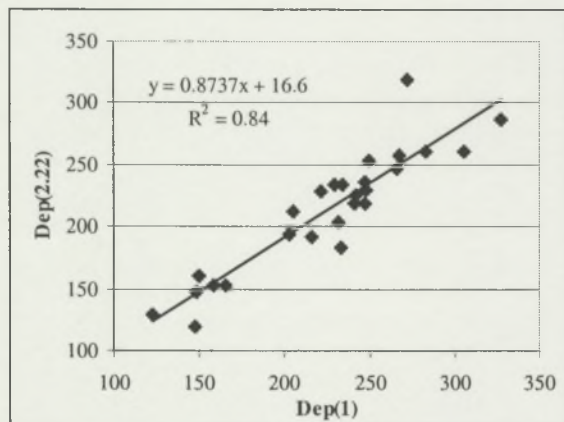


Figure D-12 : Comparaison des allongements (en pas) mesurés à 2.22 mm/s de vitesse de casse et à 1 mm/s.

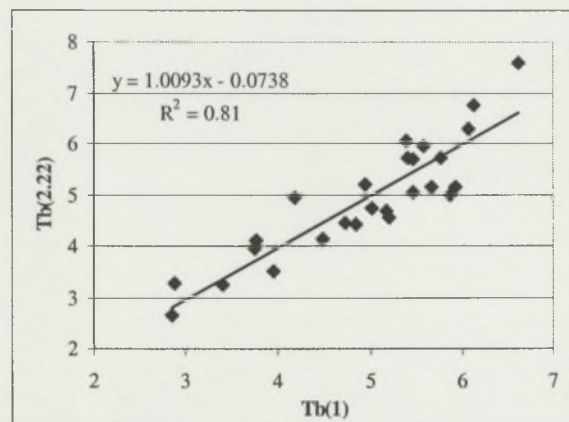


Figure D-13 : Comparaison des forces de rupture (Tb, cN) mesurés à 2.22 mm/s et à 1 mm/s.

#### D.4. Description d'une chaîne intégrée de mesure désignée sous le nom de HVI

Avec les HVI, les différentes mesures des caractéristiques physiques de la fibre sont intégrées en un seul appareil. Aussi, certains concepts théoriques des mesures HVI et des instruments classiques sont identiques ou comparables. Les principaux changements, par rapport aux mesures "classiques", résident dans la méthode de choix de l'emplacement où appliquer la contrainte et de l'interdépendance entre les différents modules de la machine pour évaluer le niveau de ténacité.



Un HVI est un appareil de mesure rapide en comparaison à tous les appareils de mesure créés jusqu'alors. Il a été conçu pour caractériser toutes les balles d'une production de coton avec un rythme comparable à celui de l'égrenage.

Les instruments de mesure intégrés dans un HVI permettent la détermination des caractéristiques suivantes :

- colorimétrie et taux de matières étrangères avec une estimation de leur taille ;
- indice Micronaire ;
- longueurs caractéristiques des fibres ;
- ténacité et allongement.

Un seul constructeur, Zellweger-Uster Spinlab, proposait une ligne intégrée de contrôle lorsque cette thèse a débuté, et c'est donc un modèle de ce constructeur qui a été utilisé.

#### **D.4.1. Préparation des échantillons**

Après un conditionnement adéquat, les échantillons sont prêts à être caractérisés. La masse minimale nécessaire pour une analyse complète est de l'ordre de 50 grammes.

Comme le HVI est un appareil intégrant différents modules de mesure, les préparations spécifiques nécessaires sont détaillées pour chaque type de mesure listé ci-dessus.

Pour la mesure de la colorimétrie et du taux de déchets, il n'est pas requis de préparation particulière avant de déposer l'échantillon sur la vitre d'analyse.

Pour ce qui concerne la mesure du micronaire, un ou plusieurs spécimen(s) d'une dizaine de grammes ( $10 \pm 0.5$  grammes) est/sont prélevé(s) dans la masse départ. Ils doivent être représentatifs de la masse de fibres de départ, aussi un prélèvement par petites touffes est recommandé. Pratiquement, le rythme d'analyse ne permet pas ce type de prélèvement dans un contexte d'analyses pour un classement commercial, et une première masse de fibres d'environ 10 grammes est d'abord prélevée, puis la masse est ajustée par petits prélèvements de manière à respecter la fourchette tolérée par le système.

Un échantillonneur automatique est ensuite utilisé pour prélever les fibres nécessaires à la mesure de longueur et de dynamométrie. Sur l'appareil de mesure commercialisé par Zellweger Uster Spinlab disponible pour la réalisation des études de cette thèse, un peigne prélève les fibres qui dépassent au travers d'une plaque perforée où est pressé manuellement l'échantillon de coton (*Fibrosampler*). Grâce à ce dispositif, les fibres sont prises doublement au hasard. En effet, des fibres sont prélevées dans l'échantillon et chaque fibre est prélevée en un point particulier choisi au hasard au sein de leur longueur par le peigne. Les fibres dans ce peigne sont ensuite peignées et brossées et constituent une frange en forme de pointe quand on la regarde de profil ('*tapered shape*', voir Figure D-24). Ce type de spécimen est utilisé pour les déterminations de longueur et de ténacité.

#### **D.4.2. Description du HVI**

##### **D.4.2.1. Mesure de la colorimétrie et du taux de déchet**

Il existe plusieurs systèmes pour déterminer des couleurs (Billmeyer et al., 1981). Celui qui est utilisé par les HVI est dérivé du système CieLab utilisant les paramètres suivants :

- Rd% : réflectance
- a : degré de couleur couvrant le vert (-a) rouge (+a)
- b : degré de couleur couvrant le bleu (- b) et le jaune (+ b).





C'est ce dernier référentiel qui est retenu pour l'analyse des fibres de coton qui est caractérisée par deux paramètres,  $R_d$  et  $+b$  (Nickerson, 1953, ASTM, 1987). La mesure se fait en comparaison par rapport à la lumière émise par les lampes. Cependant, des nombreuses recherches sont en cours dans le monde pour améliorer le système actuel en utilisant un nombre plus important de paramètres de description. Xu (Xu et al., 1997, Xu et al., 1998) montre en effet qu'avec les deux seuls indicateurs  $R_d\%$  et  $+b$ , les échantillons ne sont pas complètement caractérisés. Cependant, dans le même temps, les comités de normalisation internationale les plus influents, comme le *Universal Standard Committee*, ont approuvé les techniques de mesures de couleur seulement en 1995 et 1998. Un changement de technologie de mesure aurait alors des conséquences financières (Mayfield, 1994, Anonyme, 2001) et le changement de système de référence prenant l'intégralité du spectre de lumière pour la mesure de la couleur des cotons se trouve repoussé dans le temps.

L'estimation de la quantité de matières étrangères est important car le prix de vente des fibres de coton en dépend directement. Ainsi, de nombreux développements dans ce domaine ont été réalisés par les équipes de recherche de l'USDA (Taylor, 1988, Taylor, 1989, Taylor, 1990a, e, Taylor et al., 1990d, Taylor, ) et ont été repris par les différents constructeurs. Il faut en effet se rappeler que toute la technologie HVI a été réalisée selon un cahier des charges imposé par l'USDA qui en est le maître d'œuvre. Aussi, des tests d'homologation nombreux sont réalisés. Par exemple, afin de s'assurer d'une bonne reproductibilité des résultats, des efforts intenses sont régulièrement entrepris à l'USDA (Ramey, 1989, Ramey, 1992).

Pratiquement, l'échantillon est plaqué contre une vitre sous une pression standardisée. Il est soumis à un éclairage connu fourni par deux lampes disposées à  $90^\circ$ . La lumière réfléchi par l'échantillon est analysée par deux photodiodes.

Simultanément à l'analyse de couleur, une caméra capture une image de l'échantillon. Cette image est traduite en 8 niveaux de gris puis soumise à un seuillage binaire de manière à faire apparaître les impuretés telles que particules de feuilles, de branches, de carpelles, ... Le logiciel analyse ensuite le nombre de pixels de l'image qui ont un niveau de gris supérieur à un seuil prédéfini.

#### D.4.2.2. Mesure de l'indice micronaire

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes B.1.2.1 et D.4.1, 10 grammes ( $\pm 0.5$  g) de fibres prélevées au sein de la masse de l'échantillons sont placés dans une chambre d'un volume donné pour une mesure de la porosité à l'air.

L'indice micronaire est mémorisé pour édition et pour servir de critère estimatif de la masse linéique des fibres en vue du calcul de la ténacité, comme demandé par le cahier des charges émis par l'USDA dans les années 60.

Quelques chercheurs ont tenté d'améliorer l'estimation de cette masse linéique en intégrant par exemple les résultats d'un maturimètre (Taylor, 1991a) ou en essayant d'adapter la théorie du fibrogramme pour tenir compte de la masse des fibres au lieu de leur nombre (Landstreet et al., 1989).

D'autres ont essayé d'utiliser des paramètres de AFIS pour mieux prendre en compte la masse linéique des fibres (Krowicki et al., 1996b).

#### D.4.2.3. Méthode de mesure de la distribution de longueur des fibres

Le prélèvement de fibres au hasard dans un échantillon a permis d'augmenter la rapidité de préparation pour l'analyse. Il ne faut que quelques secondes pour le préparer de cette manière. L'interprétation des distributions de longueur des fibres prises au hasard a abouti au concept de "*Span length*", uniquement utilisé sur appareils classiques de mesure.



On dit que les sous-échantillons ainsi prélevés sont dits "*tapered*" (Taylor, 1986). Toutes les fibres sont pincées en un point, et plus on s'éloigne de ce point, plus le nombre de fibres diminue et plus elles sont longues.

Le dispositif de mesure est constitué d'un système d'éclairage (lumière rouge d'environ 660 nm de longueur d'onde fournie par une barrière de diodes électroluminescentes) qui illumine un capteur de mesure d'intensité lumineuse, et d'un système de maintien mobile du peigne porteur de la frange de fibres.

Lorsque les fibres sont introduites dans le capteur par déplacement en pas de longueur constante, elles obèrent une partie croissante de la lumière en fonction de leur nombre, leur taille et leur forme. En croisant les informations de distance et de quantité lumineuse atteignant le capteur optique, le tracé du fibrogramme est obtenu (Figure D-14) dont sont extraites les informations caractéristiques.

Les mesures sont effectuées jusqu'à quelques millimètres du bord du peigne.

#### D.4.2.4. Dynamométrie

Le sous-échantillon de fibres, pris dans son système de maintien et de prélèvement, est serré dans des pinces de traction initialement écartées de  $1/8^{\text{ème}}$  de pouce ou 3.175 mm (Figure D-15).

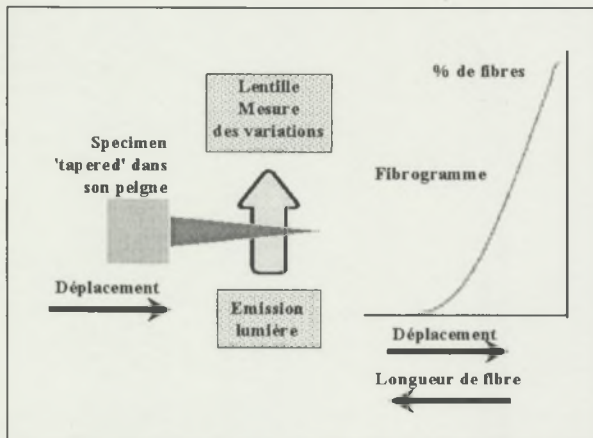


Figure D-14 : Schéma du système optique du HVI pour la mesure de la distribution des longueurs de fibre.

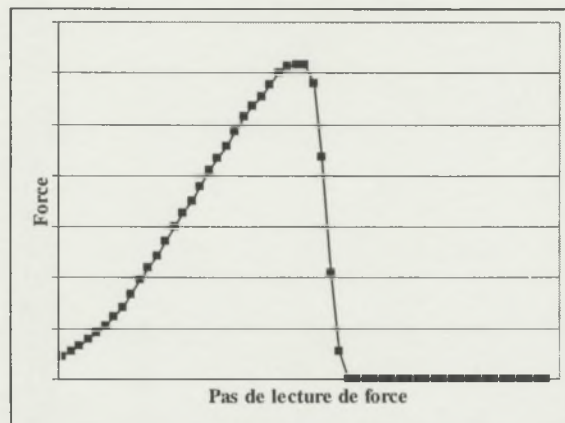


Figure D-16 : Relevé réel de force en fonction du déplacement de la pince arrière.

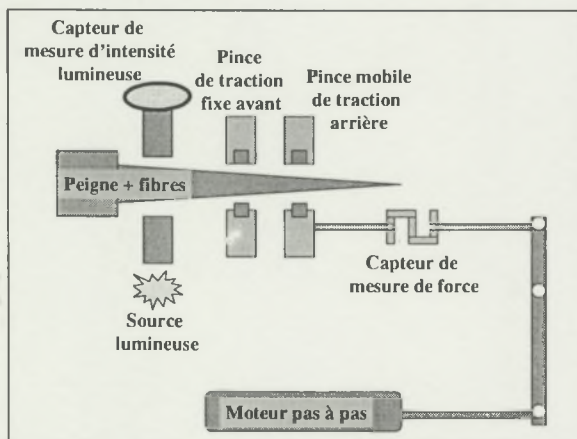


Figure D-15 : Schéma du système d'application de contrainte de traction du HVI ; le peigne est en place avant le serrage des pinces de traction.

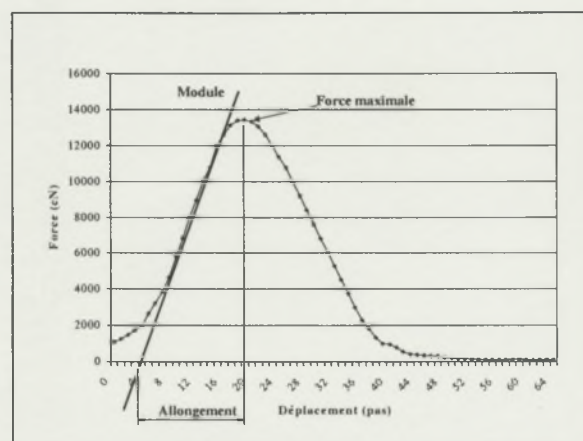


Figure D-17 : Courbe corrigée de la force pour les déflexions des bras de levier en fonction du déplacement des pinces de traction HVI, et informations retenues.

Le HVI est un appareil à augmentation de contrainte par déplacement à vitesse constante des pinces de traction (CRE). La distance entre pinces de traction est augmentée à une vitesse d'environ 13.3 cm/mn si l'on néglige les flexions dans les différents composants de la chaîne cinématique (Taylor, 1986). A chaque incrément d'écartement de la pince arrière, la force est enregistrée grâce à une jauge de contrainte et la courbe de la force est tracée en fonction de l'écartement des pinces (Figure D-16). Grâce à un système d'étalonnage et de compensation des flexions des bras de leviers, un nouveau tracé est calculé de manière à en isoler les informations les plus pertinentes (Figure D-17, Riley, 1996).

#### **D.4.3. Réalisation des tests**

La caractérisation d'un échantillon par un HVI pour toutes les caractéristiques mesurées doit se faire dans un ordre particulier. Les deux premières caractérisations, la colorimétrie couplée avec l'analyse du taux de déchets et le micronaire peuvent être interverties. En revanche, ces mesures doivent toujours précéder la mesure des longueurs et ensuite les mesures de dynamométrie car certaines informations servent à la réalisation des tests suivants. Ainsi, le micronaire sert à calculer la masse de fibres rompues par le test de dynamométrie. Les informations de distribution de longueur servent à choisir le nombre de fibres à rompre, à placer un nombre prédéterminé dans les pinces de traction du dynamomètre et participent au calcul de la ténacité.

#### **D.4.4. Données recueillies et utilisées**

Pour la caractérisation de la couleur des cotons, la réflectance  $R_d$  (en %) et le degré de jaune (sans unité) sont relevés.

Pour la mesure du taux de déchets, trois paramètres sont généralement donnés (Anonyme, 2001) :

- Trash Area : est déterminée selon une fonction complexe du nombre de pixels plus foncés qu'un seuil de niveau de gris ;
- Trash Count : chaque ligne de l'image prise au moment de l'analyse de couleur est analysée sans que le logiciel puisse relier les informations de lignes contiguës. Le nombre d'impuretés n'est donc pas compté, il est estimé à partir d'une fonction complexe du nombre de pixels plus 'gris' que le seuil ;
- Leaf Code : code de classement (pour la répartition en lots) du coton, qui peut être celui de l'USDA si l'étalonnage de la machine a été fait selon le protocole préconisé par celui-ci.

Depuis 1998, et après une longue campagne de sensibilisation, les grades de couleur et de taux de déchets qui étaient combinés jusque là ont été séparés en deux informations distinctes (Anonyme, 2001).

L'indice micronaire est reporté sur les listings de résultats.

Dans le cadre de l'utilisation normale d'un HVI selon les recommandations internationales, les informations de longueurs qui sont reportées sont :

- la longueur moyenne ou *Mean Length* (ML) ;
- la longueur moyenne de la moitié supérieure ou *Upper Half Mean Length* (UHML) ;
- l'indice d'uniformité ou *Uniformity Index*, rapport de la ML sur l'UHML.

Pour ce qui concerne le test de dynamométrie, la force maximale est recueillie à partir du diagramme force en fonction du déplacement des pinces de traction. Pour calculer la ténacité (*strength*), il faut diviser cette force par une masse linéique des fibres rompues estimée à



partir du nombre de fibres (déduite du fibrogramme) et de leur micronaire comme il l'a été imposé par l'USDA. Ce rapport est multiplié par un coefficient correctif permettant l'expression de la ténacité dans l'unité normalisée le cN / tex (Équation D-4).

$$\text{Strength} = \frac{\text{Force}}{\text{fonction de (IM, distribution des longueurs)}} * \text{constante}$$

Équation D-4

La valeur d'allongement est déduite du comptage du nombre de pas du moteur qui écarte les pinces de traction. La valeur reportée est une valeur relative à l'écartement initial des pinces de 3.175 mm (Équation D-5) et est exprimée en pourcentage.

$$\text{Allongement \%} = \frac{\text{écartement après rupture} - \text{écartement avant rupture}}{\text{écartement avant rupture}} * 100$$

Équation D-5

Graphiquement, les points d'intersection de la tangente à la courbe force/allongement avec l'axe des déplacements et la valeur correspondante à la force maximale sur l'axe des déplacements sont pris en compte pour calculer l'allongement relatif.

D'autres informations peuvent être également indiquées selon les paramétrages du logiciel :

- 'work peak' : travail sous courbe force en fonction du déplacement jusqu'au pic de force maximale ;
- 'work total' : travail sous la courbe force en fonction du déplacement sur toute la gamme des déplacements ;
- 'modulus' : valeur de la pente de la tangente à la courbe quand la force atteint la moitié de la force maximale enregistrée (Figure D-17) ;
- 'crimp' : valeur de déplacement relative à la distance initiale entre pinces de traction entre le début de la traction et le point d'intersection de la tangente permettant le calcul du modulus avec l'axe des déplacements.

#### D.4.5. Discussion des biais d'échantillonnage



##### D.4.5.1. En général

Les biais possibles de mesure sont discutés ici dans l'ordre de réalisation des analyses, c'est-à-dire pour le micronaire, les longueurs, la ténacité. En complément, les études réalisées dans ce travail pourront montrer l'existence d'autres biais possibles et sont discutées au chapitre E.

De manière générale, différents auteurs montrent qu'un minimum de précautions sont à prendre lors de l'analyse de données issues d'analyses technologiques. Ainsi, dans notre domaine, toute comparaison entre techniques de mesures doit être faite en tenant compte de la variabilité de l'échantillon due aux facteurs suivants:

- la méthode d'égrenage du coton-graine (Gutknecht et al., 1963);
- la qualité de mélange des fibres (Dever et al., 1987, Gannaway, 1982, Gannaway, 1991, Gourlot and Hequet, 1994 ;
- la qualité des appareils de prélèvement et de leur entretien (pinces, peignes, garnitures, ...) (Chanselme et al., 1996, Gourlot et al., 1996, Gourlot, 2000) ;
- le conditionnement des échantillons (Taylor, 1990c, Sasser P, 1990,) ;

- la stabilité du conditionnement lors des analyses (Taylor et al., 1991b) ;
- la qualité du brossage des fibres avant analyse (temps, pression, dureté de la brosse (Taylor, 1990b).

Toutes ces sources de variabilité d'échantillonnage peuvent affecter les mesures de tous les instruments de mesure, en particulier celles en provenance des HVI.

#### D.4.5.2. Mesure du micronaire

Les biais dans la mesure du micronaire ont été décrites précédemment. Cependant, dans le cadre d'une analyse HVI, IM est utilisé pour estimer une masse de fibres rompues. Or, IM mesure une 'surface spécifique' (au sens de Lord) et non une masse linéique bien que cette mesure ait été établie en corrélation avec des vraies mesures de masse linéique (coupe et pesée de fibres). Donc, le calcul prend mal en compte la maturité.

Un meilleur estimateur serait la finesse linéique, car ce paramètre est indépendant de la maturité selon la théorie de E. LORD (Équation D-6, Lord, 1961).

$$H = \frac{(a \cdot IM^2) + (b \cdot IM) + c}{MR}$$

Équation D-6

Cette propriété de la finesse linéique semble tellement importante que quelques auteurs ont tenté de montrer son intérêt grâce à l'intégration de résultats de finesse dans les analyses HVI (Duckett et al., 1990, Montalvo et al., 1994, Montalvo et al., 1997, Taylor, 1991).

Par ailleurs des efforts importants sont consacrés à une mesure objective des paramètres de maturité et de finesse afin d'établir des niveaux de référence et d'étalonnage pour les appareils de mesure (Abidi et al., 1999, Boylston et al., 1993, Hequet, 1999, Kaewprasit, 1997, Kaewprasit et al., 1998, Kaewprasit et al., 1999, Thibodeaux et al., 1986, Montalvo et al., 1987).

Pour l'heure, il n'y a pas eu d'avancée notable sur l'intégration de la finesse et de sa mesure dans les systèmes HVI. En revanche, Zellweger, en commercialisant son système Spectrum a intégré une mesure de la maturité par une formule complexe intégrant tous les paramètres mesurés sur HVI étalonnée par rapport au MR mesuré sur AFIS (Zellweger, 1999). Cela peut apparaître comme le premier pas d'intégration de la finesse dans le calcul de la ténacité car il est possible de déduire la finesse des informations de MR et de IM. Cette démarche va cependant à l'encontre de la mesure séparée et indépendante des différentes caractéristiques.

#### D.4.5.3. Mesure des longueurs caractéristiques

Avant la mesure de longueur, le peigne est brossé pour rendre les fibres parallèles et rectilignes (en limitant leur frisure naturelle). Cette frisure se reforme plus ou moins, selon les conditions d'analyses (variété, humidité, température...).

Après le transfert du peigne vers les dispositifs de caractérisation, un flux d'air pulsé aspire les fibres dans la fente de mesure. Par cette opération, une partie de la frisure des fibres qui s'était reformée est, en partie seulement, éliminée. Il existe donc une erreur d'estimation des longueurs à cause de cette frisure naturelle ("*crimp*").

#### D.4.5.4. Mesure de la ténacité

Pour ce qui concerne la mesure de la résistance, plusieurs méthodes sont possibles pour sélectionner la quantité de fibres qui seront rompues dans le test de dynamométrie. Pratiquement, deux réglages principaux sont possibles sur le HVI. Ces possibilités sont expliquées dans le cas de peignes bien ou moyennement chargés dans les cas de deux cotons,

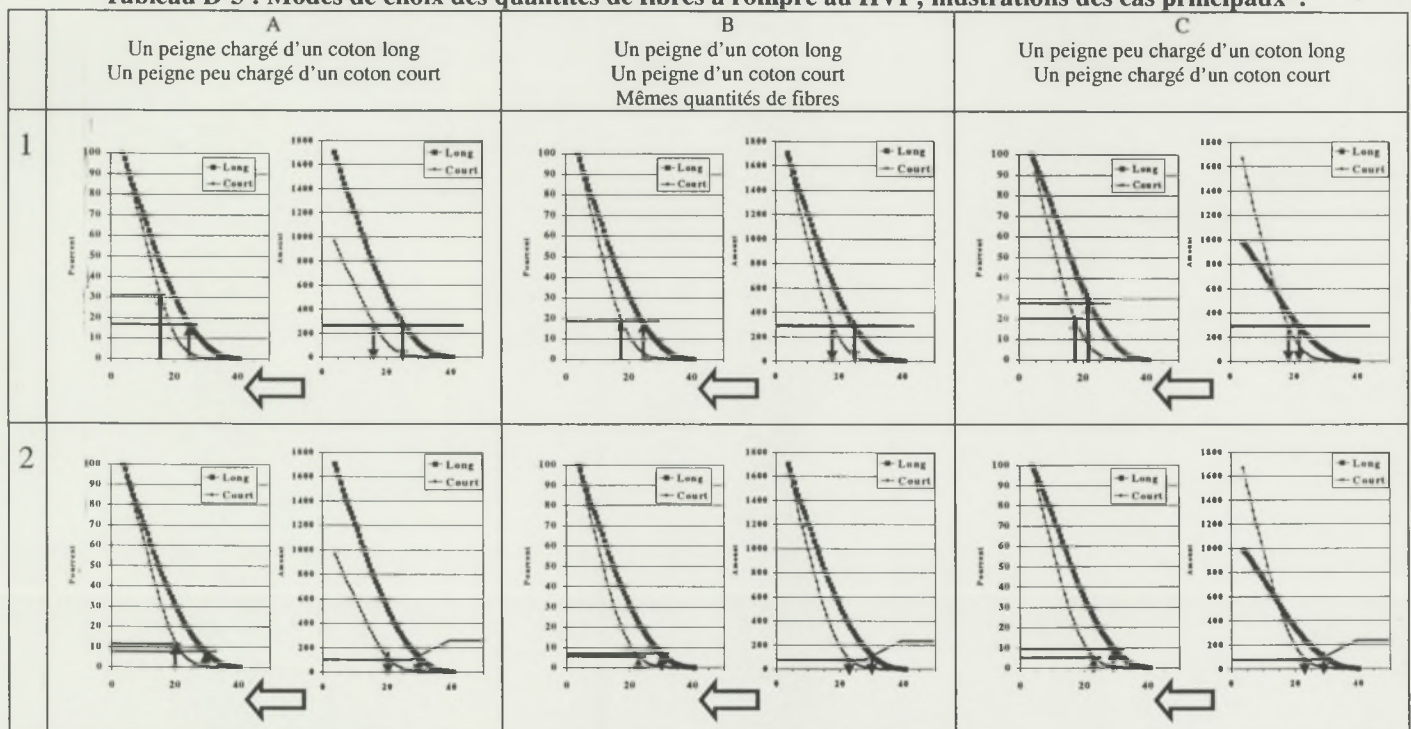


un court (B26) et un long (28764). En premier, le Tableau D-3 illustre les représentations de ces choix sur des fibrogrammes bruts (*amount* en fonction des longueurs de fibres) et fibrogramme normalisés par rapport à la première lecture près du peigne (pour-cent de fibres par rapport à la longueur des fibres). Le tableau Tableau D-4 explique le contenu des différentes cases du tableau précédent, ensuite approfondies pour en détailler les avantages et inconvénients.

Le premier cas n'est a priori utilisé que pour les versions les plus anciennes des HVI, et en particulier des appareils fabriqués sous la marque *Motion Control Incorporated* qui ne sont plus commercialisés (Taylor, 1986).

Le deuxième cas est celui du HVI où des quantités de fibres sont sélectionnées en fonction de la longueur des cotons. Ce cas représente une variante du cas 1 qui avait pour but d'améliorer la reproductibilité des résultats HVI pour les cotons les plus longs égrenés au rouleau. Le marché des HVI s'étendant au monde entier, cette fonctionnalité a été probablement conservée pour tous les HVI installés.

**Tableau D-3 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux<sup>9</sup>.**



**Tableau D-4 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux, explications des différents cas.**

Cas	A Un peigne chargé d'un coton long Un peigne peu chargé d'un coton court	B Un peigne d'un coton long Un peigne d'un coton court Mêmes quantités de fibres	C Un peigne peu chargé d'un coton long Un peigne chargé d'un coton court
1	Dans chaque case de ce cas de figure, une quantité de fibres (Amount) est sélectionnée (fibrogramme brut de droite). On en déduit (sens de la grosse flèche) une distance par rapport au peigne à laquelle pincer les fibres des deux cotons, distances qui sont reportées sur le fibrogramme normalisé de gauche pour en déduire le pourcentage de fibres rompues.		
2	Dans chaque case de ce cas de figure, une quantité de fibres (amount) est sélectionnée (fibrogramme brut de droite). En fonction de la longueur des fibres, on en déduit une distance par rapport au peigne à laquelle pincer les fibres des deux cotons, distances qui sont reportées sur le fibrogramme normalisé de gauche pour en déduire le pourcentage de fibres rompues. Dans cette configuration, si les cotons ont une longueur inférieure à 22.9 mm, un amount de 100 est choisi ; entre 22.9 et 30.5 mm, l'amount est choisi sur une pente entre les deux points décrits ici ; si le coton a une longueur supérieure à 30.5 mm, un amount de 250 est choisi (principe 'wedge' du HVI).		

<sup>9</sup> Les données des fibrogrammes présentés ici sont issues de tests RST (décrit au paragraphe D.6).

En résumé, un effet important de la masse de fibres prélevée représente un biais d'échantillonnage. Dans ces deux cas, l'échantillonnage par rapport à la longueur des fibres semble faiblement biaisé car les mêmes proportions de fibres d'un coton court ou long sont testées.

#### D.4.5.5. Biais combinés

Plusieurs problèmes peuvent apparaître lors de la mesure de ténacité au HVI :

- les fibres sont plus ou moins frisées de nature. Le brossage diminue cette frisure mais ne l'annule pas (Taylor, 1990b). Cette frisure peut être évaluée par la mesure de l'écartement des pinces de traction sans qu'il y ait accroissement de charge : c'est le *crimp*. Les résultats sont donc variables en fonction de la qualité du brossage des fibres (force, pression, vitesse, dureté de la brosse, débit d'air de l'aspiration...).
- Si l'estimation de la longueur des fibres est faussée par le *crimp*, alors le tracé du fibrogramme est incertain. Quand cela est le cas, la distance de placement des fibres dans les pinces de traction, issue de l'interprétation du fibrogramme, devient également incertaine et peut conduire à des biais de mesure.
- Entre le moment où la mesure des longueurs et la construction du fibrogramme est réalisée d'une part, et celui où les pinces de traction sont serrées d'autre part, il s'écoule quelques secondes. Pendant ce laps de temps, les fibres sont maintenues dans le flux d'air d'aspiration. Ces quelques secondes supplémentaires d'aspiration peuvent déployer certains fibres qui étaient encore frisés jusqu'alors, et ainsi augmenter le nombre de fibres rompues qui peut devenir alors très différent de celui prévu par l'interprétation du fibrogramme et accroître encore les biais précédents (voir paragraphe E.8). Par ailleurs, si le flux d'air n'est pas correctement maintenu aux bonnes conditions de température et d'humidité relative, il peut s'ensuivre des modifications dans l'organisation structurale (répartition selon le type de cellulose) des fibres et des différences de résultats (Hsieh, 1997).
- L'humidité relative a une grande influence sur les résultats technologiques car toutes les analyses sont relatives à la masse de fibres traitées. Or les fibres sont hygroscopiques. Donc toute modification d'humidité relative induit des différences de résultats sur les déterminations technologiques. De plus la microstructure est influencée par le taux d'humidité (Kaewprasit, 1997, Hsieh, 1997) et peut conduire à des réactions différentes en terme de résistance de rupture (Lawson et al., 1976, Morris, 1962). Cela a conduit à améliorer sans cesse les systèmes de conditionnement d'air dans les salles de classement (Cowden and Knowlton, 1993).

### D.5. Simulations de casse en faisceau à partir des données fibre par fibre Mantis

Différents auteurs ont tenté d'utiliser les données de dynamométrie obtenues sur fibres individuelles sur appareil Mantis afin d'expliquer les résultats obtenus sur HVI (Suh et al., 1994a), Thibodeaux et al., 1998). Les mêmes auteurs ont également tenté d'estimer la ténacité du fil à partir de ces données, et d'organiser les schémas de production en filature en conséquence (Suh et al., 1994b, Suh et al., 1996).

D'autres ont préféré utiliser d'autres appareils de mesure de fibres individuelles (appareil Instron, Frydrych, 1995).

Des rapprochements ont également été tentés entre les informations obtenues sur fibres individuelles et celles concernant la structure fine des fibres (Hsieh, 1997).



Ensuite, à partir de relevés obtenus sur HVI, certains ont tenté de retrouver des informations sur les distributions obtenues sur fibres individuelles (Suh and Cui, 1997, Frydrych, 1997, Frydrych, 1997).

Les auteurs qui ont travaillé à ce sujet n'ont pas utilisé les mêmes conditions de test (vitesse de casse : Suh 60 mm / mn, Frydrych 5 mm / mn ; distance initiale entre pinces de 3.175 mm pour les deux auteurs). Rappelons que la vitesse d'écartement des pinces au HVI est de l'ordre de 133 mm / mn.

La grosse difficulté rencontrée semble être la grande variabilité des résultats obtenus au sein d'échantillons même bien homogénéisés. En conséquence, les paramètres statistiques habituels (moyenne, variance, ...) ne peuvent décrire que succinctement les informations obtenues. Suh et Frydrych ont tenté de raccorder les données observées à des lois statistiques connues comme les lois Gamma. Ces lois de raccordement sont complexes et plusieurs paramètres doivent être ajustés.

Cependant, au vu des conditions de tests utilisées, les lois de raccordement proposées ne sont pas forcément adaptées à la prédiction des résultats dans les conditions de test utilisées sur HVI. Par ailleurs, les conditions d'application de ces lois ne correspondent pas forcément aux conditions de tests utilisées dans ce travail de thèse.

Une méthode pour contourner l'utilisation de lois statistiques de description des données consiste à utiliser l'intégralité des relevés de force en fonction de l'allongement pour chacune des fibres testées et à les combiner pour construire une simulation du comportement d'un faisceau de fibres parallèles lors d'un test de dynamométrie sur HVI.

Afin de pouvoir rapprocher les résultats obtenus sur Mantis dans cette thèse avec les résultats de Suh, au moins pour les informations statistiques générales et malgré le fait que la vitesse de casse ne corresponde pas à celle du HVI, j'ai choisi de rompre les fibres à 60 mm / mn. Cependant, pour connaître l'incidence de la vitesse de casse sur les résultats Mantis, quelques échantillons ont également été testés à 133 mm / mn afin de réaliser quelques comparaisons déjà discutées (Figure D-12 et Figure D-13).

#### **D.5.1. Préparation des données relatives aux échantillons**

Pour la majeure partie des expérimentations réalisées dans cette thèse, des fibres ont été préparées pour être analysées individuellement sur appareil Mantis.

Afin de simuler des casses de faisceaux de fibres, un outil de Ideal99 (Figure D-18) sélectionne le nombre de cotons qui vont participer aux simulations et leurs pourcentages respectifs de participation dans l'échantillon à partir des bases de données de stockage des données unitaires déjà mentionnées (programmation informatique par Guérinot, 2000).

Plusieurs possibilités de sélection des fibres qui doivent participer aux simulations ont été envisagées :

- tirage sans remise et exploitation de l'intégralité des populations disponibles par coton pour le caractériser ;
- tirage sans remise d'une partie des fibres dans la population. Cette solution offre l'avantage de réaliser plusieurs tirages pour caractériser un coton. En revanche, une fibre peut figurer dans plusieurs simulations différentes ;
- tirage avec remise systématique dans la population. Un nombre important de simulations peut être réalisé et une fibre peut apparaître une ou plusieurs fois dans une simulation et/ou dans plusieurs simulations.

Pour décider du mode de sélection des fibres, il est nécessaire de prendre en compte le nombre de fibres testées par coton et le nombre de cotons testés sur Mantis. Comme on le verra au chapitre E, un nombre très important de cotons a été testé. Ainsi, un nombre assez faible de fibres a été caractérisé par coton, entre une centaine de fibres pour la majorité des cotons et 1500 pour six d'entre eux en deux ou plusieurs blocs ou répétitions d'analyse. Pour obtenir une bonne estimation des caractéristiques d'un coton, Hebert conseille de tester trois répétitions d'environ 150 fibres par échantillon (Hebert et al., 1995, Thibodeaux et al., 1998). Au vu des implications financières, il n'a pas été possible d'atteindre cette recommandation. En revanche, les analyses statistiques montrent généralement que des reproductibilités convenables entre répétitions peuvent être atteintes dans nos conditions.

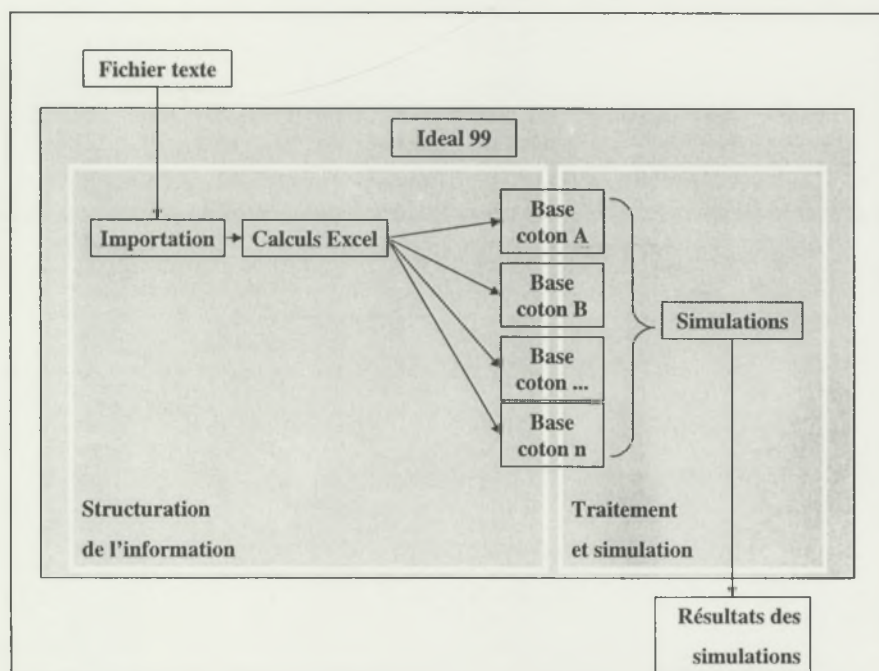


Figure D-18 : L'application Ideal99 est complétée par un dispositif de simulation de casses en faisceau de fibres parallèles.

Suite aux analyses des distributions des paramètres mesurés ( $T_b$ ,  $Dep$ ), nous avons considéré que le troisième mode de sélection – tirage avec remise systématique – permettrait de réaliser beaucoup de simulations par coton sans toutefois altérer les résultats des simulations de manière notable.

Dix tirages aléatoires de 100 fibres ont été réalisés dans les diverses populations de fibres des différents cotons pour constituer des échantillons et vérifier si des différences pouvaient être créées entre échantillons par ce mode d'échantillonnage. Les tests statistiques simples (homogénéité des variances, comparaison de moyennes et comparaison des distributions) ne montrent pas d'écart entre les divers tirages d'une part, et avec la population originale d'autre part. Ce mode d'échantillonnage a donc été retenu pour la suite des travaux.

Dès lors que nous simulons la casse de fibres parallèles, il nous faut évaluer à chaque instant quel est le pourcentage de fibres rompues et celui des fibres restantes qui sont en instance de rupture en fonction du temps d'application de la contrainte, lui-même lié à la valeur de déplacement (cas où il n'y a pas de déformation de dynamomètre).

Il faut donc envisager maintenant la courbe force/allongement sur faisceau comme la fonction du nombre de fibres rompues en fonction du temps sous une distance croissante (CRE). Notons que le mode d'application de contrainte au HVI est comparable à celui utilisé par le



Mantis. Aussi, les simulations réalisées à partir de ses données pourront être comparées sans problème méthodologique (aux autres erreurs près).

A partir des fibres sélectionnées dans les cotons choisis, l'algorithme cumule, pour chaque incrément d'allongement, la somme des forces relevées pour chacune des fibres (Tableau D-5). C'est le concept du *time-aligned array* défendu par Sasser (Sasser et al., 1991). Dans ce tableau, n fibres ont été sélectionnées pour participer au test d'un faisceau ; les valeurs de force relevées sur Mantis pour chaque pas d'écartement des pinces sont sommées afin d'obtenir une estimation de la force relevée sur le faisceau entier.

**Tableau D-5 : Explication de l'algorithme de calcul des forces estimées pour un faisceau de fibres à partir des données Mantis.**

Forces F relevées pour chaque incrément d'écartement des pinces de traction et pour chaque fibre testée sur Mantis				
	Incrément 1	Incrément 2	Incrément 3	Incrément z
Fibre 1	F11	F12	F13	F1z
Fibre 2	F21	F22	F23	F2z
Fibre i	Fi1	Fi2	Fi3	Fiz
Fibre n	Fn1	Fn2	Fn3	Fnz
Force calculée pour le faisceau	S(1)	S(2)	S(3)	S(z)

Ainsi, pour généraliser, à chaque pas d'écartement des pinces du HVI simulé, on enregistrerait la force définie ci-dessous (Équation D-7) à partir des régressions polynomiales du 5<sup>o</sup> degré (Équation D-3) obtenue sur chacune des fibres liant la force à l'allongement des fibres.

$$S(a) = \sum_{i=1}^n (u_i \cdot a^5 + v_i \cdot a^4 + w_i \cdot a^3 + x_i \cdot a^2 + y_i \cdot a + z_i)$$

Équation D-7

Avec :

- S(a) : la force estimée à chaque pas a d'écartement des pinces du HVI pour un nombre i de fibres.
- a : pas de d'allongement pour lequel on calcul la force correspondante. Il varie entre 1 et z, z étant un nombre fini.
- i : le numéro de fibre qui est intégrée dans la simulation. Cette information varie de 1 à n, n étant un nombre fini.
- Les coefficients u, v, w, x, y, z (z est forcé à 0 car physiquement il n'y a pas de force lue quand la fibre défrisée est au repos) sont relatifs aux différents coefficients du polynôme du 5<sup>o</sup> degré pour chaque fibre.

Cette équation estime la courbe de force idéale enregistrable quand toutes les fibres sont parfaitement défrisées, et qu'ainsi elles commencent toutes à participer au moment du premier pas d'écartement des pinces du HVI. Par idéale, on entend indépendante de toute influence de paramètres autres que la longueur (biais d'échantillonnage au Mantis).

Cependant, comme cela a été indiqué dans le paragraphe de description du HVI, les fibres peuvent être plus ou moins défrisées par le brossage et le flux d'air d'aspiration et sont donc disposées en faisceau de fibres 'parallèles' au moment d'être serrées dans les pinces de traction. Ces fibres ne sont maintenues que par une seule extrémité. En conséquence, le phénomène observé s'approche vraisemblablement de ce qui est mesuré sur Mantis, à savoir une somme de *slack* + *crimp* + vrillage + ... (ces notions sont définies au paragraphe D.3.4).

Une frisure naturelle est normale pour les fibres de coton et le modèle de simulation doit en tenir compte pour tenter de représenter la réalité. Afin de rendre les simulations informatiques plus réalistes, le logiciel développé permet de prendre en compte un terme de décalage qui permet de retarder le début de participation des fibres au test de rupture du faisceau simulé (Gourlot et al., 1998c, Tableau D-6). En comparaison avec le Tableau D-5, un décalage d'un certain nombre de pas lié à du *crimp* a été introduit pour les fibres. Cette opération peut être représentative de la réalité physique des tests si on suppose qu'aucun enregistrement de force significativement différent de zéro n'est lu lors de la seule opération de retrait de la frisure (*crimp*) des fibres.

**Tableau D-6 : Explication de l'algorithme de calcul des forces estimées pour un faisceau de fibres à partir des données Mantis en intégrant l'effet de la frisure (crimp de valeur c) des fibres.**

Forces F relevées pour chaque incrément d'écartement des pinces de traction et pour chaque fibre testée sur Mantis				
	Incrément 1	Incrément 2	Incrément 3	Incrément p
Fibre 1	F11	F12	F13	F1z
Fibre 2	Décalage	décalage	F21	F2(p-c)
Fibre ...	Décalage	F31	F32	F3(p-c)
Fibre n	Décalage	Décalage	Décalage	Fn(p-c)
Force calculée pour le faisceau	S(1)	S(2)	S(3)	S(z)

Ainsi, pour généraliser, à chaque pas d'écartement des pinces du HVI simulé, on enregistrerait la force définie ci-dessous en présence de *crimp* pour chaque fibre (Équation D-8) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } a < c_i, \text{ alors } S(a) \text{ est inchangé;} \\ \text{Si } a \geq c_i, \text{ alors } S(a) \text{ devient:} \\ S(a) = \sum_{i=1}^n \left( u_i \cdot (a - c_i)^5 + v_i \cdot (a - c_i)^4 + w_i \cdot (a - c_i)^3 + x_i \cdot (a - c_i)^2 + y_i \cdot (a - c_i) + z_i \right) \end{array} \right.$$

Équation D-8

Avec  $c_i$  étant la valeur de *crimp* introduite pour la fibre  $i$ . Cette valeur est tirée au hasard dans une loi de distribution normale de moyenne  $\bar{u}$ , et de variance  $\sigma^2$  dans la version actuelle de Ideal99 (discuté plus loin).

Plusieurs méthodes d'introduction de frisure dans les simulations ont été tentées.

- La première version de Ideal99 affectait une valeur de frisure proportionnelle à l'allongement de chaque fibre multiplié par un nombre inférieur à 1 tiré au hasard (tirage selon le logiciel Access, loi binomiale).
- La deuxième méthode consiste à tirer une valeur de frisure dans une loi normale de paramètres de moyenne  $\bar{u}$  et de variance  $\sigma^2$  dont on fixe les valeurs dans l'interface graphique. J'ai tenté d'utiliser les valeurs de '*slack*' obtenues lors des analyses Mantis pour les assimiler à de la frisure naturelle des fibres dans les simulations et paramétrer les paramètres  $\bar{u}$  et  $\sigma^2$ . Suite au travail de Jaeger (Jaeger, 1998) qui cherchait à mesurer les différents effets des phénomènes qui interviennent au cours de la rétraction de la fibre de coton au séchage sur la longueur des fibres, nous avons vu que les valeurs de *slack* données par Mantis ne correspondent pas à des valeurs de frisure des fibres.



Les valeurs de *slack* n'étant pas utilisables, les valeurs de  $\bar{u}$  et  $\sigma^2$  d'une loi normale de distribution<sup>10</sup> ont été fixées par approches successives.

Les mêmes calculs sont également possibles à partir des données brutes relevées sur Mantis ou sur les données modélisées par la régression linéaire. Un dispositif particulier permet de reprendre des jeux exactement identiques de fibres afin de leur appliquer des paramètres de simulation différents (par exemple pour changer les valeurs de *crimp* et en étudier les conséquences sur les résultats obtenus).

A titre d'exemple, deux graphes montrent les résultats de deux simulations utilisant 100 fibres identiques de 3 cotons différents ; le premier montre le tracé de la force idéale que l'on pourrait obtenir si toutes les fibres étaient idéalement défrisées au début du test de traction (Figure D-19, le pas dans les simulations vaut  $4/3 \cdot 1002 = 0.012$  mm) ; le deuxième graphe montre le tracé obtenu quand des valeurs de *crimp* ont été introduites pour chaque fibre (Figure D-20). La comparaison de ces deux graphes montre que l'introduction d'une composante 'frisure des fibres' dans le modèle induit une baisse de la force maximale de rupture du faisceau, un allongement de rupture accru et une certaine atténuation des différences observées de forces maximales entre coton.

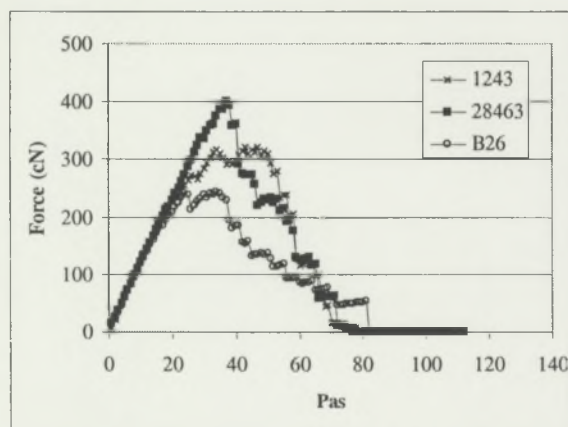


Figure D-19 : Exemple de simulations sans crimp réalisées à partir de 100 fibres de 3 cotons différents.

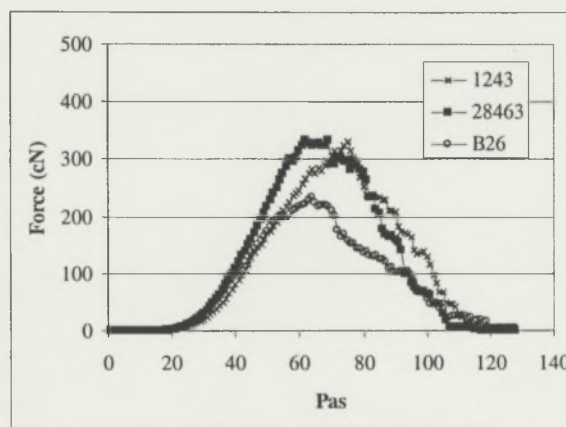


Figure D-20 : Exemple de simulations avec crimp ( $\bar{u} = 0.4$ ,  $\sigma^2 = 0.01$ ) réalisées à partir des cent mêmes fibres des 3 cotons différents.

### D.5.2. Réalisation des simulations

Dès l'instant où les données Mantis sont importées dans Ideal99, elles peuvent participer à des simulations telles que décrites ci-dessus. L'objectif de la création de ce logiciel est de tenter de prévoir le comportement des fibres lors de tests sur les différents appareils de mesure. Dans le cas de ce travail, les résultats des simulations devraient se rapprocher des résultats HVI si toutes les conditions de tests sont réunies à la fois au HVI et au Mantis, ce qui sera discuté dans les différentes expérimentations utilisant cet outil.

<sup>10</sup> Les valeurs retenues dans cette thèse ont été fixées à  $\bar{u} = 0.4$ ,  $\sigma^2 = 0.01$ . Par le passé, il était commun d'utiliser un facteur correctif de 0.8 pour les valeurs d'allongement relevées au Stéломètre. On supposait en effet un glissement des fibres dans les pinces qui comptait pour 20% des valeurs relevées ce qui correspondrait à 0.635 mm environ, valeur approchante de  $\bar{u} = 0.4$  que nous avons retenue.

### **D.5.3. Données recueillies et utilisées**

Plusieurs types de résultats peuvent être utilisés :

- la courbe simulée de la force en fonction de l'allongement pour  $n$  fibres peut être comparée aux relevés HVI obtenus dans certaines conditions très spécifiques ;
- à partir de ces courbes, il est possible d'isoler les critères utilisés dans les autres tests de dynamométrie, tels la force maximale et l'allongement correspondant, le module etc.

### **D.5.4. Discussion sur les biais possibles**

Le biais principal de cette méthode est qu'elle ne prend pas tous les facteurs de variation discutés sur HVI en compte et qu'elle est basée sur les conditions opératoires des tests Mantis (possibles biais déjà discutés). Ainsi, la flexion des bras de traction du HVI pourrait être intégrée, mais en l'état actuel de la recherche, cela n'a pas pu être réalisé. Notre démarche est de déterminer les conditions optimales de réalisation de tests de dynamométrie – cette méthode pourrait être candidate – et de comprendre en quoi les autres méthodes dévient de ces résultats.

Par ailleurs, tous les calculs faisant intervenir le micronaire, la maturité, la finesse, et les autres paramètres qui semblent influents ne sont pas pris en compte. Ils sont cependant inclus dans l'approche, ne serait-ce que parce que les cotons analysés ont des propriétés particulières et spécifiques qui couvrent une vaste gamme dans chaque caractéristique (étudié au chapitre F).

Et finalement, les résultats des simulations sont directement dépendants de l'échantillonnage des fibres qui a été réalisé lors des analyses Mantis et des conditions d'analyse alors mises en pratique.

Cette méthode utilise des données obtenues sur Mantis. Aussi, elle comporte le biais d'échantillonnage lié à la caractérisation des fibres les plus longues de l'échantillon.

## **D.6. Appareil RST (*Reference Strength Tester*)**

La démarche poursuivie dans le développement de l'appareillage RST était de vérifier que les mesures de résistance de rupture étaient liées à des grandeurs physiques vérifiables contrairement à ce que peut produire 'naturellement' un HVI.

Historiquement, c'est suite à une demande internationale qu'un groupe de chercheurs s'est réuni pour rechercher les fondements de cette mesure de ténacité (Adams, 1994). Cette demande s'est faite jour lorsque les comités de normalisation internationale étudiaient la faisabilité d'un système international de contrôle des résultats HVI, et par ailleurs pour évaluer la faisabilité de créer une méthode de référence incontestable d'établissement des valeurs caractéristiques des cotons de référence et d'étalonnage des HVI (Taylor, 1993, Taylor and Godbey, 1993, Godbey et al., 1991).

### **D.6.1. Préparation des échantillons**

Pour les mesures sur RST, il est nécessaire de rappeler le contexte : cette méthode devait être utilisée pour l'établissement des valeurs de référence de cotons standards. En conséquence, les échantillons doivent être parfaitement représentatifs des balles destinées à devenir des standards, à la fois en termes de moyenne et de variance pour la caractéristique mesurée. Généralement, les balles de référence ont été soigneusement mélangées sans en tourmenter les fibres – il faut en effet éviter la création de mèche de fibres. Ensuite, les échantillons sont



soigneusement préparés pour que les résultats obtenus à partir de quelques peignes mesurés soient représentatifs de l'échantillon lui-même. Ainsi, les échantillons sont généralement mélangés, soit en utilisant un mélangeur de fibre qui n'abîme pas les fibres, soit par une ouvraison et un mélange manuels des fibres.

#### **D.6.2. Description de l'appareil**

Afin de répondre à l'objectif de départ de mesurer des grandeurs physiques vérifiables, un appareil RST se compose :

- du module spécifique 910B de la chaîne HVI de Zellweger Uster Spinlab (Figure D-21) qui permet la mesure des longueurs de fibres ainsi qu'un dispositif d'application d'une contrainte de traction sur des faisceaux de fibres parallélisées de type CRE ; grâce à ce module, il est possible d'effectuer un test de dynamométrie sur une quantité connue de fibres ; après cette mesure comparable en tous points avec celle qui est réalisée sur une chaîne HVI normale, l'appareil procède à une seconde mesure de la distribution en longueur des fibres restantes dans le faisceau après la rupture ;
- d'un ordinateur qui récupère toutes les informations de force et de distribution des longueurs de fibres mises en évidence par le dispositif précédent ;
- d'un système de coupe des faisceaux de fibres à une position précise (Figure D-22) par rapport aux mesures effectuées sur le HVI ; la coupe effectuée permet d'isoler une partie des faisceaux issue du test de dynamométrie dont on connaît par ailleurs la distribution des longueurs de fibres présentes ;
- d'une balance de précision (Figure D-23) pour la pesée de la partie de barbe isolée par la coupe précédente.

Ainsi, grâce à l'ensemble de ce dispositif, il est possible de récupérer les informations sur les distributions des faisceaux de fibres, les enregistrements des courbes liant la force à l'allongement ainsi que la masse des fibres présentes dans le faisceau rompu pour chacun des peignes analysés. A partir de ces informations, le calcul de la ténacité – considérée comme non biaisée – est possible à partir de mesures directes des grandeurs en jeu.



Figure D-21 : Module 910B du HVI.

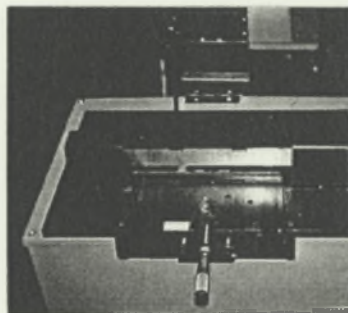


Figure D-22 : Boîte à couper les faisceaux de fibres à une position déterminée.



Figure D-23 : Balance de précision (0.01 mg).

#### **D.6.3. Réalisation des tests**

Après un conditionnement dans une ambiance normale de laboratoire, un échantillon représentatif de 30 à 50 grammes est placé dans l'échantillonneur manuel (le *Fibrosampler*). Généralement, la largeur de prélèvement de fibres (largeur effective des faisceaux de fibres) dans le *Fibrosampler* est telle que des fibres non rompues apparaissent de part et d'autre du faisceau de fibres après un test de dynamométrie. Afin d'éviter des biais d'estimation des

quantités utiles de fibres rompues dans les tests, la surface d'échantillonnage du *Fibrosampler* est limitée à la largeur des pinces de traction grâce à une 'fenêtre' de prélèvement réduite. Chacun des peignes prélevés subit les opérations suivantes afin d'en déterminer la ténacité.

#### D.6.3.1. Sur le module 910B

Comme pour une analyse normale sur HVI, le faisceau peigné et brossé (Figure D-24) est transféré vers les dispositifs de test. Lors de l'avancement du chariot du porte-peigne pour la mesure de la distribution des fibres, la quantité de lumière reçue de l'émetteur au travers du faisceau de fibres est relevée à chaque pas d'avancement du chariot porte-peigne sous forme de voltage (*amount*, Figure D-14). Ne sont conservées que les données enregistrées tous les 0.025 pouce ou 0.635 mm à partir du point de démarrage du mouvement du chariot. A partir de ces données, le système construit un fibrogramme qui permet de déduire la position (typiquement situé à la SL 30 %) où devra se produire le test de dynamométrie.

Note : la largeur du système optique est de 0.1 pouce soit 2.54 mm. Un même morceau du faisceau de fibres parallèles subit donc quatre mesures d'*amount* avant de sortir du capteur (quatre déplacements de 0.635 mm du chariot porte-peigne).

Le chariot porte-peigne se déplace alors pour placer correctement les fibres sélectionnées de manière à ce qu'elles coïncident avec la face avant de la pince arrière mobile de traction du HVI (Figure D-15).

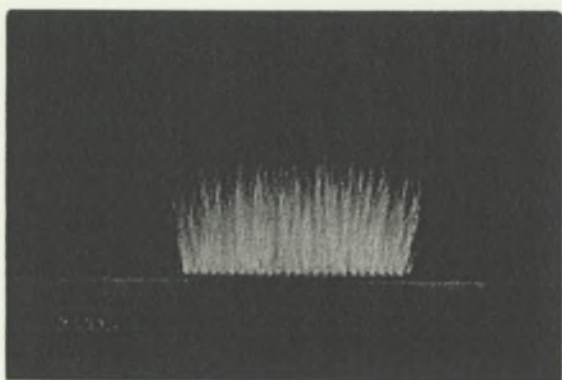


Figure D-24 : Faisceau de fibres dans le peigne avant le test de dynamométrie.

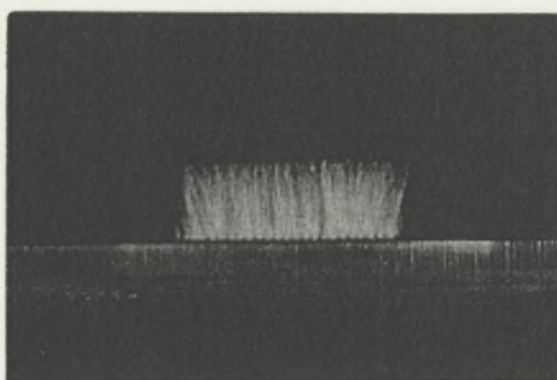


Figure D-25 : Faisceau de fibres après le test de dynamométrie et avant la coupe.

Après cette première estimation de la distribution de la longueur des fibres, les pinces de traction se ferment pour maintenir les fibres en position et leur appliquer la contrainte de traction par écartement à vitesse constante (aux erreurs près liées aux flexions des leviers du système de traction) de 13.3 cm / mn. Chaque pas du moteur d'entraînement correspond, s'il n'y a pas de déformation des leviers, à 0.00125 pouce soit 0.03175 mm. Lors du test de dynamométrie, ne sont conservés que les enregistrements de force appliquée tous les 0.0212 mm au niveau des pinces de maintien des fibres.

Après la casse, le porte-peigne revient en position d'origine et se déplace à nouveau de manière à mesurer un deuxième fibrogramme. Celui-ci est construit sur la base d'un peigne où une partie des fibres a été rompue (Figure D-25). Les deux fibrogrammes construits dans cette analyse RST peuvent alors être comparés (Figure D-26).



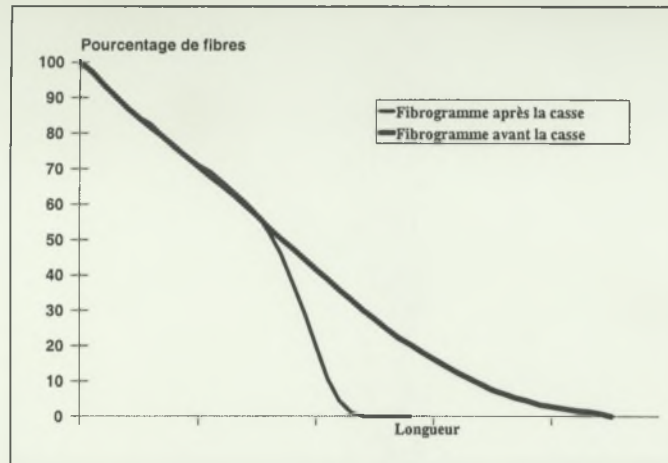


Figure D-26 : Les deux fibrogrammes normalisés obtenus lors d'une analyse RST.

#### D.6.3.2. Sur le système de coupe et la balance de précision

Le peigne est alors sorti du chariot et placé sur le système de coupe. Celui-ci est réglé de telle manière que la coupe des fibres – matérialisée par une barre métallique rigide – coïncide avec la dernière lecture d'*amount* du HVI quand le peigne est complètement entré dans le système optique. Le faisceau de fibres est ensuite aspiré puis maintenu entre la barre métallique et un support contre lequel va rouler une lame tranchante (Figure D-27). Cette opération isole donc la partie du faisceau de fibre pour laquelle des informations d'*amount* ont été collectées.

Le peigne ainsi que les restes de fibres qu'il porte est retiré. La barre métallique est relevée pour permettre la récupération de la partie utile des fibres pour une pesée sur la balance enregistrée sous le label WGT (Figure D-28).

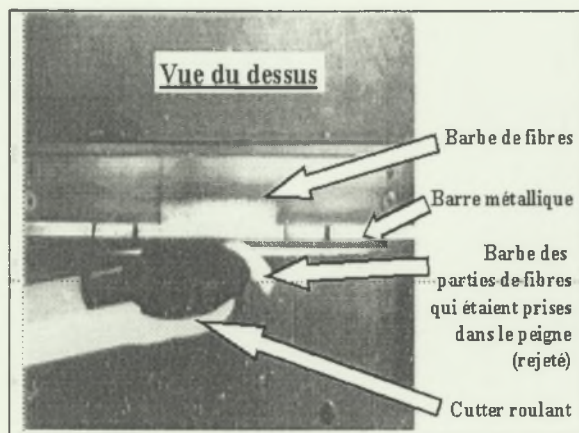


Figure D-27 : Coupe du faisceau à la position déterminée.



Figure D-28 : Prélèvement du faisceau coupé pour pesée.

#### D.6.3.3. Sur l'ordinateur

Dès l'instant où le peigne est transféré sur le système de coupe, toutes les données de force et d'*amount* sont transférées sur l'ordinateur qui les collecte sous forme de fichier de type texte.

Les relevés sont stockés sous forme d'une ligne d'informations générales, suivie de huit lignes de données. Les deux premières concernent le fibrogramme initial, ensuite deux lignes concernent la courbe force / allongement biaisée par les déformations des leviers, puis viennent deux lignes pour le fibrogramme obtenu à partir du peigne où les fibres ont été cassées, et enfin deux lignes pour la courbe force / allongement corrigée pour la déflexion des leviers (Figure D-29, Riley, 1996).

Ce fichier est traité par un logiciel spécifique Refercal.exe (disponible en plusieurs versions afin de tester des hypothèses) pour en extraire les informations les plus intéressantes et permettre le calcul de la ténacité. Ce logiciel procède de la manière suivante.

La première opération consiste à regrouper les informations complémentaires et à éliminer les données considérées comme étant du bruit de fond (non directement lié à la mesure).

Puis l'aire sous le fibrogramme des fibres cassées (*Total Amount*, TAMT, Figure D-30) est calculée en sommant les relevés d'*amount* relatifs à des largeurs entières du système de mesure optique. Ainsi, ne sont sommées qu'une lecture sur cinq enregistrées pour obtenir TAMT. L'exemple de la Figure D-31 montre que seules sont considérées les lectures d'*amount* des pas 5, 9 et 13 dans l'opération de somme pour le calcul de TAMT. Dans ces figures, les ciseaux représentent le lieu où sont coupés les faisceaux de fibres sur le dispositif de coupe.

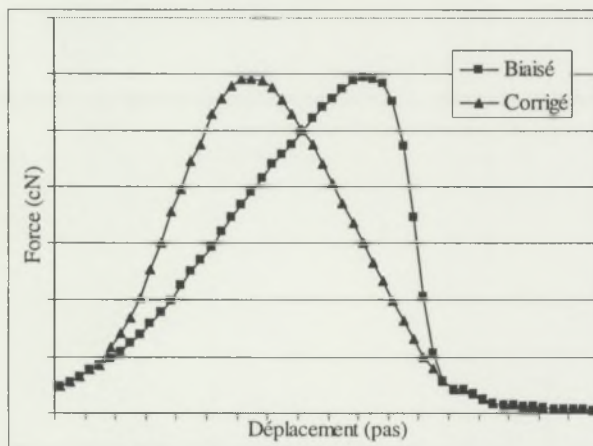


Figure D-29 : Illustration de l'effet de la correction de la flexion des bras de levier du système de traction.

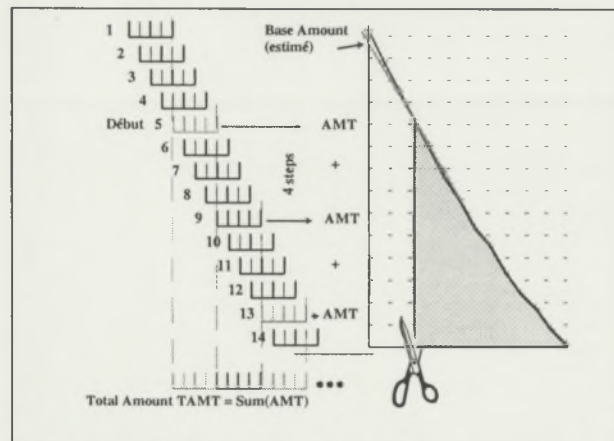


Figure D-31 : Illustration du calcul de TAMT à partir d'un fibrogramme sur fibres cassées.

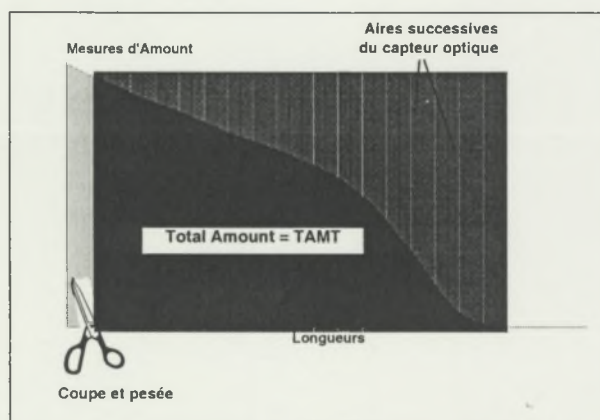


Figure D-30 : Représentation de TAMT sur le fibrogramme de fibres cassées.

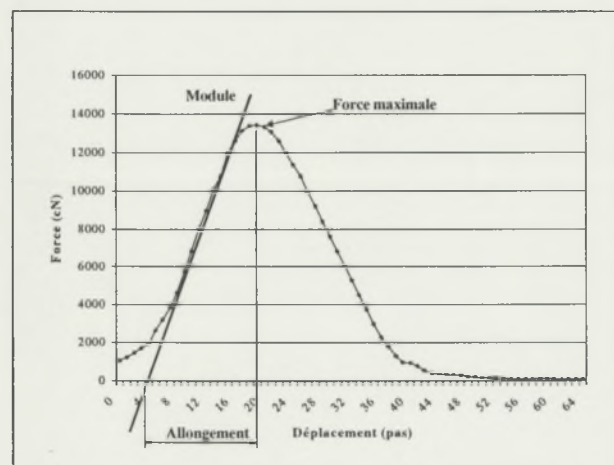


Figure D-32 : Représentation du mode de calcul de la force maximale, du module et de l'allongement.

Ensuite, il faut calculer l'*amount* exact, appelé *Break Amount* (BKAMT), où la casse a été effectuée. Ce calcul est réalisé en prenant en compte la SL 30 % du fibrogramme initial (placée à la face avant de la pince arrière) à laquelle est ajoutée une distance constante qui permet d'estimer la quantité de fibres qui était présente au milieu de la pince arrière. En effet, chaque lecture d'*amount* correspond à l'atténuation lumineuse occasionnée par les fibres sur toute la largeur de la lentille (0.1 pouce), et chaque donnée est enregistrée comme étant



relative au milieu de la lentille. Lors du transfert dans les pinces du HVI, c'est donc le milieu de la lentille qui est positionné en face avant de la pince arrière. Il est préférable d'évaluer la quantité de fibres dans la pince arrière, donc un peu plus loin (d'un  $\cong$ offset $\cong$ ), pour que l'information donnée par la lentille représente la quantité maintenue dans la pince arrière.

Sur le diagramme de force en fonction de l'allongement corrigé des flexions du système, on recherche ensuite les informations de force maximale (PFc), de module d'élasticité, et d'allongement correspondant à la force maximale enregistrée (Figure D-32).

Grâce à toutes les informations collectées, la ténacité RST04 est calculée selon la formule (Équation D-9) :

$$\text{Ténacité RST04} = \frac{\text{PFc}}{\text{BKAMT}} * \frac{\text{TAMT}}{\text{WGT}}$$

Équation D-9

L'Équation D-9 peut être transformée en l'équation suivante (Équation D-10) :

$$\text{Ténacité RST04} = \frac{\text{PFc}}{\frac{\text{BKAMT} * \text{WGT}}{\text{TAMT}}}$$

Équation D-10

Dans cette équation, le dénominateur est une proportion (régression linéaire sans terme constant) qui permet d'estimer la masse des fibres rompues en fonction d'estimations (BKAMT et TAMT) faites à partir des fibrogrammes enregistrés avant et après la casse du spécimen.

Enfin, toutes les informations utiles sont sauvegardées sous un autre fichier au format texte pour une utilisation ultérieure.

#### **D.6.4. Données recueillies et utilisées**

Les données suivantes sont utilisées pour les calculs ultérieurs :

- WGT : masse de fibres isolée par la casse du faisceau dans le test de dynamométrie d'une part, et par l'opération de coupe réalisée sur la boîte à couper d'autre part. WGT est exprimé en milligramme.
- Force maximale PFc : exprimée en cN.
- Allongement Elg : valeur d'allongement du faisceau de fibres déterminée par la distance entre l'intersection de la tangente représentant le module avec l'axe des allongements d'une part, et la valeur d'allongement correspondant au pic de force d'autre part. Exprimé en pour cent de la distance initiale entre les pinces de traction (3.175 mm).
- TAMT : aire sous le fibrogramme des fibres rompues.
- BKAMT : quantité de fibres qui ont été rompues, cette quantité étant déterminée en référence au centre de la pince arrière de traction.
- BAMT : première valeur lue près du peigne.
- GPT : ténacité exprimée en cN / tex.
- EstWGT : masse estimée des fibres rompues.
- Tex : finesse correspondant à EstWGT.

### **D.6.5. Discussion des biais possibles**

Les biais d'échantillonnage des fibres dans la masse des échantillons est comparable à ceux observés au HVI car le même échantillonneur est utilisé. Un certain nombre de publications relatent le fait que cet échantillonneur constitue un échantillon pondéré par la longueur (Le Magnen, 2000, Hertel and Lawson, 1964, Krowicki et al., 1996c).

Plusieurs modes de sélection des fibres pour le test de dynamométrie existent sur cet appareil grâce au logiciel spécial fourni aux membres du groupe RST (le Tableau D-7 donne les explications des graphes présentés dans le Tableau D-8). Ces deux tableaux résument toutes les situations d'échantillonnage déjà rencontrées.

Le cas 1 n'est a priori utilisé que pour les versions les plus anciennes des HVI, et en particulier des appareils fabriqués sous la marque *Motion Control Incorporated* qui ne sont plus commercialisés (Taylor, 1986).

Le cas 2 est appliqué au Stélomètre et Mantis par exemple ; les biais de cette méthode ont été décrits par ailleurs (§ D.1.5).

Le cas 3 est celui qui semblerait le plus attrayant pour limiter un biais d'échantillonnage. En effet quelle que soit la longueur du coton, les mêmes pourcentages de fibres parmi les échantillons de départ sont testés. C'est sans doute la raison pour laquelle cette méthode de choix a été retenue pour le travail sur RST. Dans le cadre du groupe de travail RST, la SL 30 % a été retenue.

Le cas 4 décrit le cas du HVI où des quantités de fibres sont sélectionnées en fonction de la longueur des cotons. Ce cas consiste en une amélioration du cas 1 qui avait pour but d'améliorer la reproductibilité des résultats HVI pour les cotons les plus longs égrenés au rouleau. Le marché des HVI s'étendant au monde entier, cette fonctionnalité a été probablement conservée pour tous les HVI installés.

En résumé, un effet de la masse de fibres prélevée est importante sur les biais d'échantillonnage. Dans les cas 1 et 4, l'échantillonnage est faiblement biaisé ; il l'est beaucoup plus dans le cas 2.

Par ailleurs, selon les paramétrages choisis au départ, la masse de fibres à rompre change, et la force nécessaire à la casse peut déformer en conséquence les bras de levier et fausser l'estimation des allongements, sauf si des corrections sont apportées aux résultats. C'est pourquoi des méthodes de correction des déflexions des bras de levier sont nécessaires au moins dans la méthode RST.

Au regard des différents modes d'application de contrainte appliquées au Stélomètre, au HVI et sur les appareils Pressley et de leur influence sur les résultats de ténacité, il semble important de considérer les vitesses d'application des contraintes. Différents auteurs ont travaillé sur ce sujet (Brown et al., 1990, Godbey et al., 1991, Taylor et al., 1990d).

Ces auteurs ont travaillé sur un HVI de modèle Motion Control où les fibres étaient préparées automatiquement par le système de manière à obtenir des échantillons de fibres parallèles de même nature que ceux du Stélomètre. Sur ces spécimens, des applications de contrainte ont été réalisées à des vitesses allant de 0.05 à 50 cm / mn. Une diminution de la ténacité a été notée jusqu'à obtenir un plateau avec une baisse de environ 0.42 cN/tex sur la gamme de vitesse testée. Dans les mêmes conditions, les valeurs d'allongement chutaient de 15 %.



**Tableau D-7 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au HVI ; illustrations des cas principaux, explications des différents cas.**

Cas	A Un peigne chargé d'un coton long Un peigne peu chargé d'un coton court	B Un peigne d'un coton long Un peigne d'un coton court Mêmes quantités de fibres	C Un peigne peu chargé d'un coton long Un peigne chargé d'un coton court
1	Dans chaque case de ce cas de figure, une quantité de fibres (Amount) est sélectionnée (fibrogramme brut de droite). On en déduit (sens de la grosse flèche) une distance par rapport au peigne à laquelle pincer les fibres des deux cotons, distances qui sont reportées sur le fibrogramme normalisé de gauche pour en déduire le pourcentage de fibres rompues.		
2	Dans chaque case de ce cas de figure, une longueur de fibres est sélectionnée (sur les deux graphes). On en déduit des pourcentages de fibres (à gauche) et des quantités de fibres (à droite) qui participent au test de dynamométrie (cas du Stéломètre et du Mantis).		
3	Dans chaque case de ce cas de figure, un pourcentage de fibres est sélectionné (il s'agit d'une SL, fibrogramme normalisé de gauche). On en déduit une distance par rapport au peigne à laquelle pincer les fibres des deux cotons, distances qui sont reportées sur le graphe du fibrogramme brut de droite pour en déduire les quantités de fibres rompues (cas du RST).		
4	Dans chaque case de ce cas de figure, une quantité de fibres (amount) est sélectionnée (fibrogramme brut de droite). En fonction de la longueur des fibres, on en déduit une distance par rapport au peigne à laquelle pincer les fibres des deux cotons, distances qui sont reportées sur le fibrogramme normalisé de gauche pour en déduire le pourcentage de fibres rompues. Dans cette configuration, si les cotons ont une longueur inférieure à 22.9 mm, un amount de 100 est choisi ; entre 22.9 et 30.5 mm, l'amount est choisi sur une pente entre les deux points décrits ici ; si le coton a une longueur supérieure à 30.5 mm, un amount de 250 est choisi (cas du HVI).		

En ce qui concerne l'écartement initial entre pinces de traction et ses effets sur les valeurs de ténacité, les recherches ont été menées dans les années 50 (Brown, 1950). Ces travaux ont débouché sur le choix de la valeur d'écartement encore utilisée de nos jours : 3.175 mm ou 1/8° de pouce.

Pour ce qui concerne la mesure des distributions des longueurs de fibres, il est nécessaire de vérifier si le capteur optique apporte des biais dans les estimations de quantités de fibres présentes aux divers endroits du faisceau. Pour le montrer, une série de transparents comportant différents types de formes géométriques (Figure D-33, taille réelle 100 x 63 mm) a été placée dans un peigne. Ces peignes sont alors introduits dans le capteur optique et des lectures d'*amount* sont enregistrées à chaque pas d'avancement du chariot porte-peigne avec un dispositif utilisant un pied à coulisse (Figure D-34).

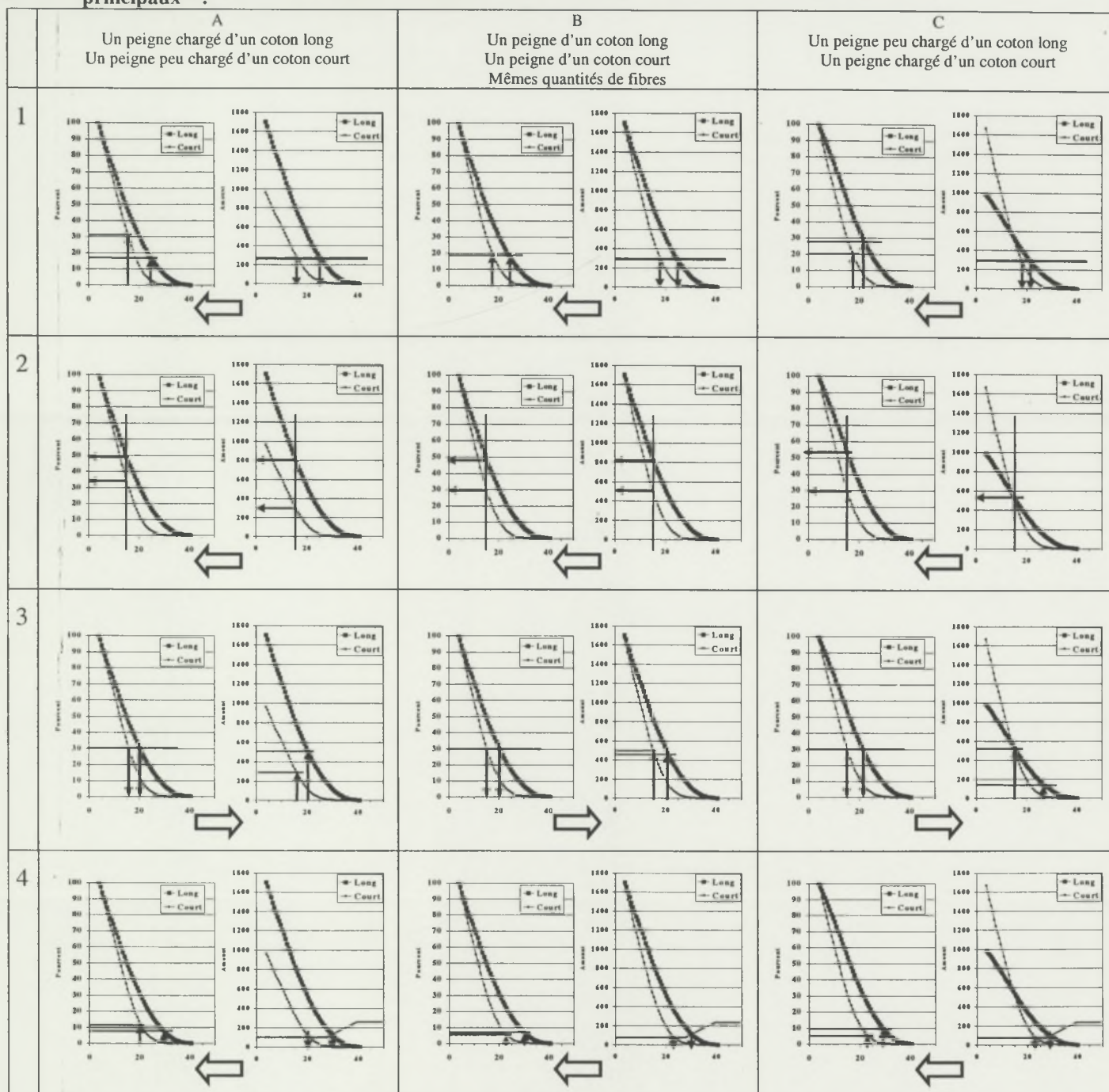
Avec ces formes géométriques plus larges que le capteur optique, le signal enregistré attendu devrait croître linéairement pendant tous les pas d'avancement où la forme entre dans le capteur optique, puis devrait se stabiliser à une valeur donnée.

La mesure (Figure D-35) ne semble pas complètement linéaire dans les parties croissante et décroissante du signal. D'autre part, elle n'est pas stable au niveau du plateau. Dans les deux cas, il est possible d'incriminer la qualité d'impression du transparent qui a permis ce relevé. Pour le vérifier, le signal a été modélisé grâce à une régression linéaire par zone, et les écarts aux modèles ont été calculés. S'il y avait eu un dégradé lors de l'impression de la forme, ce dégradé se serait traduit par un biais comparable dans toutes les zones de relevé, ce qui ne semble pas être le cas. D'autres essais menés en utilisant des standards métalliques ont conduit aux mêmes observations.

On peut donc retenir qu'un biais peut être introduit par le capteur optique lors des relevés des *amounts* qui servent à construire les fibrogrammes et dont les longueurs caractéristiques de longueur sont issues.

En conséquence, les deux paramètres TAMT et BKAMT qui sont directement dépendants des mesures optiques risquent d'être biaisés.

Comme expliqué au paragraphe HVI (§ D.4.2), le positionnement des pinces de traction est directement dépendant de la mesure des fibrogrammes. Connaissant le biais démontré ci-dessus, il est probable que le positionnement des pinces ne soit pas parfaitement réalisé. Ceci induit en conséquence des erreurs de lectures de force de rupture et fausse les mesures de ténacité. Cette conclusion est probablement valable pour les deux systèmes RST et HVI.

**Tableau D-8 : Modes de choix des quantités de fibres à rompre au RST ; illustrations des cas principaux<sup>11</sup>.**<sup>11</sup> Les données des fibrogrammes présentés ici sont issues de tests RST.



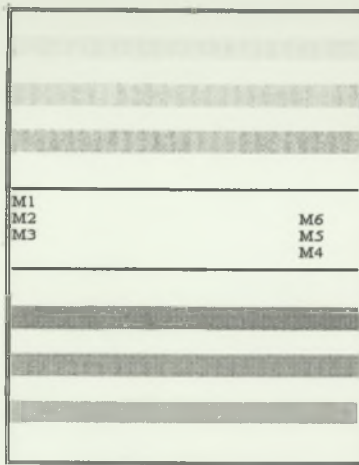


Figure D-33 : Exemple de forme géométrique pour les tests de linéarité de réponse du capteur optique.

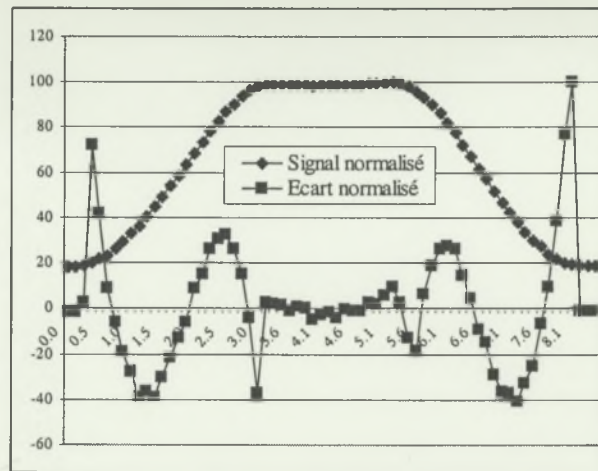


Figure D-35 : Signal enregistré et normalisé pour la forme M4 en fonction de sa position dans le capteur optique.

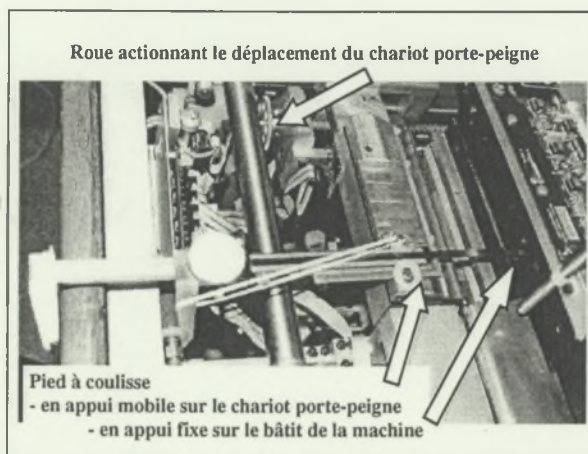


Figure D-34 : Dispositif permettant le contrôle d'avancement du chariot porte-peigne.

## D.7. Filature

Pour le coton cardé industriel, le procédé général de filature est le suivant : l'ouverture et le mélange du coton, son nettoyage par cardage, la transformation du voile en ruban puis l'affinage de ce ruban et sa mise sous forme de mèche, ensuite la filature proprement dite. En micro-filature, nous utilisons une démarche similaire adaptée en fonction des masses de coton traitées.

Le laboratoire de technologie cotonnière du Cirad-ca utilise le matériel de micro-filature (Platt) qui se compose d'une mini-carde, d'un banc d'étirage, d'un continu à filer à double étirage de 8 broches. Il est également équipé d'une filature à rotors (open-end) Suessen de six turbines (SUESSEN, 1978).

Une méthodologie de micro-filature spécifique permet la filature de quantités de coton allant de 50 g, qui est la masse normalement utilisée avec ce type de matériel, jusqu'à 500 g. Un ruban de longueur variable est utilisable pour le continu à filer à double étirage de type industriel et la filature à rotors.

Nous détaillons ici les différentes phases d'un essai en micro-filature pour des masses variables.

### D.7.1. Préparation des échantillons

Dans le cadre de ce travail de thèse, des échantillons représentatifs de 100 grammes ont été transformés en filés par les deux principes principaux de filature (à rotor et à anneaux et curseur). Les échantillons sont homogénéisés à la main afin de garantir une bonne alimentation de la première machine de transformation, une mini-carde transformée en ouvreuse de laboratoire.

### D.7.2. Description du matériel utilisé et de la méthode employée

La méthodologie utilisée a été décrite par Frydrych (Frydrych et al., 1998)

Parmi toutes les possibilités proposées dans l'utilisation de la micro-filature du Cirad, nous avons retenu celle qui concerne la transformation de environ 100 grammes de fibres (Figure D-36, Figure D-37). C'est en effet celle qui permet un nombre suffisant de mesures individuelles sur les deux types de filés à partir d'une masse de fibres de départ assez limitée dans notre cas.

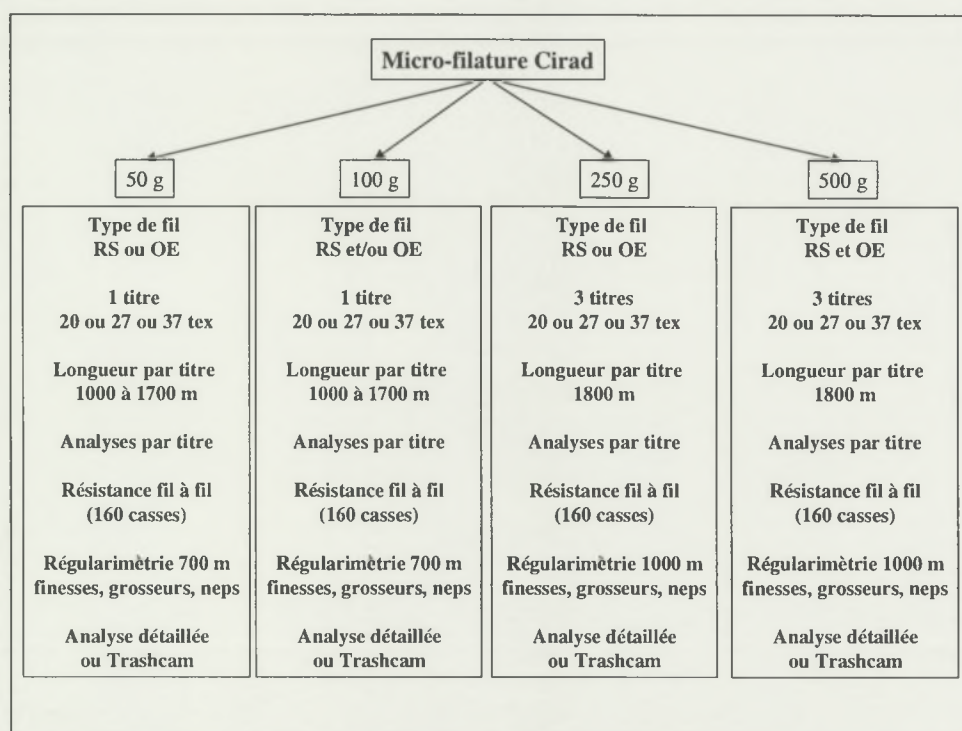


Figure D-36 : Méthodologies possibles pour la fabrication du fil en micro-filature au Cirad.

#### D.7.2.1. L'ouverture et le mélange de l'échantillon

Le coton est ouvert à la main, puis il est déposé sur le tapis d'alimentation de la mini-carde, pour former une masse d'environ 850 g/m<sup>2</sup>. Pour cette opération la mini-carde est transformée en ouvreuse en remplaçant les chapeaux à aiguilles recouvrant le grand tambour par un chapeau lisse reposant sur les flasques de celui-ci et placé à 2 mm de la surface de la garniture du grand tambour. Durant cette opération, le coton subit un premier démêlage et est débarrassé des impuretés les plus lourdes. Le voile obtenu en sortie est enroulé sur un cylindre, ce qui assure un premier mélange et l'obtention d'une masse surfacique relativement régulière permettant d'optimiser l'opération suivante de cardage.

En fonction des masses de matière à traiter, la phase de préparation se déroule comme indiqué (Figure D-36). Lorsque la masse de l'échantillon est de 100 g, il est récupéré sur un cylindre en PVC (polyvinyl chloride) de 1,57 m de circonférence et de 0,25 m de largeur.



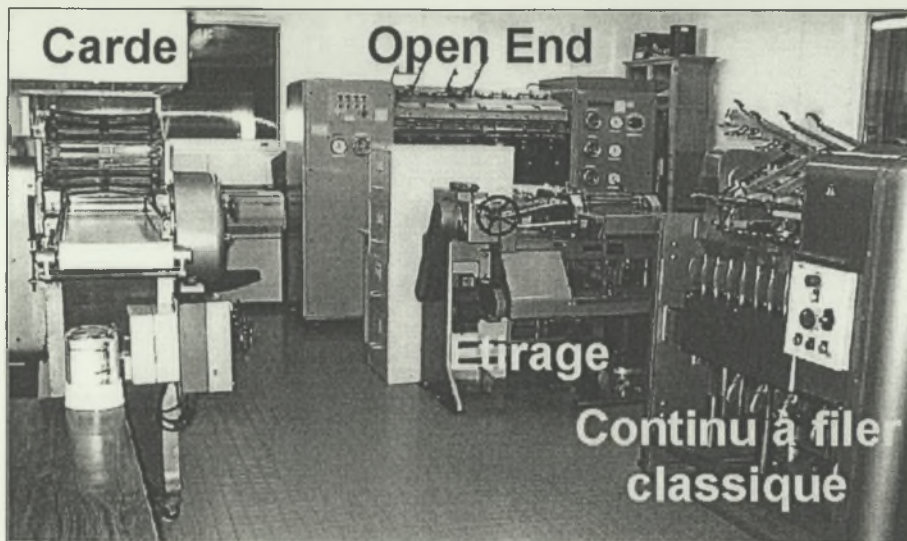


Figure D-37 : Micro filature utilisée au Cirad.

#### D.7.2.2. Le cardage

Le cardage assure le nettoyage, le démêlage, l'individualisation des fibres et élimine une partie des neps et fibres courtes. La nappe obtenue après la phase précédente d'ouvraison, d'une masse d'environ 280 g/m<sup>2</sup> est habituellement séparée du cylindre de réception puis divisée en deux dans le sens de la longueur. Ces deux parties sont alors superposées pour former un doublage de 2 et l'ensemble est présenté sur le tapis d'alimentation de la mini-carde. Pour cette opération, le grand tambour est recouvert des chapeaux à aiguilles. Lorsque la masse de l'échantillon est de 100 g, il est récupéré sur le cylindre en PVC. La mini-carde n'ayant pas de système automatique de nettoyage des aiguilles des chapeaux, celles-ci doivent être nettoyées avec une brosse recouverte d'une garniture de type débourreur, après chaque passage de 50 g de coton. De ce fait, pour un échantillon de 100 g, un nettoyage complémentaire intermédiaire est nécessaire.

#### D.7.2.3. La phase d'étirage

La phase d'étirage consiste à faire passer le flux fibreux (nappe ou ruban) entre des paires de cylindres en pression entraînés à des vitesses tangentielles qui sont différentes. On applique ainsi un étirage à la matière. Les fibres de coton ont des longueurs différentes et lors de l'étirage certaines d'entre elles ne sont contrôlées ni par le cylindre d'alimentation, ni par le cylindre délivreur durant leur passage dans la zone de laminage. Ces fibres, généralement courtes, sont dites flottantes et ne subissent pas l'opération d'étirage. Il s'ensuit donc la création de grosseurs plus ou moins importantes, qui sont générées par cette accumulation des fibres courtes désordonnées, et de finesses aux endroits où les fibres courtes ont disparu.

Ainsi l'étirage introduit des irrégularités à court terme sous la forme de vagues d'étirage dont l'amplitude est variable. Par un doublage, c'est-à-dire la juxtaposition de plusieurs rubans placés côte à côte, on réduit l'amplitude des vagues produites et on favorise une meilleure homogénéité du mélange du coton. Par ailleurs, l'étirage entraîne une parallélisation des fibres au sein du ruban. L'étirage s'exprime par un taux qui correspond au rapport des titres entrant (Te) sur les titres sortant (Ts) :  $E = T_e / T_s$ .

Le banc d'étirage a été adapté pour récupérer des longueurs de ruban plus importantes avec des masses de 100 grammes de fibres. Dans ce cas, il comprend :

- un train de 5 rouleaux, placé à l'arrière du banc d'étirage, qui oriente et amène les rubans situés dans des pots aux rouleaux d'étirage ;
- un système d'empotage qui est placé à 0,80 m sous les rouleaux d'appel de sortie du ruban. Il supporte un pot en PVC de 0,172 m de diamètre et 0,275 m de hauteur. Ce pot reçoit le



ruban de sortie d'étirage. Sa vitesse de rotation est déterminée de façon à donner une certaine torsion au ruban de sortie. Ce dispositif est également indépendant du banc d'étirage.

Au cours du premier passage, la nappe de sortie de carde se transforme en ruban. Les deux autres étirages correspondent à ceux effectués dans le cadre industriel. Le système d'étirage est de type 4/4 et réglable en écartement pour des cotons de longueur variant de 25 à 33 mm. Les écartements sont réglés suivants les passages d'étirage :

- 1er passage : entre les paires de rouleaux d'étirage avant, seconds puis troisièmes, les écartements sont égaux à la longueur UHML plus 10 mm ; entre les troisième et quatrième rouleaux arrières, UHML plus 20 mm ;
- 2ème passage et 3ème passage : le ruban en provenance du 1er passage comporte des fibres parallèles ce qui rend plus facile la seconde opération d'étirage car les fibres peuvent glisser plus facilement entre elles. De ce fait, les écartements entre les paires de rouleaux sont réduits. Les écartements sont ajustés à la longueur UHML plus 5 mm ; entre les rouleaux, UHML plus 15 mm.

L'étirage dans les zones 2/3 et 3/4 est fixe. L'ajustement du taux d'étirage final s'effectue en réglant la vitesse de la paire de cylindre avant. L'étirage total est compris entre 7 et 11,5.

Dans la configuration retenue, le ruban est récupéré dans des pots. Un compteur placé sur les rouleaux d'appel permet de mesurer la longueur.

#### D.7.2.4. La filature

La filature consiste, après l'affinage du ruban provenant du troisième étirage, à communiquer une cohésion à ce flux de fibres par une torsion qui lui donnera la résistance, la souplesse et l'élasticité souhaitées. Puis, un renvidage du fil obtenu est effectué sur un support.

Nous utilisons les deux principaux types de filature c'est-à-dire à anneaux/curseurs et Open-end à rotors.

##### Le continu à filer à anneaux/curseurs, à double étirage de Shirley - Platt

Le continu à filer est composé d'un système à deux zones d'étirage permettant d'obtenir des étirages très importants et, de ce fait, il élimine le banc à broche en filature industrielle. Il permet de filer directement les rubans du dernier étirage.

L'étirage arrière permet d'obtenir un étirage de 5,54. Il reste fixe quel que soit le titre du ruban entrant. Il délivre un mince ruban au système d'étirage avant qui est affiné entre 11 et 18 fois de sorte que l'étirage total peut atteindre 100. Ensuite, on confère une torsion au flux fibreux, dont la valeur est fonction de la longueur UHML des fibres, du titre du fil à réaliser. Pour obtenir cette torsion, il faut entraîner en rotation l'une des extrémités de ce flux fibreux. Dans le cas du continu à filer, il s'agit de l'extrémité renvidée. Le fil est renvidé sur des tubes en carton ou plastique.

Les caractéristiques de l'appareil se définissent comme suit :

- Le nombre de broches utilisables est égal à huit mais quatre seulement ont été utilisées ici ; elles reçoivent des tubes pouvant contenir 500 m de fil pour une production de fil en 25 tex dans les études menées ici.
- La vitesse des broches est de 9600 tours/min.
- Trois diamètres d'anneaux sont utilisés ; les anneaux reçoivent des curseurs de caractéristiques déterminées en fonction du titre de fil à réaliser.
- Le ruban en provenance des pots de troisième passage d'étirage sont placés à l'arrière du continu sur un chariot prévu à cet effet ; chaque pot alimente une broche.



- La torsion appliquée au fil dépend des caractéristiques de la fibre et du titre du fil souhaité.

#### La filature à rotors de laboratoire Suessen

La particularité de la filature à rotors se situe au stade de la torsion qui est obtenue en faisant tourner l'extrémité du fil en formation et non la masse de fibre déjà formée (Aubry et al., 1996). Pour entraîner en rotation l'une des extrémités du flux fibreux, il est indispensable d'interrompre ce flux fibreux. C'est pourquoi, on parle de procédé à fibres libérées (filature open-end), c'est-à-dire qu'à un moment précis, une fibre est libre de se mouvoir par rapport à une autre sans l'entraîner.

Le processus d'individualisation des fibres et de formation du fil peut être décomposé en plusieurs phases (Figure D-38) :

- zone d'alimentation du ruban ;
- zone d'individualisation : un briseur garni de dents détache les fibres du ruban ;
- zone transport des fibres libres portées à la vitesse tangentielle de la garniture, sur laquelle elles adhèrent plus ou moins ;
- zone d'enlèvement des fibres qui sont détachées à l'entrée du canal de transport et dirigées vers la turbine à une vitesse supérieure à celle du briseur ;
- la formation du fil est réalisée à l'intérieur de la turbine où les fibres sont projetées sur la paroi de la turbine et par effet centrifuge se placent au fond de la gorge. Après un certain nombre de tours de la turbine, les fibres forment une bandelette. Leur nombre correspond au titre du fil désiré.

Les caractéristiques d'utilisation sont les suivantes :

- le nombre maximum de turbines utilisées est de 6 ; pour les recherches, nous n'avons utilisé qu'une broche ;
- la vitesse des rotors est de 50000 tours /min ;
- étirage : de 80 à 140 ;
- le diamètre du rotor (44 mm) est le même pour les titres de 20 tex à 37 tex ; il est cependant à noter que pour des titres de 20 tex, un diamètre inférieur serait plus adapté ; des fils de 27 tex ont été produits ici ;
- le coefficient de torsion  $\alpha = 140$  est appliqué pour les titres de 20 à 37 tex.

L'ensemble des essais de filature (préparation, étirage, filature) sont réalisés dans des conditions ambiantes standards soit  $50\% \pm 5$  d'humidité relative et  $23^{\circ}\text{C} \pm 1$  de température.

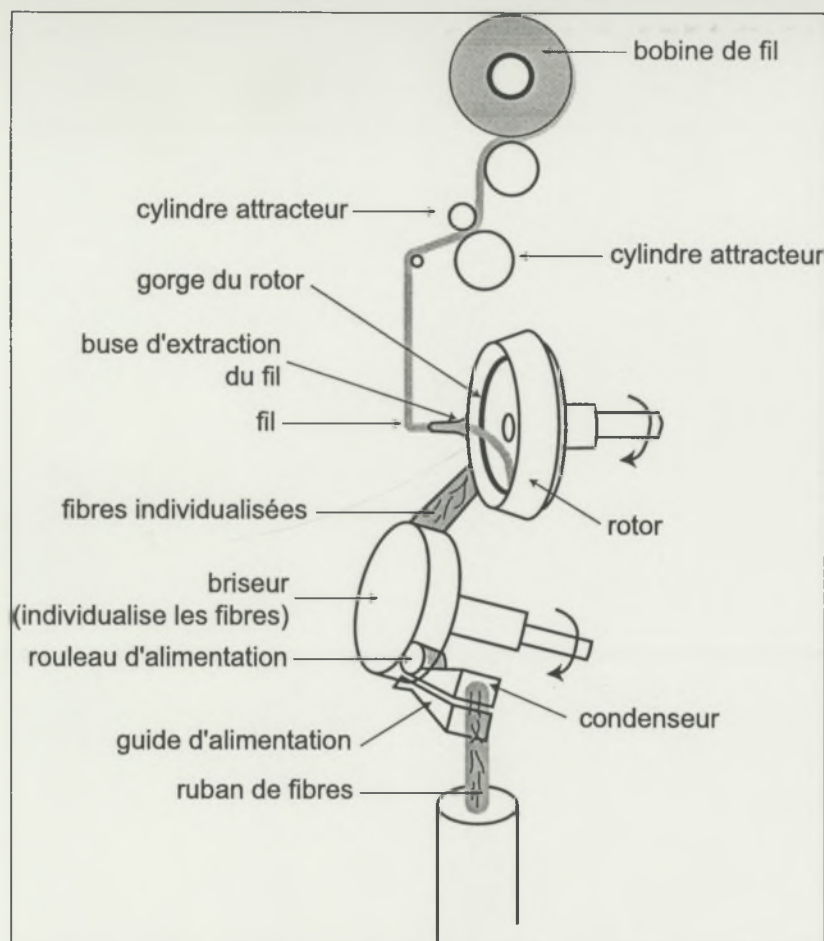


Figure D-38 : Formation de la torsion du fil en filature open-end

### D.7.3. Réalisation des tests et mesures

En résumé, après un premier passage d'ouvreuse de laboratoire qui consiste en une mini-carde dont les chapeaux ont été remplacés par des chapeaux lisses, la fibre est cardée et récupérée sur un tambour de grand diamètre.

Cette nappe est alimentée pour un premier passage d'étirage qui produit alors un ruban accumulé dans 5 pots. Ceux-ci alimentent en doublage de 5 le deuxième passage d'étirage qui produit alors 10 pots. Ceux-ci alimentent en doublage de 10 le troisième passage d'étirage qui produit alors 4 pots pour alimenter 4 broches du continu à filer à anneaux et curseur (25tex) et un pot pour alimenter une broche de la machine à turbine (27 tex).

### D.7.4. Données recueillies et utilisées

Parmi toutes les données qu'il est possible de collecter, nous nous sommes intéressés à celles concernant les tests de dynamométrie et de régularimétrie décrites ci-dessous.

#### D.7.4.1. Masse linéique du fil

La grosseur des textiles, que ce soit sous forme de fibre, de ruban provenant de la filature, ou de fil, s'exprime par deux caractéristiques, sa masse et sa longueur. Selon le rapport entre celles-ci, le résultat est appelé masse linéique du fil dont l'unité est le tex (AFNOR, 1980b).

#### D.7.4.2. Propriétés dynamométriques

Les caractéristiques dynamométriques mesurées sont :

- la force de rupture (Figure D-39) ;



- la force à la rupture ;
- allongement de rupture exprimé en % ;
- allongement à la rupture.

On détermine la ténacité du fil par le rapport de la force de rupture et de la masse linéique du fil avant l'essai.

Les caractéristiques dynamométriques sont mesurées à l'aide de dynamomètres fil à fil suivant la norme NFG07-003 (AFNOR, 1980b). Un appareil à vitesse constante de déplacement de la pince de traction a été utilisé pour tester la dynamométrie des filés produits (Tensorapid de Zellweger Uster) à partir d'éprouvette de 50 cm de longueur initiale (Figure D-40).

La force de rupture et l'allongement de rupture d'un fil sont déterminés à la suite d'un essai de traction sur fil individuel maintenu entre deux pinces.

Les essais de ténacité du fil s'effectuent dans des conditions de  $65\% \pm 2\%$  d'humidité relative (HR) et une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (AFNOR, 1980a). Il est important de satisfaire à ces conditions car l'humidité ambiante a une forte influence sur la force maximale (Zellweger-Uster, 1985). Par exemple, celle-ci augmente d'environ 5% lorsque l'HR du laboratoire passe à 75% ou diminue de 5% lorsqu'elle se situe à 55%. Il en est de même en ce qui concerne l'allongement. Celui-ci augmente quand l'HR croît et diminue lorsqu'elle décroît.

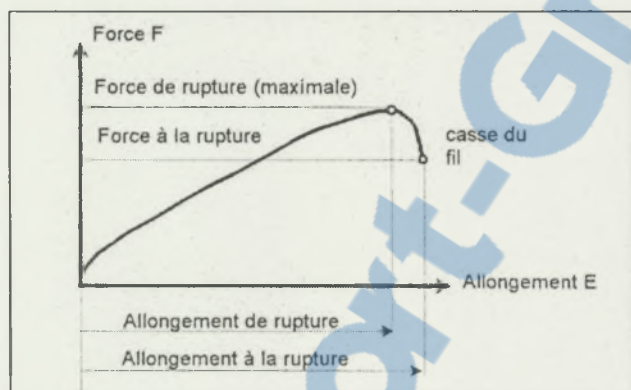


Figure D-39 : Diagramme général de force/allongement et définition associées.

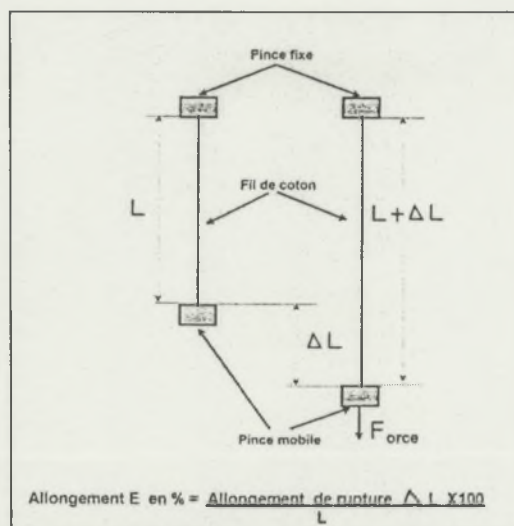


Figure D-40: Principe du dynamomètre fil à fil.

Le nombre de casses par échantillon de coton est déterminé en fonction de la précision souhaitée. Au laboratoire, nous effectuons en général 40 casses sur 4 bobines soit un total de 160 casses par coton. Deux séries de tests ont été réalisées : une à une vitesse de 20 secondes par casse, l'autre à 0.4 seconde par casse.

#### D.7.4.3. Régularité du fil

Selon les qualités de coton, l'état des machines de filage, les fils produits comportent des irrégularités (finesses, grosseurs) plus ou moins importantes, un nombre de défauts ou neps variable.

L'analyse de ces imperfections s'effectue avec une mesure indirecte. On opère le plus souvent avec un condensateur dans lequel passe le fil. Il mesure les variations de masse en les transformant en signal électrique proportionnel qui est ensuite amplifié.

Nous avons utilisé le l'Uster tester 3 (UT3 ; 3ème génération) de Zellweger Uster. A l'aide de dispositifs particuliers, ces appareils permettent de déterminer les défauts qui sont imputables

aux appareils de filature et ceux qui sont dus aux cotons testés. Selon le type de défaut, l'effet sur le produit final sera plus ou moins négatif (Frydrych, 1989).

### Le diagramme de masse linéique

Il est visuel et permet de détecter des écarts importants, des tendances et des irrégularités caractéristiques. Cependant, il est insuffisant et il doit être complété par le coefficient de variation CV% sachant que les variations de masse dans un fil homogène sont distribuées de façon à peu près normale. Le CV% est égal à l'écart-type multiplié par 100 divisé par la moyenne.

### Imperfections du fil

Les fils fabriqués à partir de fibres discontinues présentent les trois classes d'imperfections suivantes : les finesses, les grosseurs et les neps ou boutons. Toutes ces imperfections sont dues soit à la matière première (coton immature, nombreuses fibres courtes, etc), ou montrent une dégradation du procédé de fabrication (garniture de cardé défectueuse, etc.) et leur évaluation permet de tirer des conclusions.

### Grosseurs et finesses du fil

Dans un fil, les grosseurs et les finesses sont préjudiciables lorsqu'elles risquent de provoquer des défauts qu'enregistre l'œil. Des réglages, pour leur comptage, correspondant à des étages de sensibilité en rapport avec la section du fil, ont été déterminés par les constructeurs de matériel en relation avec le produit fini. L'appareil distingue les points gros et points fins s'ils sont plus longs que 4 mm et qu'ils respectent certaines sensibilités (Tableau D-9, Tableau D-10, Zellweger-Uster, 1984). La longueur des grosseurs et des finesses correspond environ à la longueur moyenne des fibres. Le Tableau D-9 récapitule les significations des réglages des étages de sensibilité sur l'appareil.

**Tableau D-9 Signification des réglages des étages de sensibilité des finesses sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application.**

Type de défaut	Réglage	Définition du défaut	Description du défaut
Finesse	- 60%	La section de la finesse ne représente plus que 40% ou moins de la section moyenne du fil	Finesse extrême ; se reconnaît sur un 'sériplane' d'une distance de plusieurs mètres
	- 50%	La section de la finesse ne représente plus que 50% ou moins de la section moyenne du fil	Finesse moyenne ; se reconnaît sur un 'sériplane' d'une distance de 1 m environ
	- 40%	La section de la finesse ne représente plus que 60% ou moins de la section moyenne du fil	Finesse de moindre importance ; ne se reconnaît sur un 'sériplane' qu'à proximité imminente
	- 30%	La section de la finesse ne représente plus que 70% ou moins de la section moyenne du fil	Finesse de très petite importance ; ne se reconnaît guère sur un 'sériplane'

**Tableau D-10 : Signification des réglages des étages de sensibilité des grosseurs sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application (Zellweger-Uster, 1984).**

Type de défaut	Réglage	Définition du défaut	Description du défaut
Grosueur	+ 100%	La section de la grosseur représente 200% ou plus de la section moyenne du fil	Grosueur importante
	+ 70%	La section de la grosseur représente 170% ou plus de la section moyenne du fil	Grosueur moyenne ; se reconnaît sur un 'sériplane' d'une distance de plus d'un 1 m
	+ 50%	La section de la grosseur représente 150% ou plus de la section moyenne du fil	Grosueur de moindre importance ; se reconnaît bien sur un 'sériplane' à proximité imminente
	+ 35%	La section de la grosseur représente 135% ou plus de la section moyenne du fil	Grosueur de très faible importance ; ne se reconnaît sur un 'sériplane' que moyennant une étude très détaillée

Au laboratoire, nous utilisons pour les essais les étages de sensibilité grisés dans les tableaux précédents.



Neps ou boutons

Le processus de préparation n'élimine pas complètement les neps puisqu'ils sont présents dans le voile de sortie de carde, dans le ruban et enfin à l'intérieur du fil ou à sa périphérie.

Les régularimètres comptabilisent globalement les imperfections. Pour les neps, plusieurs étages de sensibilité existent (Tableau D-11). Pour les fils obtenus en filature à anneaux, nous utilisons l'étage 200% ; pour les fils open-end, l'étage se situe à 280%.

**Tableau D-11 : Signification des réglages des étages de sensibilité correspondant aux neps, sur le régularimètre de Zellweger-Uster ; extrait du manuel d'application.**

Type de défaut	Réglage	Définition du défaut	Description du défaut
Neps Ou Bouton	+ 400%	La section du neps représente 500% ou plus de la section moyenne du fil	Neps important
	+280%	La section de la grosseur représente 380% ou plus de la section moyenne du fil	Neps moyen ; se reconnaît sur un 'sériplane' d'une distance de plus d'un 1 m
	+ 200%	La section de la grosseur représente 300% ou plus de la section moyenne du fil	Petit neps ; se reconnaît bien sur un 'sériplane' à proximité imminente
	+ 140%	La section de la grosseur représente 240% ou plus de la section moyenne du fil	Très petit neps ; ne se reconnaît sur un 'sériplane' que moyennant une étude très détaillée

Les réglages utilisés sont + 200% dans le cas des filés obtenus par principe à anneau et curseur, et + 280 % par le principe de la filature Open-end à rotor.

D.7.4.4. Pilosité du fil

La définition du degré de pilosité du fil H correspond à la longueur en centimètres de toutes les fibres qui ressortent du corps du fil sur une longueur testée de 1 cm; ces fibres sont accrochées par une ou deux extrémités au corps du fil. Par exemple, un degré de pilosité de 5 équivaut à une longueur totale de 5 cm de fibres protubérantes sur une longueur de 1 cm de fil. Ce terme, équivalent à un rapport de deux longueurs, est sans unité.

Quel est l'intérêt de connaître le degré de pilosité ? Depuis de nombreuses années, au plan industriel, on s'intéresse au facteur pilosité. Des études réalisées par Zellweger Uster indiquent que des différences de pilosité peuvent créer :

- des rayures dans les tissus lorsqu'elles sont variables d'un fil à un autre ;
- une augmentation du boulochage proportionnel au degré de pilosité ;
- des influences sur le fonctionnement des matériels à tisser par exemple;
- une certaine pilosité peut également être recherchée selon l'effet voulu du produit fini espéré.

Il est reconnu que la pilosité est influencée par l'état de certains matériels sur lesquels évoluent les rubans, les fils (curseurs en mauvais état, et.).

D.7.4.5. Torsion du fil

La torsion du fil s'exprime par le nombre moyen de tours / m. Elle est caractérisée par le sens soit 'S' ou 'Z'. Ce sens est déterminé lorsque le fil, tenu en position verticale, les spires formées par les fibres sont inclinées dans la même direction que le trait oblique de la lettre.

Elle se détermine en principe en détordant, jusqu'à torsion nulle, une longueur de fil déterminée (norme NF, G 07-078). Si l'on désire déterminer la torsion d'un fil comportant des fibres non parallèles, comme un fil produit par la filature open-end, dans ce cas, il sera préférable d'utiliser la méthode de détorsion-retorsion avec double contre-épreuve (norme NF, G 07-079).

### D.7.5. Discussion sur les biais de mesure

Les méthodes de filature et de caractérisation du fil peuvent être considérées comme optimisées par la prise en compte de la longueur des fibres et de leur finesse dans la plupart des réglages de machines où cela est requis. Cette optimisation est renforcée par la très bonne qualité d'échantillonnage des fibres destinées aux diverses analyses afin d'établir des relations entre qualité des fibres et celles du fil (Krifa et al., 2001). Cette assertion peut être vérifiée par l'étude de la relation liant la qualité des fils et celle des fibres : dans toutes les études réalisées au laboratoire quand une gamme large de qualité de cotons est utilisée et en l'absence de contaminant tels que débris de coque et collage des fibres, seule la ténacité des fibres apparaît comme facteur explicatif de la force de rupture des fils dans les régressions liant les critères technologiques de la fibre à ceux du fil (les autres critères technologiques des fibres ne sont pas inclus dans les modèles car ils n'apportent pas d'amélioration significative des modèles proposés, Frydrych et al., 1993, Krifa et al., 2001, Frydrych et al., 1994, Frydrych et al., 1995, Figure D-41). Ces régressions obtiennent généralement de très bons coefficients d'explication ( $R^2$ ) de la variance de la force de casse des fil observées (généralement très supérieurs à 0.90).

Cette observation ne semble pas courante dans d'autres études où les paramètres tels que l'indice micronaire, la finesse, certaines longueurs caractéristiques, les critères de colorimétrie peuvent apparaître dans les modèles de prévisions de la qualité des filés (Aggarwal, 1989a; Aggarwal, 1989b, Ramey et al., 1977, Sasser et al., 1991, Usda Ars, 1975). Dans les modèles proposés, si la seule ténacité des fibres est entrée comme variable explicative, les coefficients d'explication sont inférieurs à ceux proposés par notre laboratoire (de l'ordre de 0.5 à 0.85). La littérature ne précise pas la raison de ces écarts ; seules les hypothèses posées ci-dessus (échantillonnage, prise en compte des caractéristiques de fibres dans les réglages) peuvent apporter une explication.

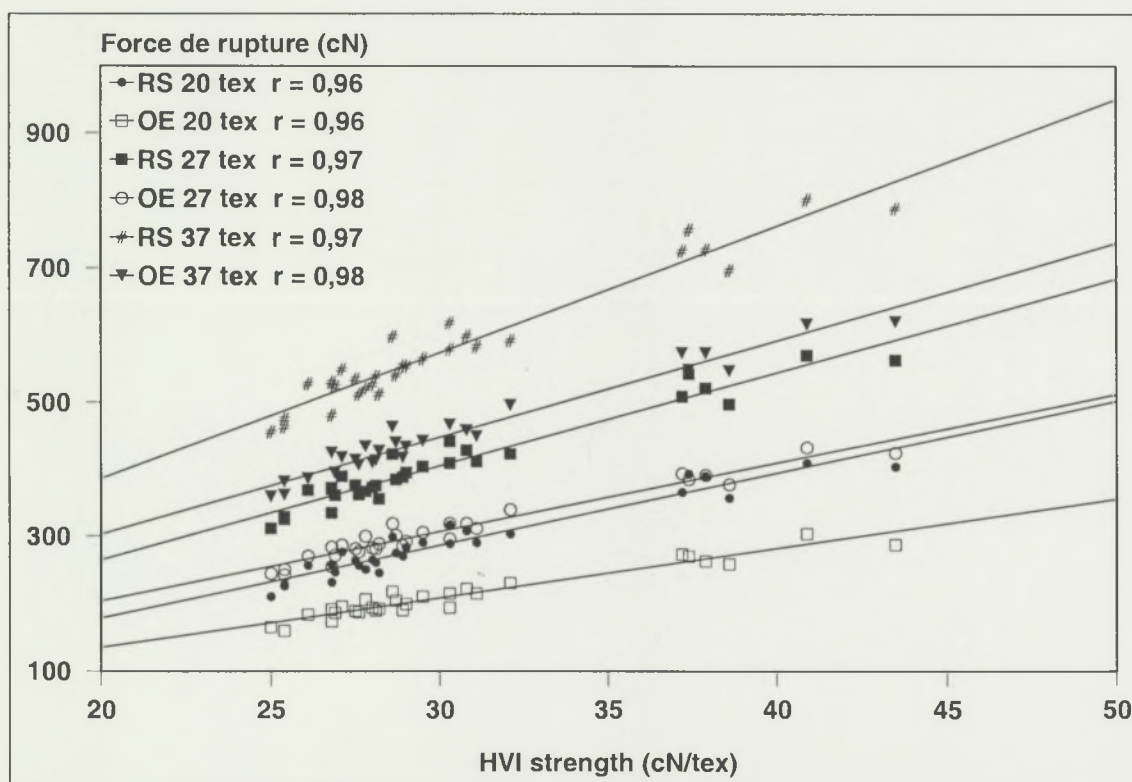


Figure D-41 : Résultats des prévisions de la force de rupture des filés de différents titres en fonction de la ténacité des fibres mesurée par HVI.

Dans ces conditions optimisées de filature, les méthodes proposées de mesure de la ténacité des fibres n'apporteront probablement pas d'amélioration notable des coefficients d'explication des équations liant la qualité des filés en fonction de celle des fibres. En



conséquence, on attend des expérimentations en cours sur la mesure de la résistance de rupture qu'elles puissent atteindre un même niveau de précision dans les modèles de prévisions des résultats de filature.

Comme l'ont montré Krifa et Tamime (Krifa, 2001, Tamime, 2000, Frydrych, 1996), suite à des développements méthodologiques et matériels de Frydrych, Giner et Gurlot (Frydrych and Gutknecht, 1989, Giner et al., 1998, Gurlot et al., 1997c), on connaît dorénavant l'ampleur de la perturbation des contaminations de la fibre sur la qualité des fils et leur modèles de prévision. Des études indépendantes ont également montré les mêmes effets (Mangialardi, 1992, Bargerion et al., 1988, Bachelier, 1992...). En conséquence, nous avons tenté de sélectionner des cotons exempts de ces impuretés, et des analyses spécifiques ont été réalisées pour nous en assurer (Trashcam, H2SD).

## D.8. Conclusion

Les différentes méthodes et les matériels décrits dans le chapitre D ci-dessus sont utilisés de manière complémentaire et/ou indépendante pour vérifier la qualité des résultats des mesures réalisées sur HVI.

Certaines méthodes apportent des éléments d'information sur le type de fibres utilisées pour tenter de bien comprendre l'effet de leurs caractéristiques sur la sensibilité, la reproductibilité, la précision, etc. des mesures HVI.

Les appareils classiques de caractérisation des fibres utilisés ici tentent de confronter les résultats aux références historiques pour confirmer, s'il y a lieu, une possible dérive dans l'établissement des valeurs de référence des cotons standards.

Les autres méthodes, telles que la micro-filature, sont utilisées pour vérifier que les solutions proposées apportent ou non des améliorations dans l'explication de la qualité du fil, ce qui correspond à l'objectif principal d'une caractérisation des fibres.

Notons que la description des biais de mesure sur les appareils décrits ci-dessus devrait permettre d'éviter des conclusions erronées quant aux biais possibles de mesure par les systèmes HVI. Grâce aux expérimentations du chapitre E, nous allons tenter de vérifier que les mesures de la ténacité des fibres par systèmes HVI ne sont pas biaisées par les autres propriétés des fibres de coton. Pour y parvenir les biais de mesure déjà connus devront être pris en compte.

On peut déjà noter à ce niveau que l'estimation de la finesse des fibres rompues est estimée à partir de fragments de fibres de longueurs différentes selon les appareils : 15 millimètres pour le Stélomètre, 2.54 mm qui correspondent à une partie de la largeur de la pince arrière de traction) pour le HVI et le RST. Ce choix peut affecter la précision avec laquelle la masse des fibres rompues est estimée, toutes choses étant égales par ailleurs.

## ***CHAPITRE E***

### ***EFFET DES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES FIBRES SUR LA MESURE DE LEUR RESISTANCE DE RUPTURE PAR HVI***



## Chapitre E : Effet des caractéristiques technologiques des fibres sur la mesure de leur résistance de rupture par HVI

L'objectif général de ce chapitre est de décrire les réactions du HVI quand des fibres de cotons sont testées alors que ces fibres ont vu certaines de leurs caractéristiques modifiées ou sélectionnées.

La sélection ou la modification des caractéristiques de fibres est naturellement vérifiée grâce aux outils décrits dans le chapitre précédent. Ces échantillons sélectionnés sont alors testés sur les principaux appareils de mesure de la ténacité, et en particulier sur HVI, pour étudier les possibles biais de mesures desdites méthodes.

Comme il n'est pas possible de vérifier la réaction du HVI et des autres dynamomètres à toutes les caractéristiques des fibres en une seule fois, plusieurs expérimentations sont réalisées pour tester leur comportement quand des fibres choisies pour leurs principales propriétés sont sélectionnées.

Les prochains paragraphes étudient donc l'effet des propriétés suivantes après une courte introduction :

- caractéristiques de surface et micronaire ;
- couleur du coton ;
- maturité et finesse ;
- distribution des longueurs de fibres en deux expérimentations ;
- la quantité de fibres testée dans les peignes et dans le dynamomètre ;
- température et humidité relative du laboratoire d'analyse.

### E.1. Introduction

La longueur des fibres de coton est un des plus importants critères mesurés. Son influence sur les réglages des machines de production et sur la formation du fil est démontrée par beaucoup d'auteurs (Frydrych and Gurlot, 1993, Gutknecht, 1984, Lord, 1961). Plusieurs développements techniques ont été réalisés depuis le début de la caractérisation de la longueur pour améliorer les résultats et leur précision. Comme nous l'avons vu, Hertel a créé un capteur pour mesurer la 'masse optique' à différentes positions d'échantillons en faisceau où les fibres sont sélectionnées au hasard (Hertel and Lawson, 1964). A partir de ces données, diverses méthodes de calcul permettent d'isoler des informations pratiques, telles que les '*span lengths*' ou les '*mean lengths*', en recherche, en commercialisation et dans l'industrie.

Puisque ce capteur optique permet une mesure rapide des distributions de longueur, il a été intégré dans les chaînes HVI proposées par Zellweger Uster. Les HVI permettent le classement rapide à la qualité de productions entières pour les caractéristiques les plus importantes.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'effet de certaines propriétés des fibres de coton sur la caractérisation de la ténacité. On sait que le choix du nombre de fibres à tester par dynamométrie et la masse de fibres rompues est déterminée à partir du fibrogramme et du micronaire. Plusieurs auteurs ont démontré que les facteurs suivants affectent les lectures optiques et leur précision :

- les méthodes d'échantillonnage (Chanselme et al., 1996, Gourlot et al., 1996, Gourlot and Hequet, 1994) ;
- le système de prélèvement des fibres affecte la manière dont les fibres sont représentées dans la mesure (Hertel and Lawson, 1964, Chanselme et al., 1996, Gourlot et al., 1996) ;
- le conditionnement de l'échantillon et son histoire en terme de son contenu en eau ;
- la forme en faisceau pointu des fibres et la forme en pointe des fibres (Hertel and Lawson, 1964) ;
- le mode de préparation des faisceaux de fibres (brossage, peignage) sur la frisure des fibres (Hertel, 1964 ; Taylor, 1990b)
- le complexe maturité / finesse – exprimé en terme de micronaire – a un effet important sur les mesures. C'est la raison pour laquelle le micronaire est utilisé pour expliquer la relation entre lecture optique et masse de fibre (Duckett et al., 1991, Duckett et al., 1993, Taylor, 1991). Une fonction du micronaire est utilisée dans les HVI pour calculer la ténacité. (Taylor, 1986).

Tous ces points semblent affecter le comportement de la lumière en présence des fibres avant de parvenir au capteur optique du HVI. En fait, de la diffraction, de la diffusion, de la transmission et/ou de l'absorption semble induite(s) par le nombre, la forme longitudinale et transversale et/ou l'aspect extérieur des fibres de coton dans le capteur (Figure E-1). Ces caractéristiques sont dépendantes des conditions de production.

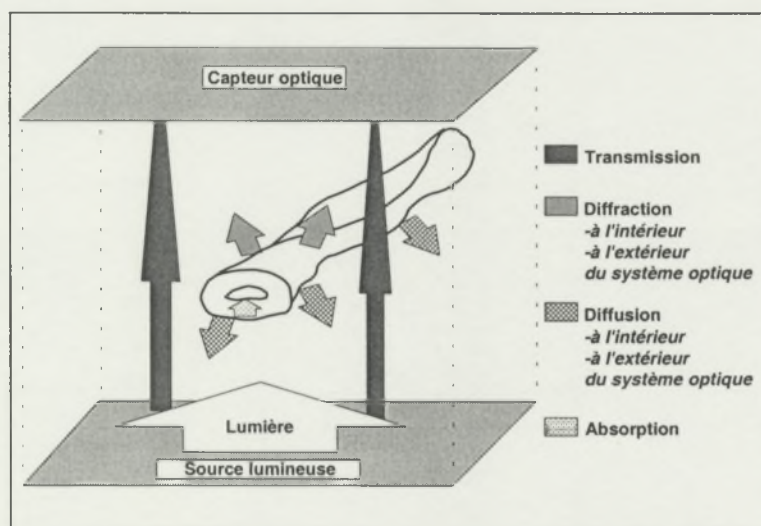


Figure E-1 : Répartition de la lumière dans le capteur optique (schéma original Gourlot 12/97).

Nous nous attachons à vérifier si des biais de mesure de ténacité peuvent être liés à la méthode optique de détermination du nombre de fibres rompues. En premier lieu, nous étudions l'effet de la forme ou l'aspect extérieur(e) des fibres grâce à des expérimentations spécifiques chargées d'en modifier les caractéristiques.

Ensuite, il est connu que les capteurs optiques sont sensibles à la couleur des objets qu'ils analysent. En conséquence, nous allons vérifier si la couleur des cotons peut affecter l'estimation des masses de fibres rompues dans les limites usuelles de l'industrie cotonnière.



Puis, les paramètres importants de maturité et finesse de fibres seront étudiés pour voir dans quelle mesure ils influencent les résultats de ténacité.

Enfin, la conception mécanique du dynamomètre HVI requiert que les fibres soient assez longues pour participer au test. Il est nécessaire de vérifier qu'une trop faible longueur des fibres n'affecte pas les mesures car elles ne seraient alors pas positionnées correctement dans les pinces de traction du dynamomètre.

## **E.2. Effet des irrégularités de surface des fibres sur la mesure optique de la masse optique de faisceaux de fibres**

Cette étude a été présentée lors des *Cotton Beltwide Conferences* en janvier 1998 (Gourlot et al., 1998b).

### **E.2.1. Introduction**

Comme nous l'avons vu plus tôt, la distribution des longueurs de fibres est mesurée grâce à un capteur optique. Un certain nombre de propriétés affectent ce type de mesure, comme le type d'illuminant, sa puissance et sa longueur d'onde, la rugosité de surface des éléments mesurés et leur couleur principalement.

Comme les fibres sont vrillées, frisées, etc., il est probable que leur aspect extérieur puisse altérer les mesures optiques réalisées par le HVI.

Cette étude tente d'analyser l'effet de ces irrégularités de surface des fibres sur les mesures optiques.

### **E.2.2. Matériels et méthodes**

Trois expérimentations ont été conduites pour vérifier la sensibilité du capteur optique à la forme extérieure des fibres. Pour cela, des modifications de l'aspect extérieur des fibres et/ou des échantillons ont été provoquées soit par des transformations par voie chimique soit par mélange de fibres ayant des propriétés particulières.

Pour ce qui concerne les modifications chimiques (débouillissage et gonflement à la soude), il faut poser l'hypothèse qu'elles n'ont pas modifié de manière significative les propriétés des fibres telles que la finesse et la maturité (quoique le gonflement à la soude puisse probablement être proportionnel à la quantité de cellulose dans la paroi). On suppose que ces traitements ont surtout modifié les formes extérieures des fibres comme les convolutions, les changements de sens de 'torsion', etc. Dans ces conditions, tout se passe comme si de la lumière atteint deux éléments de même qualité excepté pour leur rugosité de surface. Dans ce cas, la quantité de lumière réfléchi ne sera pas identique pour les éléments. De la même manière, la quantité et la qualité de la lumière parvenant au capteur à proximité des deux fibres brute et gonflée (Figure E-2) ne seront pas équivalentes alors qu'initialement, conformément à l'hypothèse ci-dessus, seule la forme extérieure de la fibre gonflée a été modifiée par gonflage à la soude par exemple.

#### **E.2.2.1. Expérimentation n°1**

Sept cotons (22636, 27742, 27992, 28020, 28463, 28671, 28764) ont été testés dans le projet RST. Quelques-uns des résultats sont reportés ici (Tableau E-1). Le dernier coton (28764) est un coton Pima utilisé comme standard de référence ICCS connu sous le nom E5.

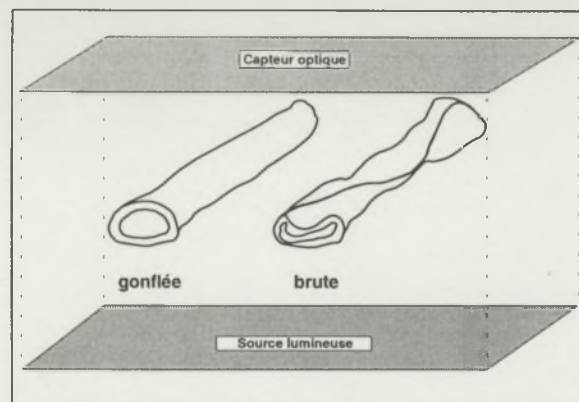


Figure E-2 : Exemple de deux fibres dans le capteur optique.

E.2.2.2. Expérimentation n°2

Deux cotons (28020 et 28671) de micronaires différents (Tableau E-1) ont été mélangés en différentes proportions (échantillon 1 : 20% de 28020 + 80% d 28671, échantillon 2 : 40%+60% ; échantillon 3 : 60%+40%, échantillon 4 : 80%+20% respectivement de chaque coton, plus les cotons 100% de chacun des constituants) pour évaluer l'effet des distributions individuelles de maturité / finesse sur les lectures optiques. On sait en effet que l'aspect extérieur des fibres est assez dépendant de ces deux critères et peut modifier en conséquence les lectures optiques. Chaque coton a d'abord été ouvert et mélangé avec un mélangeur de fibres. Puis, les échantillons ont été constitués en mélangeant différents pourcentages en masse des deux constituants. Trois passages de mélangeur de fibres (type *blender* à dents souples) ont été réalisés pour s'assurer de l'homogénéité des échantillons testés (doublage de plus de 600).

Tableau E-1 : Description des échantillons.

Coton	IM	UHML mm	UI %	HVIS <sub>t</sub> cN/tex	Stélo cN/tex	Origine RST <sup>(1)</sup>
22636	3.4			22.0	17.5	RST
27742	5.4	27.7	82.9	30.8	20.4	RST
27992	3.8	23.8	78.7	22.1	15.7	RST
28020	2.8	27.2	79.9	27.8	19.0	RST
28463	4.4	29.4	83.9	32.0	21.3	RST
28671	4.8	26.4	81.8	26.5	18.0	RST
A		26.4				Tex <sup>(3)</sup>
B		26.9				Mis <sup>(4)</sup>
C		27.2				Mis
D		28.4				Mis
E		28.7				Cal <sup>(2)</sup>
F		29.0				Cal
G		27.2				Tex
28764 <sup>(5)</sup>		SL 2.5%=32.0			28.0	RST

<sup>(1)</sup> : Cotons de routine pour les laboratoires participants au projet. <sup>(2)</sup> : Californie. <sup>(3)</sup> : Texas. <sup>(4)</sup> : Mississippi.

<sup>(5)</sup> : International Calibration Cotton Standard E5 (Pima).

E.2.2.3. Expérimentation n°3

Dix cotons (27992, 28020, 28671, A, B,C, D, E, F, G) ayant différents niveaux de micronaire (Tableau E-1) ont été analysés comme fibres brutes, puis après un débouillissage et après un gonflement à la soude sur des échantillons indépendants selon la méthode décrite ci-après.

Le débouillissage est réalisé en une solution (40 ml/gramme de fibres) comportant 1% d'hydroxyde de sodium (NaOH), 0.25% de silicate de sodium (Na<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), 0.25% de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) et 0.25% d'agent mouillant (Triton X100). La solution et les fibres ont été portées à ébullition pendant 30 minutes avant un rinçage, un séchage puis un conditionnement dans une ambiance à 45% d'humidité relative et 21°C.

Le gonflement à la soude est réalisé dans une solution (20ml/g de fibres) comportant 18 % d'hydroxyde de sodium (comme recommandé dans la norme ASTM, 1982). Les fibres sont restées 10 minutes dans cette solution avant un rinçage, un séchage et un conditionnement



dans une ambiance à 45% d'humidité relative et 21°C. Un échantillon indépendant a été prélevé pour chaque coton afin de mesurer le taux de cires avec la méthode au Soxhlet (ASTM, 1996b utilisant du trichloréthylène 1,1,1).

Les cotons codés par des références à 5 chiffres (les mêmes que pour la première expérimentation) sont les cotons utilisés par les laboratoires membres du groupe RST. Ceux référencés par des lettres ont été choisis pour représenter une vaste gamme de micronaire et de taux de cires. Cela a été possible en choisissant des cotons de différentes zones de production aux USA.

Le débouillissage permet de quantifier l'effet des cires sur le comportement de la lumière dans le capteur. Il permet également de pouvoir comparer les résultats des étapes suivantes de l'analyse. Le gonflement des fibres à la soude est bien connu pour rendre les fibres plus cylindriques qu'à l'état naturel en fonction de leur degré de maturité, induisant ainsi des modifications dans la forme extérieure des fibres. On suppose que la finesse linéique des fibres n'est pas changée par cette opération et que la masse volumique diminue quand les fibres sont gonflées. Cela devrait induire une lecture supérieure de micronaire sur les fibres gonflées et des modifications de lectures optiques. Cela indiquerait une interaction entre les caractéristiques de surface et le volume des fibres et les lectures optiques.

Pour toutes ces expérimentations, les échantillons ont été testés sur RST dans des conditions d'ambiance fixées à 45% d'humidité relative et 21°C.

Deux répétitions de 15 peignes chacune ont été analysées par échantillons. Les relations entre les 'surfaces optiques' TAMT des fibrogrammes obtenus après la casse et les masses de fibres correspondantes sont analysées ici en fonction des différents traitements des échantillons.

### E.2.3. Résultats et discussion

Les relations entre les différentes surfaces optiques TAMT et les masses correspondantes (WGT) pour les sept cotons sont curvilinéaires, alors qu'on pouvait s'attendre à ce qu'elles soient linéaires. Des équations polynomiales du deuxième degré (Équation E-1) approchent correctement les données expérimentales.

$$\text{WGT} = a \cdot \text{TAMT}^2 + b \cdot \text{TAMT} + c$$

Équation E-1

Comme le capteur doit afficher 0 quand il n'y a pas de fibres, la constante c est forcée à 0. Le polynôme est donc modifié (Équation E-2). Par ailleurs, dans tout cet ouvrage, il a été vérifié que les constantes c de ces relations n'étaient pas significativement différentes de 0.

$$\text{WGT} = a \cdot \text{TAMT}^2 + b \cdot \text{TAMT}$$

Équation E-2

Les coefficients a, b et R<sup>2</sup> de cette équation sont reportés pour tous les échantillons des trois expérimentations (Tableau E-2).

**Tableau E-2 : Coefficients a, b et R<sup>2</sup> des équations  $\text{WGT}(\text{mg}) = a \cdot \text{TAMT}^2 + b \cdot \text{TAMT}$  pour tous les cotons testés.**

Expérimentation.	Coton	Traitement	a	b	R <sup>2</sup>
1	22636	Brut	2.23E-06	0.005800	0.993
1	27742	Brut	2.65E-06	0.007862	0.998
1	27992	Brut	3.50E-06	0.006083	0.996
1	28020	Brut	2.20E-06	0.005527	0.997
1	28463	Brut	1.94E-06	0.006928	0.998
1	28671	Brut	2.77E-06	0.007295	0.995
1	28764	Brut	2.06E-06	0.005237	0.995
2	1*	20%/80%	2.78E-06	0.006044	0.998

Expérimentation.	Coton	Traitement	a	b	R <sup>2</sup>
2	2*	40%/60%	2.68E-06	0.005722	0.998
2	3*	60%/40%	2.75E-06	0.005196	0.998
2	4*	80%/20%	2.38E-06	0.005390	0.997
2	28020	Brut	2.20E-06	0.005527	0.997
2	28671	Brut	2.77E-06	0.007295	0.995
3	27992	Brut	3.57E-06	0.005456	0.996
3	27992	Débouilli	5.54E-06	0.004334	0.989
3	27992	Gonflé	6.68E-06	0.005651	0.996
3	28020	Brut	2.27E-06	0.005239	0.996
3	28020	Débouilli	3.83E-06	0.004344	0.994
3	28020	Gonflé	3.77E-06	0.006235	0.996
3	28671	Brut	2.69E-06	0.006697	0.996
3	28671	Débouilli	5.48E-06	0.005371	0.993
3	28671	Gonflé	5.88E-06	0.006865	0.995
3	A	Brut	2.86E-06	0.006588	0.997
3	A	Débouilli	5.55E-06	0.005325	0.988
3	A	Gonflé	6.09E-06	0.006894	0.983
3	B	Brut	2.45E-06	0.006508	0.996
3	B	Débouilli	3.94E-06	0.006294	0.989
3	B	Gonflé	4.72E-06	0.007686	0.996
3	C	Brut	2.18E-06	0.005100	0.996
3	C	Débouilli	3.42E-06	0.004833	0.995
3	C	Gonflé	4.03E-06	0.006273	0.996
3	D	Brut	2.12E-06	0.006186	0.998
3	D	Débouilli	3.93E-06	0.005085	0.994
3	D	Gonflé	3.59E-06	0.006952	0.997
3	E	Brut	2.59E-06	0.005756	0.996
3	E	Débouilli	4.10E-06	0.006253	0.992
3	E	Gonflé	4.23E-06	0.008298	0.992
3	F	Brut	2.00E-06	0.006060	0.993
3	F	Débouilli	3.89E-06	0.005319	0.998
3	F	Gonflé	3.77E-06	0.006848	0.996
3	G	Brut	2.28E-06	0.005496	0.997
3	G	Débouilli	4.91E-06	0.004233	0.994
3	G	Gonflé	3.96E-06	0.007305	0.994

\* : Le premier pourcentage concerne le coton 28020, IM=2.83, le second pourcentage concerne le coton 28671, IM=4.84.

### E.2.3.1. Expérimentation n°1

Les polynômes du second degré expliquent bien les résultats observés, comme le montre la relation obtenue (Figure E-3 pour deux des sept cotons).

On peut remarquer que les courbes des différents cotons étudiés sont ordonnées par micronaire croissant (Figure E-4), excepté pour le coton 28764 positionné plus bas dans le graphe.

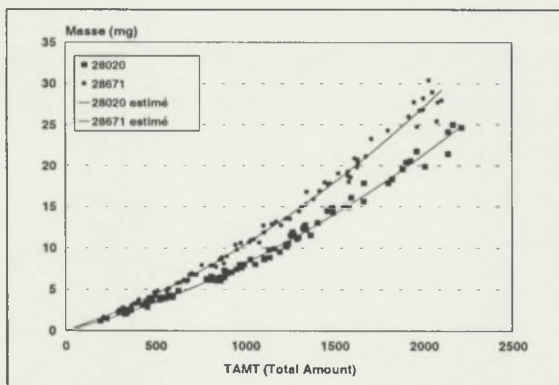


Figure E-3 : Deux exemples de relation entre la masse et TAMT sur une large gamme de TAMT.

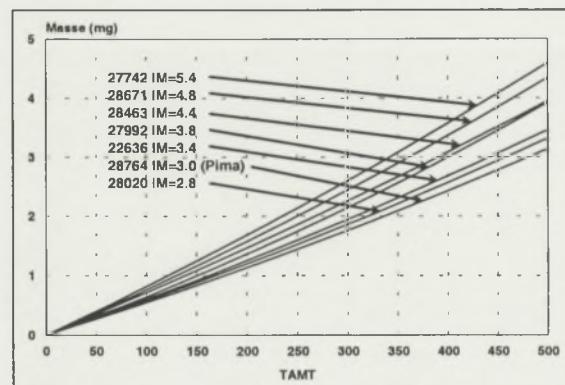


Figure E-4 : Courbes estimées des relations masse en fonction de TAMT pour 7 cotons testés sur RST.

Cette tendance peut être expliquée de la manière suivante : pour 1 mg de fibres (de 3.175 mm de long), le nombre de fibres décroît quand le micronaire augmente. En supposant que les fibres sont tubulaires, de section ronde, leur diamètre augmente avec le micronaire. Si les fibres de ce milligramme sont parallèles dans le capteur optique, la largeur qu'elles occupent dans le capteur (nombre de fibres \* diamètre) décroît quand le micronaire augmente. Ainsi,



plus de lumière peut atteindre le capteur optique, et les *amounts* diminuent quand le micronaire augmente (Tableau E-3). Cela affecte la mesure de la distribution des longueurs de fibres.

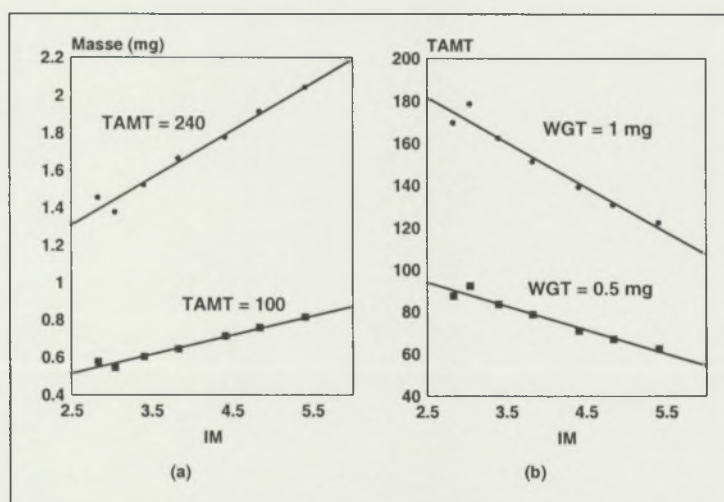
**Tableau E-3 : Explication de la réponse du capteur optique en fonction du micronaire pour 1 mg de fibres.**

Valeurs de micronaire IM						
2.8	3.0	3.4	3.8	4.4	4.8	5.4
Nombre N de fibres de 1/8° de pouce de long dans 1 mg						
2826	2631	2352	2088	1814	1652	1478
Diamètre D en microns (Lord, 1961, pages 104 et 153)						
8.9	9.2	10.0	10.7	11.9	12.6	13.7
N * D = Largeur en microns de lentille couverte par 1 mg de fibres d'1/8 de pouce de long						
25090	24330	23497	22463	21525	20802	20260
Quantité de lumière atteignant le capteur						
---	--	-	+	++	+++	++++*
Lectures d'amount						
++++	+++	++	+	-	--	---**

\* : Quantités croissantes de lumière atteignant le capteur quand IM croît.

\*\* : Lectures décroissantes d'amount quand IM croît.

Les cotons de micronaire différents se comportent de manière différenciée dans le capteur optique. Pour l'illustrer, on peut calculer les masses correspondantes à certaines valeurs de micronaire et de TAMT (Figure E-5 -(a)) à partir des équations citées plus haut. On peut également calculer les TAMT pour différents micronaires et différentes masses de fibres (Figure E-5 -(b)).



**Figure E-5 : Relations entre la masse et TAMT en fonction des valeurs de micronaire.**

Une bonne prévision des masses de fibres en mg peut être atteinte pour chacun des TAMT<sub>i</sub> en fonction du micronaire (Équation E-3). Deux exemples (tirés de la Figure E-5a) sont donnés quand TAMT est égal à 100 et à 240 (Équation E-4 et Équation E-5).

$$\text{WGT}_{\text{TAMT}_i} = d_i \cdot \text{IM} + e_i$$

Équation E-3

$$\text{WGT}_{100} = 0.1026 \cdot \text{IM} + 0.257, R^2 = 0.976$$

Équation E-4

$$\text{WGT}_{240} = 0.2520 \cdot \text{IM} + 0.677, R^2 = 0.974$$

Équation E-5

Le jeu complet de relations entre la masse des fibres et TAMT en fonction des micronaires (Équation E-6) peut être décrit à partir des équations polynomiales citées dans le Tableau E-2 pour les 7 cotons incluant le Pima 28764 en remplaçant les variables  $d_i$  et  $e_i$  de l'Équation E-3 par des fonctions de TAMT.

$$\begin{aligned} \text{WGT} \approx & [(1.73\text{E}-7 \cdot \text{TAMT}^2) + (0.00101 \cdot \text{TAMT})] \cdot \text{IM} \\ & + [(1.79\text{E}-6 \cdot \text{TAMT}^2) + (0.00239 \cdot \text{TAMT})] \\ & R^2 = 0.997 \end{aligned}$$

Équation E-6

Cette équation est valide pour des TAMT inférieurs à 300. Les plus grandes différences entre les résultats de cette équation et celle des prévisions des équations du Tableau E-2 sont observées pour le Pima 28764 si TAMT est supérieur à 300 (les différences peuvent excéder 0.1 mg). La même équation a été testée sur le jeu indépendant de cotons de la deuxième expérimentation et a montré un niveau d'explication de  $R^2 = 0.9954$  entre les résultats observés et calculés.

#### E.2.3.2. Expérimentation n°2

Par le mélange des deux cotons en différents pourcentages, on modifie les distributions de finesse et maturité des fibres dans les échantillons. Le micronaire du mélange peut être calculé en utilisant une moyenne harmonique (Équation E-7, Dagnélie, 1975)

$$\frac{1}{H_{IM}} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{w_i}{IM_i} \right)}$$

Équation E-7

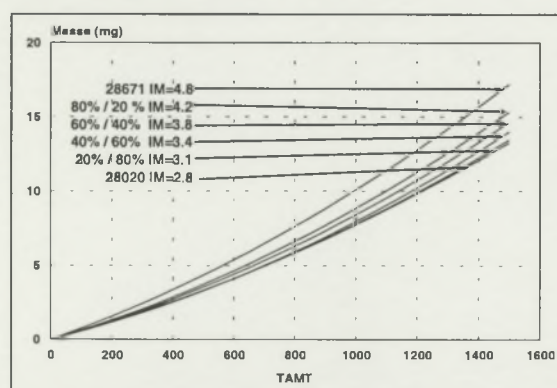
Les résultats de ces calculs sont reportés dans la colonne 'calculé' (Tableau E-4). On peut noter une bonne relation entre les valeurs de micronaire calculées et observées. Ceci nous permet de conclure que les proportions de chacun des cotons dans les échantillons analysés sont conformes à ceux qui sont attendus. Il est donc probable que peu de fibres ont été perdues pendant les opérations d'homogénéisation. En conséquence, les pourcentages de chacun des deux cotons dans chaque peigne peuvent être assimilés à ceux prévus dans les échantillons. Les relations des masses relevées en fonction des TAMT peuvent donc être représentatives et étudiés.



**Tableau E-4 : Pourcentages de cires, valeurs de IM mesurées et calculées en fonction de la préparation des échantillons.**

Coton	Autre information	Cires (%)	Préparation des échantillons			IM Calculé
			Brut	Débouilli	Gonflé	
			IM	IM	IM	
27992		0.608	3.8	3.6	4.8	
28020		0.844	2.8	2.7	3.9	
28671		0.440	4.8	4.5	5.7	
1	20%/80%			4.1		4.2
2	40%/60%			3.6		3.8
3	60%/40%			3.3		3.4
4	80%/20%			3.0		3.1
A		0.439	4.6	4.5	5.5	
B		0.415	4.8	4.6	6.0	
C		0.660	3.1	3.0	4.7	
D		0.480	4.0	4.0	5.4	
E		0.644	3.2	3.0	4.5	
F		0.544	4.2	4.0	5.2	
G		0.680	3.1	3.1	5.1	

Comme précédemment, les relations entre masse et TAMT sont curvilinéaires (Figure E-6, les coefficients des polynômes sont reportés dans le Tableau E-2).

**Figure E-6 : Relations entre masses et TAMT pour des échantillons issus de mélanges en différents pourcentages de deux cotons de micronaires différents.**

Comme dans la première expérimentation, les courbes représentant les différents échantillons sont rangées par ordre de micronaire croissant. Le capteur optique est donc sensible au complexe de maturité finesse représenté ici sous la forme du micronaire. Les résultats des deux premières expérimentations sont donc confirmées. Cependant, nous ne pouvons pas savoir si ces résultats sont plus liés à la maturité qu'à la finesse des fibres. Une expérimentation particulière tente de répondre à cette observation (§ E.4).

#### E.2.3.3. Expérimentation n°3

Les relations entre masse et TAMT pour les échantillons bruts, débouillis et gonflés sont curvilinéaires (Figure E-7, les coefficients des polynômes sont reportés dans le Tableau E-2). La tendance générale de classement des courbes par ordre de micronaire est respectée, excepté pour certains cotons (E par exemple). Après un débouillissage et un gonflement à la soude, il est très difficile de parfaitement mélanger les fibres. Il subsiste des emmêlements de fibres qui donnent une importance accrue aux conditions d'échantillonnage pour les mesures de micronaire et de longueur. Cela peut expliquer quelques inversions de classement des courbes dans ce graphe.

Pour chaque coton, les courbes obtenues sur coton brut, débouilli et gonflé peuvent être comparées. Trois exemples sont donnés ici pour les cotons 28020, 28671 et D (Figure E-8 à Figure E-10).

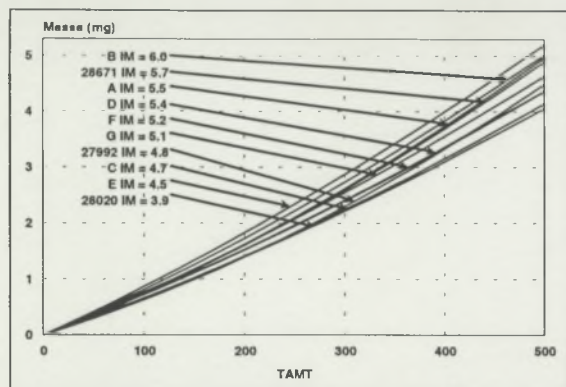


Figure E-7 : Relation entre masses et TMT pour 10 cotons gonflés à la soude.

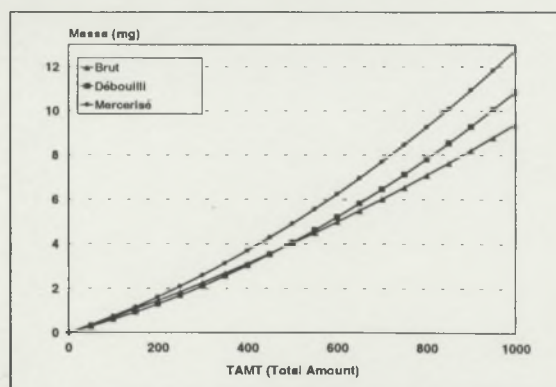


Figure E-9 : Relation entre masses et TMT pour le coton 28671, analysé sur des fibres brutes, débouillies, et gonflées à la soude.

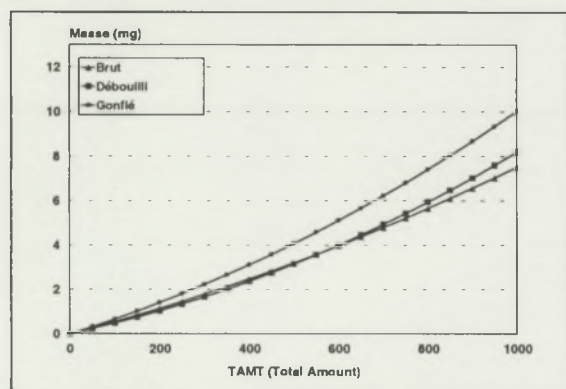


Figure E-8 : Relation entre masses et TMT pour le coton 28020, analysé sur des fibres brutes, débouillies et gonflées à la soude.

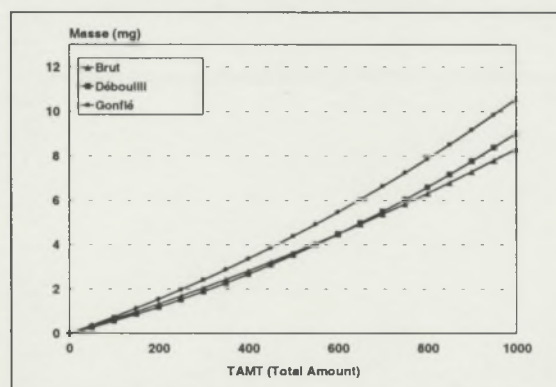


Figure E-10 : Relation entre masses et TMT pour le coton D, analysé sur des fibres brutes, débouillies et gonflées à la soude.

Dans ces figures, les courbes pour les cotons bruts et débouillis sont groupées, alors que, pour un TMT donné, les échantillons gonflés sont supérieurs en masse.

En théorie, le débouillissage fait généralement chuter le micronaire des fibres et le gonflement à la soude le fait croître (Tableau E-4). Les taux de cires exprimés en relation avec les masses de matière sèche des échantillons, de leur mode de préparation et des micronaires sont discutés ci-après.

Dans les expérimentations n°1 et 2, nous avons vu que quand le micronaire décroît, les courbes s'approchent de l'axe des TMT. La comparaison des courbes sur échantillons bruts et débouillis montre la tendance inverse où le micronaire diminue légèrement et que les courbes s'éloignent de l'axe TMT. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- La mesure de micronaire est une mesure d'une porosité à l'air des fibres. Ainsi, en fonction du mode de préparation des fibres, les résultats peuvent être différents. Les échantillons débouillis sont difficiles à ouvrir en comparaison avec les échantillons bruts, et l'air traverse les échantillons de manière différente. Cela induirait une valeur supérieure de micronaire, modifiant l'ordre des courbes, ce qui est contraire à l'attente.
- Le débouillissage retire les cires des fibres. Cela induit une baisse normale de masse linéique traduite par une modification du micronaire.
- Le débouillissage a été réalisé à température d'ébullition. Cela peut affecter le type et le nombre d'irrégularités de surface des fibres, en retirant une partie de la frisure des fibres, affecter les lectures optiques et changer les valeurs de micronaire.



Les traitements chimiques, qui ont retiré des taux de cires croissants quand le micronaire diminuait, ont induit des changements de couleur des fibres (Tableau E-5). Les lectures optiques peuvent être affectées par la couleur des cotons en interaction avec la longueur d'onde de l'émission lumineuse (sujet développé dans le paragraphe E.3).

**Tableau E-5 : Résultats de colorimétrie en fonction de la préparation des échantillons.**

Echantillon Coton	Brut		Débouilli		Gonflé	
	Rd%	+b	Rd%	+b	Rd%	+b
27992	75.0	13.9	79.0	7.0	76.4	9.2
28020	76.7	12.9	78.3	7.2	75.8	10.0
28671	77.0	11.4	78.9	6.3	79.3	7.0
A	66.9	7.5	73.2	6.3	69.9	9.2
B	65.6	9.5	72.3	7.1	71.9	7.8
C	74.9	9.1	78.1	5.9	75.1	8.7
D	74.1	10.0	77.5	6.6	76.1	8.0
E	77.0	11.5	78.7	6.2	76.3	7.9
F	76.1	10.9	76.0	6.7	75.2	8.3
G	76.9	11.1	78.6	6.8	74.7	9.9

Dans ces expérimentations, une mesure directe de la masse par coupe et pesée de fibres a pu être réalisée sur des échantillons dont les résultats peuvent être classés en fonction du micronaire.

La comparaison des réactions obtenues sur les échantillons de fibres brutes et gonflées montre une augmentation du micronaire, comme cela est attendu dans la méthode de détermination de la maturité et de la finesse des fibres (ASTM, 1982). Les courbes sont positionnées à leur place dans l'ordre de micronaires croissants. La perméabilité à l'air ou à la lumière des échantillons a été modifiée par les traitements qu'ils ont subis.

#### **E.2.4. Conclusion**

La ténacité est le rapport d'une force de rupture sur une masse linéique de fibres rompues. Dans les HVI actuels, cette dernière est estimée en fonction d'une valeur de micronaire et d'une fonction utilisant des lectures optiques d'un 'nombre' de fibres rompues.

Dans ces expérimentations, nous avons démontré que les relations entre les lectures optiques et la masse de fibres sont curvilinéaires et dépendantes du micronaire. On observe des différences importantes de masses selon le mode de calcul et un effet important sur les valeurs de ténacité. Dans un exemple, une force a été enregistrée à 8287 cN. L'estimation linéaire de la masse de fibres rompues était de 1.328 mg, alors que l'estimation curvilinéaire était de 1.077 mg (Figure E-11). Dans ces conditions, la ténacité passe de 19.8 à 24.4 cN/tex avec un changement de l'ordre de 23 %.

Une autre version du logiciel, appelé RSTXX, est également utilisée ici pour prendre en compte cette erreur. La différence unique et essentielle avec RST04 réside dans la méthode d'estimation de la masse rompue. Le calcul par proportion cité plus haut est remplacé par une régression polynomiale du deuxième degré entre TAMT et les masses relevées WGT. De manière pratique, cela oblige à réaliser plusieurs mesures successives (plusieurs peignes, généralement 15 dans cette thèse) sur chaque coton, avec des masses de fibres variées couvrant toute la gamme possible (réglage dans le *Status* de *Min Amount* fixé à 1 et *Max Amount* fixé à 999). On obtient alors une courbe entre les surfaces sous fibrogramme et les masses correspondantes dont on exprime la relation par un polynôme du second degré sans terme constant.

L'idée est très séduisante car elle prend en compte l'aspect de la relation des masses en fonction des valeurs de TAMT. Cependant, ce logiciel est utilisé à titre expérimental dans ce document, car la programmation du logiciel fait quelques choix techniques que je trouve discutables. A ce niveau d'avancement des travaux, le logiciel est utilisé tel qu'il est, mais je peux fournir une liste de modifications à réaliser pour limiter l'effet des choix techniques.

Cela nécessite un travail informatique et l'utilisation d'un compilateur informatique particulier que je ne possède pas. En conséquence, des travaux de portage informatique de cette application sous un logiciel connu (Access de Microsoft) sont en cours pour plus de facilité dans la réalisation des modifications du code informatique.

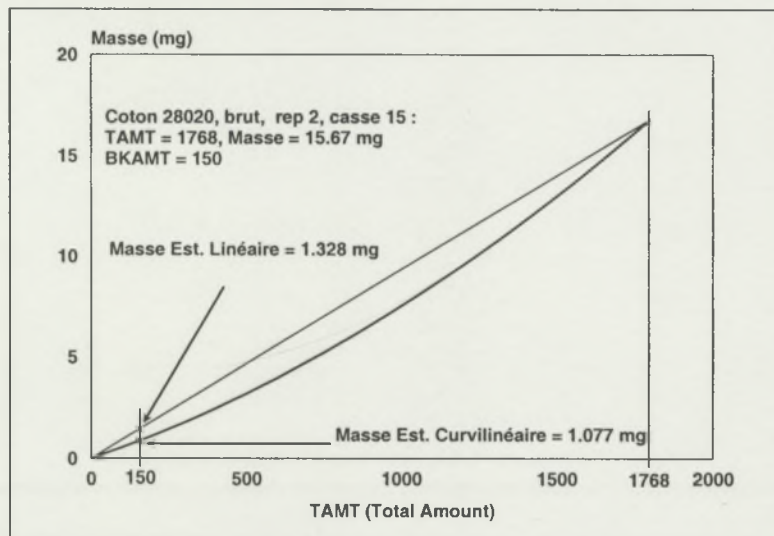


Figure E-11 : Calcul de la masse de fibres rompues selon les deux modes de calcul : proportion (RST04) et régression polynomiale (RSTXX).

Quand des modifications de la forme des fibres sont provoquées par un traitement chimique, les lectures optiques du capteur du HVI sont changées.

En termes généraux, l'ajout successif d'une même quantité de fibres dans le capteur n'occasionne pas une réponse proportionnelle contrairement à ce qui pourrait être espéré. Les différentes équipes de recherche travaillant à la caractérisation du taux de fibres courtes par HVI auront probablement à tenir compte de cet effet dans leurs études.

Dans cette étude, quand des échantillons de formes de fibres différentes sont présentées au capteur, des réactions particulières peuvent se produire, et les réactions ont été démontrées comme très dépendantes du micronaire. Cependant, comme le micronaire est un complexe maturité/finesse, il est nécessaire d'organiser une autre expérimentation pour en savoir sur la source la plus probable des biais mis en évidence.

Nous avons également noté un possible effet de la couleur des fibres sur les niveaux de résultats (thème d'expérimentation du paragraphe suivant). Nous avons vu également que le retrait des cires occasionne un changement de couleur des fibres qui induit des modifications dans les résultats.

Connaissant maintenant cette relation curvilinéaire entre la masse de fibre et les lectures optiques, il est possible d'analyser autrement les résultats obtenus avec les figures géométriques (Figure D-35). Il est possible de modéliser la réponse du capteur optique pour les zones de montée et de descente du signal dans cette figure avec des  $R^2$  très importants ( $R^2 > 0.9986$ , Figure E-12 et Figure E-13).



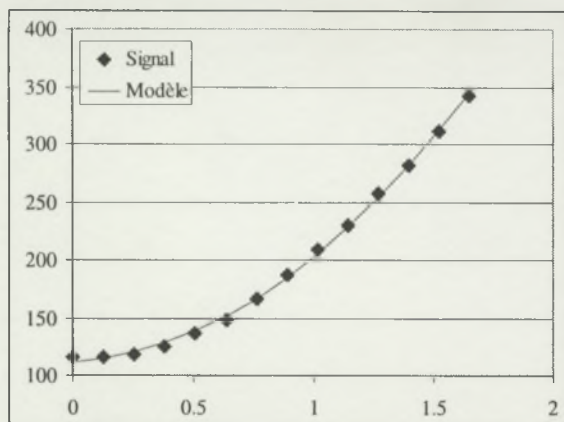


Figure E-12 : Comparaison des réponses montantes du capteur optique : signal relevé / modélisé dans le cas du transparent M4.

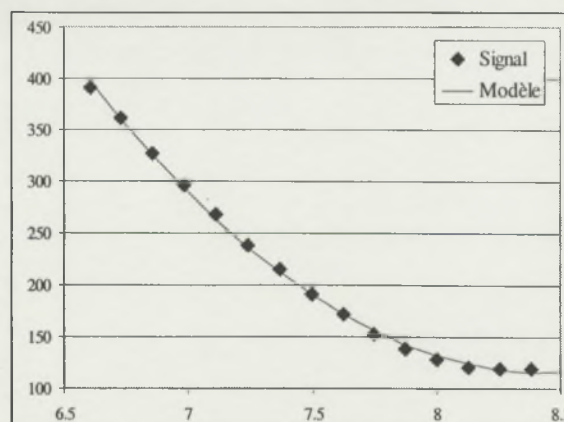


Figure E-13 : Comparaison des réponses descendantes du capteur optique : signal relevé / modélisé dans le cas du transparent M4.

Il ne fait aucun doute que la réponse du capteur devrait être linéarisée à moins qu'une correction optique, informatique ou autre soit envisagée pour en tenir compte.

### E.3. Effet de la couleur sur la mesure optique de masse de faisceaux de fibres

Cette étude a été présentée oralement lors des *Cotton Beltwide Conferences* en janvier 1998 (Drieling et al., 1998)

#### E.3.1. Introduction et objectif

Les longueurs caractéristiques des fibres de coton sont déterminées grâce à un capteur optique sur les appareils HVI fabriqués par Zellweger Uster où une source lumineuse illumine un capteur optique au travers d'un faisceau de fibres. A chaque pas de lecture de la quantité de lumière, la réponse du capteur est au moins dépendante :

- du nombre de fibres dans le faisceau,
- de la forme extérieure des fibres qui sont dépendantes de la maturité et de la finesse des fibres,
- de leur arrangement géométrique dans le faisceau qui dépend de la qualité du broissage et de la puissance d'aspiration,
- des qualités de surface extérieure des fibres (rugosité, taux de cires ...),
- de niveaux d'absorption / réflexion / diffraction de la lumière par les fibres,
- et très probablement de l'interaction d'une ou plusieurs de ces caractéristiques.

La quantité de lumière qui est absorbée, diffractée, dispersée et/ou transmise au travers du faisceau de fibres est dépendante du type d'illuminant (les HVI utilisent une lumière rouge de 650 à 660 nm de longueur d'onde), et du spectre d'absorption des fibres. Les lectures d'*amount* (masse optique) utilisées pour construire le fibrogramme sont également dépendantes de la sensibilité du capteur (Billmeyer and Saltzman, 1981).

Dans une étude préliminaire, un coton du Mali teint en rouge, en bleu et en vert a montré des niveaux de ténacité très différents comparativement à la valeur enregistrée sur coton brut (plus de 10 cN/tex pour le coton teint en bleu). Ceci a été expliqué par le spectre d'absorption très

élevé dans la gamme des fréquences 600-700 nm. Cela a conduit à une mauvaise interprétation des masses optiques du coton bleu en comparaison aux autres cotons.

Pour résumer, si deux échantillons A et B, différents en couleur uniquement, sont analysés sur HVI (avec A ayant une absorption plus élevée que B à 660 nm) :

- A induit des lectures plus élevées d'*amount* que B,
- pour une longueur donnée de fibres, la masse estimée de l'échantillon A est alors plus élevée que celle de l'échantillon B,
- à force de rupture constante, la ténacité du coton A sera inférieure à celle du coton B.

Sur la base de cette hypothèse, on peut calculer les différences de ténacités obtenues (Équation E-8) avec deux instruments de mesure sur les cotons des tests inter-laboratoire internationaux.

$$\text{DIFF}_{\text{ETALONNAGE}} = \text{HVI Strength}_{\text{ETALONNAGE}} - T1$$

Équation E-8

Avec :

- $\text{ETALONNAGE}$  décrit le mode d'étalonnage des HVI : ICCS, si les HVI sont étalonnés à l'aide de cotons ICCS ; HVICC si les HVI sont étalonnés avec les cotons HVICC.
- *HVI Strength* représente les moyennes des résultats de ténacité HVI (réalisées à partir d'estimation de masse par capteur optique) pour tous les laboratoires participants utilisant un mode spécifique d'étalonnage.
- T1 est la valeur de ténacité au Stéломètre (mesure traditionnelle sans capteur optique).

Si notre hypothèse est vérifiée,  $\text{DIFF}_{\text{ETALONNAGE}}$  devrait être en relation avec les informations de couleur (exprimée selon une réflectance Rd% et un degré de jaune +b) dans le cas de cotons couvrant une gamme importante de couleur.

- Avec 22 cotons de 1991 à 1996, les résultats du test inter-laboratoires de Brème montre une corrélation positive et significative (seuil 5%) entre les résultats de  $\text{DIFF}_{\text{ICCS}}$  et Rd%. Dans le même temps, il n'y a pas de corrélation entre  $\text{DIFF}_{\text{HVICC}}$  et Rd% (Figure E-14).
- 107 cotons des tests mensuels de l'USDA depuis 1986 ont été re-testés au Stéломètre par le Cirad dans l'étalonnage ICCS. Une corrélation positive et hautement significative est observée entre Rd% et  $\text{DIFF}_{\text{HVICC}}$  (Figure E-15).

Dans les deux cas, il n'y a pas de relation avec le degré de jaune. Ces différences de réaction des HVI dépendantes du type d'étalonnage et du type d'échantillon ne peuvent être expliquées que par des différences d'estimation de masses de fibres rompues (cela confirme les conclusions d'études internes mentionnées au § B.2.4). Cela peut être en relation avec des caractéristiques de fibres (maturité, finesse) ou avec un effet des propriétés de surface des fibres sur les lectures optiques (étudié au paragraphe précédent, Gourlot et al., 1998b) ou avec un effet de la couleur des fibres étudié ici.

L'objectif de ce paragraphe est donc de modifier les caractéristiques de couleur d'un coton et d'étudier les conséquences de cette modification sur les résultats de mesure.



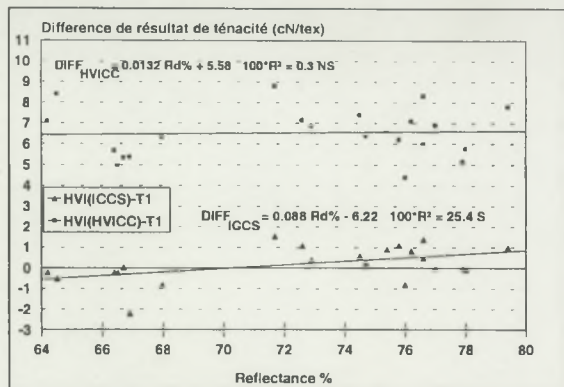


Figure E-14 : Résultats des tests inter-laboratoires de Brème : différences entre ténacités HVI dans l'étalonnage ICCS ou HVICC et les valeurs du Stélomètre en fonction de Rd %.

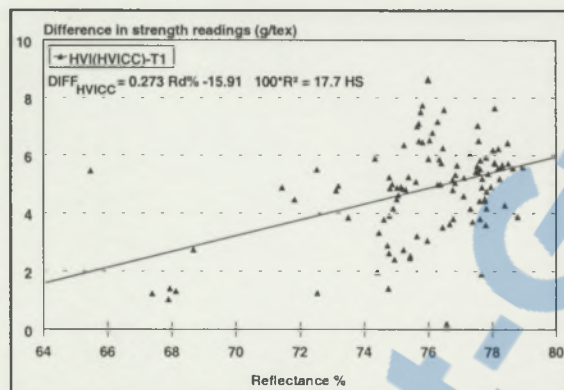


Figure E-15 : Résultats des tests de l'USDA HVI check test level program : différences entre ténacités dans l'étalonnage HVICC et les valeurs stélométriques en fonction de Rd %.

### E.3.2. Matériels et méthodes

Sachant que la classification des cotons est faite dans une gamme limitée de couleur (le graphe des couleurs USDA par exemple, ASTM, 1987, Anonyme, 2001), un coton a été teint dans 9 différentes couleurs par des combinaisons de pigments noirs et jaunes dans une solution de 40 ml/gramme de fibre et 20% de NaCl. Seul l'échantillon D0 n'a pas été teint et est demeuré débouilli. Les résultats de colorimétrie ont été obtenus avec un colorimètre Zellweger Uster Spinlab et avec un spectrophotomètre. Ce dernier permet d'enregistrer les réflectances de lumière dans la gamme de 400 à 700 nm de longueur d'onde 700 nm par pas de 10 nm.

Grâce à la méthode RST, les lectures d'*amount* ont été collectées en même temps que des pesées de fibres étaient réalisées.

### E.3.3. Résultats et discussion

Les résultats des analyses de couleur sont donnés ci-après (Tableau E-6 et Figure E-16). Un résumé de l'information spectrale est donnée dans le référentiel [Rd%, *a* and *b*]. *a* est dans l'axe vert / rouge ; une valeur négative de *a* traduit une teinte verdâtre, une valeur de *a* positive indique une couleur rougeâtre. *b* est dans l'axe bleu / jaune; *b* négatif indique une teinte bleuâtre, *b* positif indique le degré de jaune.

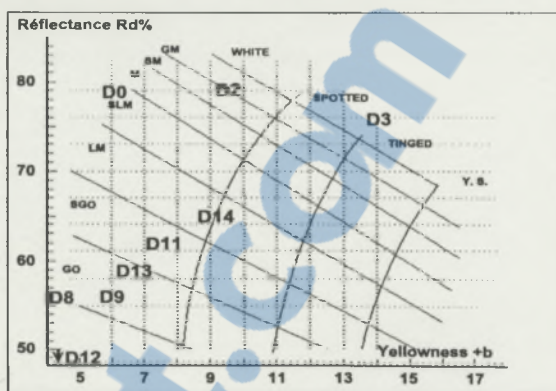


Figure E-16 : Couleur des cotons sélectionnés représentés dans le graphe de couleur de l'USDA.

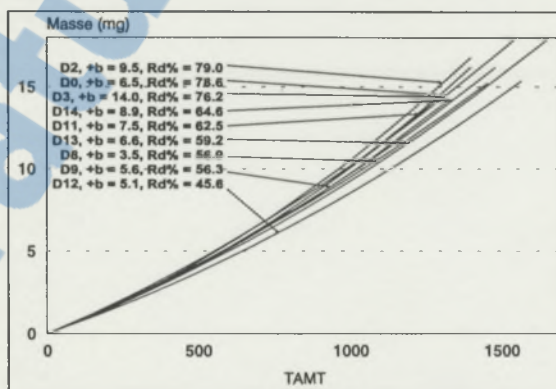


Figure E-17: Relations WGT en fonction des valeurs TMT pour les 9 cotons teints.

**Tableau E-6 : Résultats de colorimétrie pour les cotons teints.**

Echantillon	Rd%	Spectrophotométrie		Colorimètre Zellweger Uster Spinlab	
		a	b	Rd%	+b
D0	77.8	0.5	7.3	78.6	6.5
D2	77.3	0.6	9.8	79.0	9.5
D3	73.1	0.9	13.6	76.2	14.0
D8	55.4	-3.0	2.8	56.9	3.5
D9	54.3	-3.1	4.5	56.3	5.6
D11	58.4	-2.1	6.9	62.5	7.5
D12	42.3	-4.2	1.4	45.6	5.1
D13	57.0	-2.9	5.8	59.2	6.6
D14	63.1	-2.0	8.4	64.6	8.9

Les relations curvilinéaires entre les masses de fibres et les valeurs de TAMT sont présentées pour les neuf cotons (Figure E-17). Le Tableau E-7 montre les coefficients de régression obtenus pour les neuf cotons selon l'équation suivante (Équation E-9) :

$$\text{WGT} = a \cdot \text{TAMT}^2 + b \cdot \text{TAMT}$$

Équation E-9

Les résultats de micronaire ne montrent pas de différence due à la teinture. Les différences dans les allures des courbes doivent donc être dues à d'autres caractéristiques de fibres.

**Tableau E-7 : Coefficients a, b, et R<sup>2</sup> de l'Équation E-9 pour tous les cotons de l'expérimentation.**

Echantillon	a	b	R <sup>2</sup>	Micronaire
D0	3.7 E-6	0.00646	0.998	4.0
D2	3.7 E-6	0.00688	0.995	4.0
D3	2.5 E-6	0.00765	0.996	4.0
D8	2.1 E-6	0.00739	0.993	4.0
D9	3.0 E-6	0.00674	0.996	4.0
D11	3.5 E-6	0.00660	0.996	4.0
D12	2.2 E-6	0.00632	0.998	4.0
D13	2.4 E-6	0.00691	0.997	4.0
D14	2.5 E-6	0.00718	0.997	4.0

Les courbes peuvent être rangées par valeurs croissantes de Rd% (Figure E-17). Cela confirme l'interaction de la couleur dans l'estimation de la masse des spécimens par dispositif optique de mesure. Un arrangement similaire ne peut pas être réalisé selon les degrés de jaune. L'effet de l'interaction de la réflectance sur les estimations de masse est donné dans le cas où l'*amount* est fixé à 200 ; dans cet exemple, la masse varie de 1.35 à 1.65 mg (Figure E-18). Cette erreur d'appréciation est directement reportée sur la valeur de ténacité ; pour une force de 9000 cN relevée, les ténacités respectives sont 21.2 et 17.3 cN/tex, soit une variation de 23 %. Les coefficients des régressions (Équation E-10 et Équation E-11) sont présentés dans la Figure E-19a et b.

$$\text{WGT}_{\text{AMT}_i} = d_i \cdot \text{Rd}\% + e_i$$

Équation E-10

$$\text{WGT}_{\text{AMT}_i} = f_i \cdot b + g_i$$

Équation E-11

Les différents  $\text{WGT}_{\text{AMT}_i}$  sont estimés en fonction des coefficients du Tableau E-7 pour des  $\text{AMT}_i$  allant de 20 à 1600 par pas de 20. Quand  $\text{AMT} = 200$ , les coefficients de corrélation sont de  $r = 0.51$  (NS, Figure E-19 – (a)), et de  $r = 0.61$  (NS, Figure E-19 – (b)) entre les estimations de masses de fibres et les valeurs de réflectance et de degré de jaune respectivement.



Sur le même jeu de neuf cotons teints, et en refaisant les calculs précédents sur toute la gamme d'*amount* citée ci-dessus, les coefficients de corrélation atteignent des valeurs significatives dans certaines zones (Figure E-20).

Mon explication de ces résultats est la suivante :

- quand un faisceau de fibres pénètre dans le capteur optique, les premières lectures d'*amount* ne sont pas significativement affectées par la couleur des fibres. Dans ce cas, il peut s'agir d'une mesure par transmission de lumière ;
- puis le nombre de fibres augmente quand le faisceau continue à pénétrer dans le capteur optique, et une interaction croissante entre la lumière et les fibres apparaît. De la diffusion, de la diffraction et/ou de l'absorption s'ajoute à la transmission et provoque une importance croissante à la couleur des fibres dans l'estimation de la masse des fibres. Dans ce cas, les coefficients de corrélation (Figure E-20) deviennent significatifs (le seuil de signification au risque de 5% est de 0.666). Notons que le spectrophotomètre apporterait de meilleures corrélations dans certaines zones d'*amount* avec une estimation du degré de jaune.

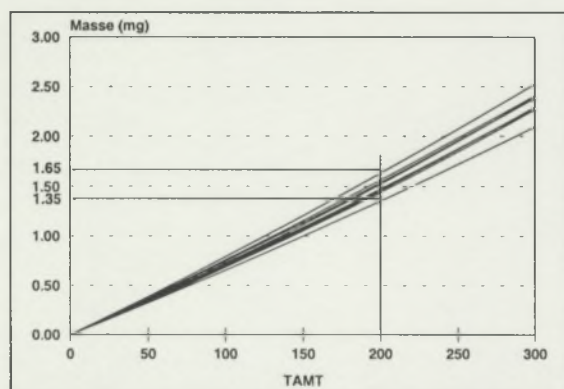


Figure E-18 : Même relation que précédemment limitée dans une gamme restreinte de *amount*  $AMT=300$  - Effet sur les estimations de masse de fibres.

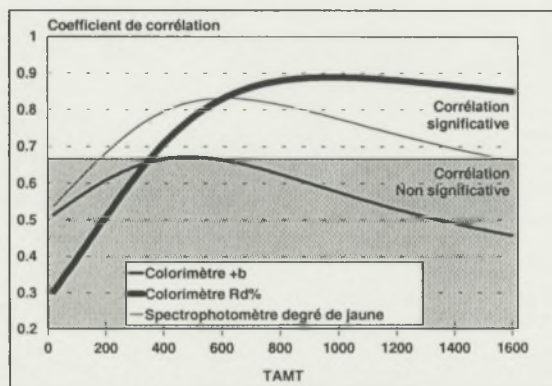


Figure E-20 : Coefficients de corrélation entre les paramètres de couleur et les masses de fibres pour une large gamme de *AMT* et pour les 9 cotons teints.

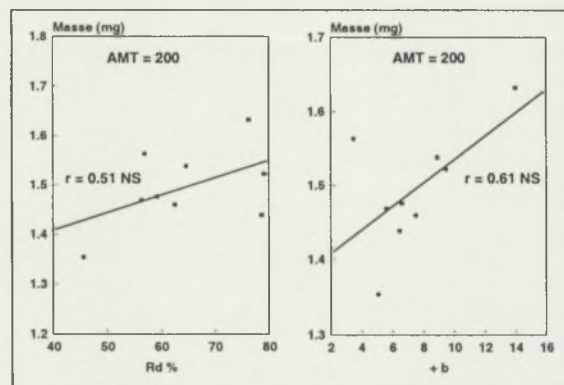


Figure E-19 : Relation entre les masses estimées et les caractéristiques de couleur des cotons pour  $AMT=200$ .

### E.3.4. Conclusion

La mesure optique des HVI de la distribution des longueurs commence par une mesure en transmission quand il y a peu de fibres présentes. Puis, quand le nombre de fibres augmente, une interaction croissante entre la lumière et les fibres intervient provoquant de la diffraction,

de l'absorption et/ou de la diffusion de lumière. Dès cet instant, les paramètres de couleur des fibres affectent les estimations de masses des fibres.

Comme nous l'avons vu, des corrections pourraient permettre de retirer l'interaction de la couleur des cotons de l'estimation de la masse des fibres en vue du calcul de la ténacité dans certaines gammes de masse de fibres. Les caractéristiques  $Rd\%$  et  $+b$  peuvent être utilisées à cette fin. Ces corrections de masse par la couleur seraient surtout nécessaires pour les cotons de grades les plus faibles ou pour les cotons naturellement colorés qui représentent une faible part de la production mondiale. Une erreur relative de 23 % pourrait être ainsi corrigée pour des échantillons de colorimétrie extrême sur le graphe des couleurs de l'USDA.

Ce n'est pas cependant la solution pour obtenir une mesure indépendante de la mesure de la ténacité des fibres qui deviendrait dépendante par l'intervention de deux nouveaux critères dans les calculs.

Nous avons vu également que le retrait des cires occasionne un changement de couleur des fibres qui induit des modifications dans les résultats. Or il est probable que le jaunissement des fibres de coton soit surtout lié à une dégradation des cires. Donc, analyser le même coton à différentes dates espacées dans le temps peut conduire à des résultats différents (en dehors de la dégradation de la cellulose probable également et des conditions d'échantillonnage) simplement du fait de la dégradation des cires.

Nous avons parlé d'une possible dérive dans l'établissement des valeurs de ténacité de certains types de standards de référence vers des valeurs plus élevées (§ B.2.4). Ces expérimentations ont été réalisées sur des cotons qui ont été stockés pendant quelques années pouvant occasionner un jaunissement des fibres. Or, si cela est vérifié, la conclusion de ce paragraphe montre que la ténacité baisse avec le degré de jaune et s'ajouterait à la dérive déjà constatée. En pratique, la demande pour un meilleur contrôle de l'établissement des cotons standards est renforcée.

#### **E.4. Effet du couple maturité/finesse à partir de capsules sélectionnées**

##### **E.4.1. Objectif**

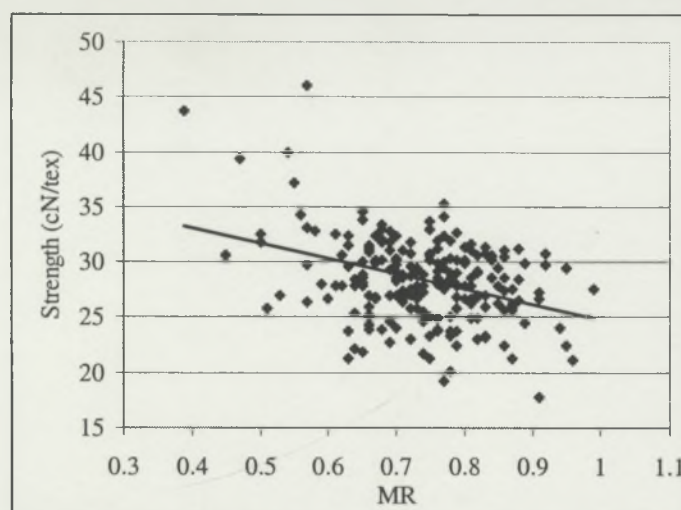
Par l'expérience, nous observons que certains cotons montrent des résistances de rupture très importantes alors que leur maturité est faible (Figure E-21). Il est probable qu'il existe donc une interaction de la maturité dans la mesure de la résistance de rupture (Crompton, 1989). Comme le HVI estime le poids de fibres rompues grâce à l'indice micronaire, il est également probable qu'une interaction existe aussi avec la finesse des fibres comme nous l'avons suspecté au paragraphe E.2. Les résultats d'un essai variétal mis en place à Montpellier montre cette tendance à la surestimation de la ténacité HVI quand la maturité est faible.

Ces résultats ont été obtenus en utilisant des méthodes d'analyses commerciales (HVI, FMT3) pour lesquelles beaucoup d'estimations sont réalisées. Il nous faut donc utiliser des méthodes indépendantes pour prouver toutes ces interactions.

Nous avons vu que les résultats sont affectés par le micronaire, le complexe maturité-finesse.

Il s'agit de vérifier dans cette étude s'il existe un effet prédominant de la maturité et/ou de la finesse sur la lecture de résistance au HVI, pour évaluer l'importance et la signification du biais apporté pour des cotons de maturités particulières (faibles, fortes ...). Cette information tend à être vérifiée lorsque nous traitons des données d'essais mis en place dans des conditions de culture non adaptées pour les variétés plantées.





**Figure E-21 : Relation entre la ténacité HVI et le Maturity Ratio (FMT3) dans le cas de l'essai variétal 2000 à Montpellier.**

La mesure de ténacité 'idéale' ne devrait pas être biaisée par d'autres caractéristiques de fibres telles que la maturité ou la finesse des fibres. En revanche, comme l'aire moyenne de la section droite des fibres plus mûres est plus importante que celle des fibres moins mûres pour une variété donnée, il est possible que la force requise pour casser les premières soit plus importante que pour casser les secondes. En compensation, la masse de fibres rompues va croître avec la maturité, de manière à ce que le rapport force sur masse de fibres reste constant, aux défauts de structure près.

#### **E.4.2. Matériels et méthodes**

Afin de montrer l'existence d'effet quelconque de la maturité et/ou de la finesse sur les mesures de ténacité, il est nécessaire de regrouper des échantillons couvrant une vaste gamme de résultats de ces critères. De manière opérationnelle, nous pouvons choisir entre un grand nombre de variétés et peu de capsules par variété ou peu de variétés avec un grand nombre de capsules chacune.

Une première contrainte réside dans la masse nécessaire pour réaliser les analyses RST et HVI qui nous oblige donc à partir d'un nombre minimum de capsules pour obtenir une masse suffisante d'un côté, et une gamme de maturités de l'autre côté. On en arrive assez logiquement à une limitation des combinaisons techniquement réalisables : 3 variétés à environ 50 capsules chacune pour obtenir au final des échantillons RST d'environ 25 grammes qui semblent suffisants pour réaliser 30 peignes de masse variable et échelonnée.

En conséquence, le choix s'est porté sur des échantillons de fibres de trois variétés cultivées en 1996 à Montpellier qui ont été sélectionnées au vu des résultats AFIS obtenus sur les fibres récoltées par position sur les plants. Ces trois variétés font partie d'un essai de sélection variétale initié en 1996 reconduit en 1997. La sélection parmi les variétés disponibles s'est faite au vu des résultats 1996 en émettant l'hypothèse que les variétés se sont exprimées de la même manière en 1997, date de récolte des capsules utilisées dans cette expérimentation. Ces variétés ont été choisies au vu des résultats de 1996 car elles correspondent à des finesses suffisamment éloignées les unes des autres pour en évaluer l'effet sur la ténacité.

Ont été retenues les capsules pour lesquelles la masse de fibres disponible était supérieure à deux grammes :

- DES119 (codée D): 69 capsules ;

- N539 (codée N) : 49 capsules ;
- Prec XC25679 (codée P) : 38 capsules.

Afin de parvenir aux résultats espérés, le protocole suivant a été respecté (Figure E-22) :

- les fibres de chaque capsule ont été homogénéisées à la main pour s'assurer que les fibres prélevées pour les différentes analyses sont bien représentatives d'une même capsule. Ceci est une étape essentielle si les résultats des différentes caractérisations doivent être reliés ;
- les quantités de fibres nécessaires à chaque détermination ont été prélevées par petites pincées et réparties dans des enveloppes séparées selon les quantités suivantes : 0.25 gramme pour les analyses Mantis, 0.5 grammes pour analyses AFIS<sup>12</sup> ;
- les analyses AFIS (une répétition de 3000 fibres) et Mantis (deux répétitions de environ 50 fibres) sont réalisées par capsule ;
- les capsules ont ensuite été regroupées par classe de maturité. Chaque classe est constituée à partir des résultats AFIS précédents. L'idéal aurait été de disposer de la quantité de fibres en provenance de 8 capsules pour chacune des classes, mais cela n'a pas toujours été possible (Tableau E-8). Les six classes de maturité constituées sont : [... à 0.80[ ; [0.80 à 0.825[ ; [0.825, 0.85[ ; [0.85, 0.875[ ; [0.875, 0.90[ ; [0.90, 0.95[ à partir des données AFIS.

**Tableau E-8 : Répartition des capsules par variété et par classe de maturité.**

Classe MR / Variété	D	N	P
[... à 0.80[	1	3	
[0.80 à 0.825[	3	11	2
[0.825, 0.85[	21	4	3
[0.85, 0.875[	14	10	11
[0.875, 0.90[	23	15	13
[0.90, 0.95[	6	6	9

- Lors du regroupement, les fibres de chaque classe ont été homogénéisées à l'aide d'un mélangeur mécanique assez doux (*Blender* du *Sticky Cotton Thermodetector*) pour ne pas casser trop de fibres et changer la distribution des longueurs des échantillons.
- Une analyse de la colorimétrie des fibres n'a pas été possible car la masse de fibres disponible était insuffisante. Il aurait été en effet utile de vérifier si l'effet de la couleur sur la ténacité (montrée au paragraphe E.3) existait également dans cette expérimentation et, si besoin, limiter les conclusions au domaine d'étude.
- Les analyses RST (à raison de 15 peignes par classe couvrant une large gamme de *base-amount*) et HVI (10 peignes par classe) ont été réalisées en prenant en compte le micronaire moyen déduit des analyses AFIS selon la formule de Lord (Lord, 1961, page 152).

<sup>12</sup> Parallèlement à cette étude, nous avons tenté d'adapter une méthode de mesure de la maturité et de la finesse des fibres par analyses d'images de coupes transversales de fibres de coton (Thibodeaux and Evans, 1986). M. Gérard Valdeyron (Valdeyron, 2001) a réalisé ce travail de DEA sous la supervision administrative de Bernard Vermeulen (ENSAIT, Roubaix), et de Bruno Bachelier (Cirad-ca) et sous la supervision technique et scientifique de M. Jacques Escoute (Cirad-Biotrop) pour la partie inclusion et coupe de fibres, et de Jean-Paul Gourlot pour ce qui concerne l'organisation générale et scientifique de l'expérimentation. Des échantillons de fibres ont été prélevés à ce point pour la réalisation du travail de DEA. Les résultats de cette mise au point ne sont pas reportés ici.



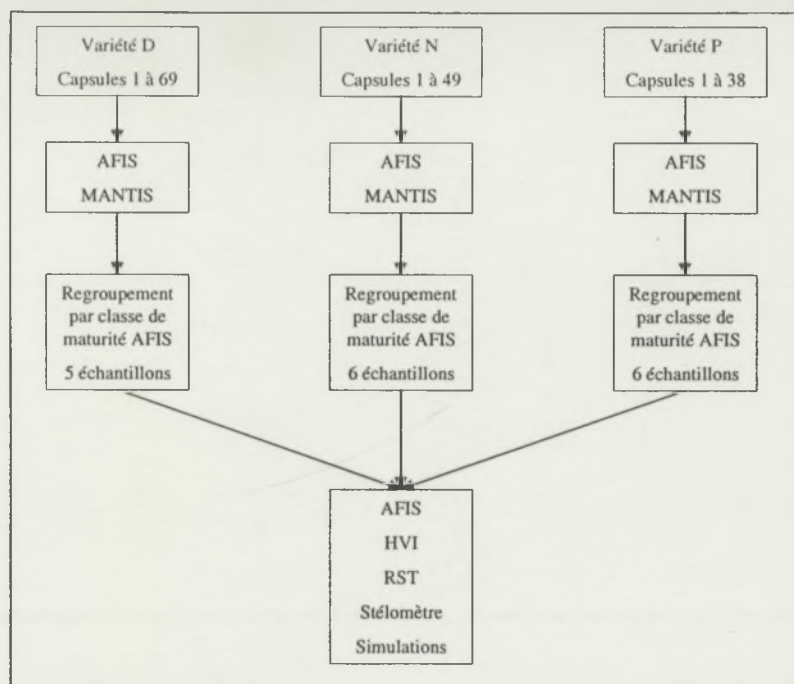


Figure E-22 : Organisation de l'expérimentation à base de récoltes de fibres par position sur trois variétés de cotonnier.

Avant d'aller plus loin dans cette investigation, il apparaît que les gammes de maturité mentionnées dans la Figure E-21 (MR FMT3 allant d'environ 0.5 à 1.1) et le Tableau E-8 (MR AFIS de 0.8 à 0.95) ne sont pas comparables. Cependant, en transcrivant les données MR AFIS dans l'échelle de lecture du FMT3 selon le résultat d'une expérimentation comparant les résultats de ces deux appareils de mesure (Figure E-23, résultat du DEA de Gérald Valdeyron mentionné en note n° 12 de bas de page ), les gammes de résultats de MR deviennent comparables (Tableau E-9).

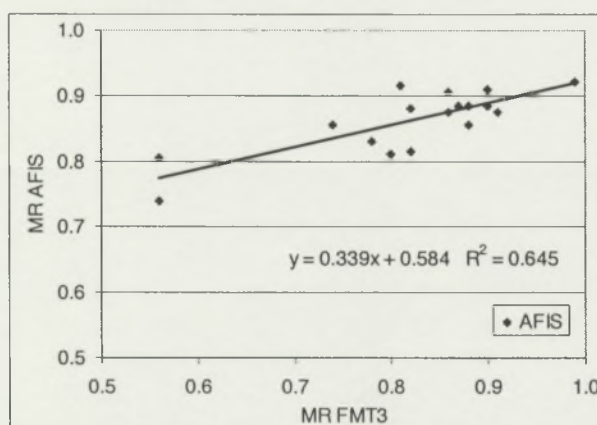


Figure E-23 : Relation entre les résultats de mesure de MR par AFIS et par FMT3 selon Gérald Valdeyron (DEA).

Ainsi, disposant de la même gamme de MR, les résultats de cette expérimentation devraient permettre de valider/invalidier les conclusions issues des données présentées dans la Figure E-21.

Tableau E-9 : Comparaison des gammes de MR entre les différentes études.

MR Figure E-21		MR Figure E-21 corrigé par formule issue du travail de DEA de Gérald Valdeyron		Gamme de l'étude en cours	
Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
0.39	0.99	0.72	0.92	0.78	0.93

Dans les populations disponibles, les capsules ont été isolées de manière à couvrir une gamme de MR AFIS sans trop changer H AFIS, sinon les résultats observés deviendraient dépendants de l'interaction de ces paramètres (Figure E-24 à Figure E-29).

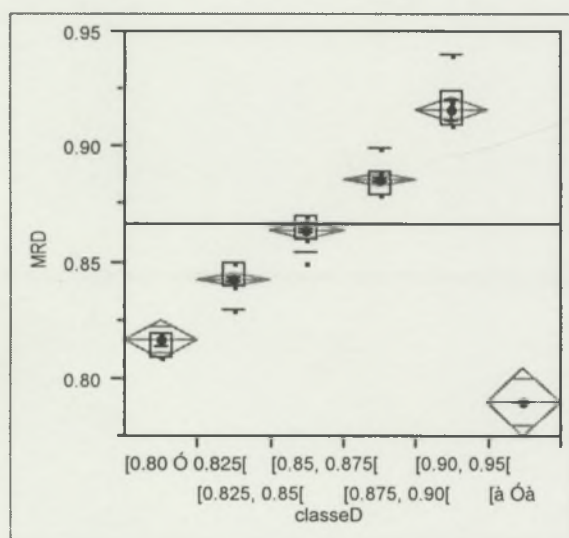


Figure E-24 : Répartition des capsules par classes de MR, variété D.

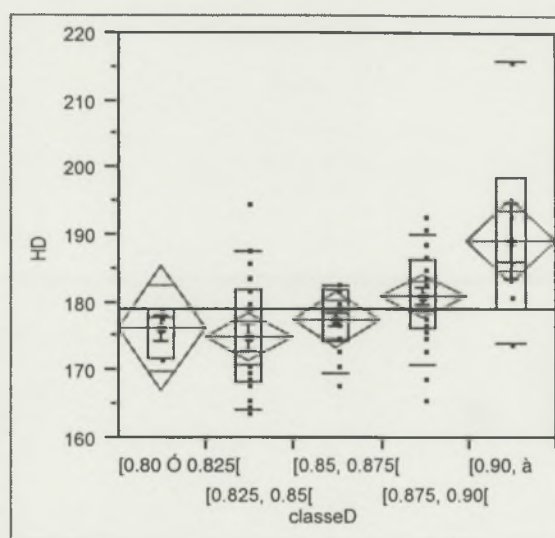


Figure E-26 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété D.

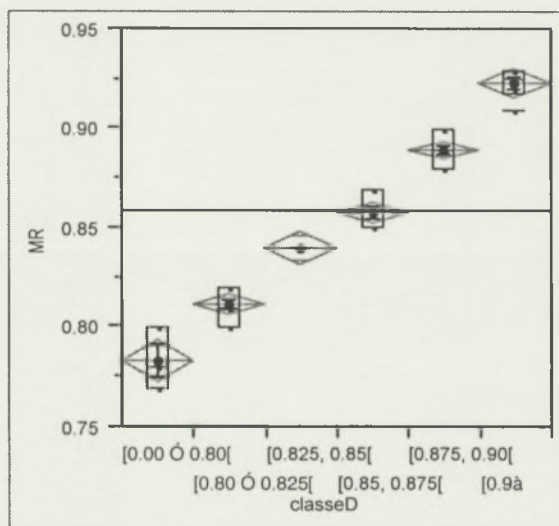


Figure E-25 : Répartition des capsules par classes de MR, variété N.

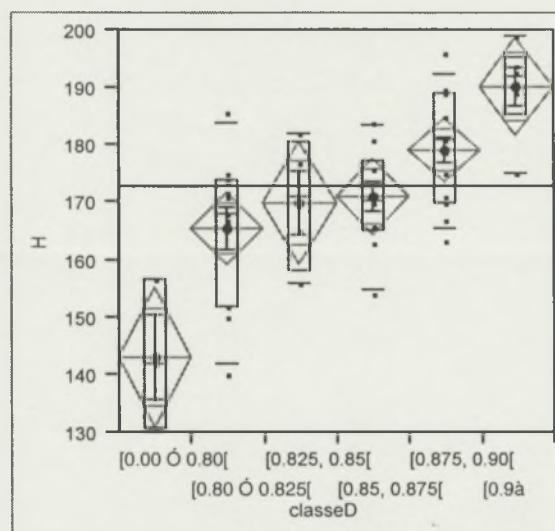


Figure E-27 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété N.



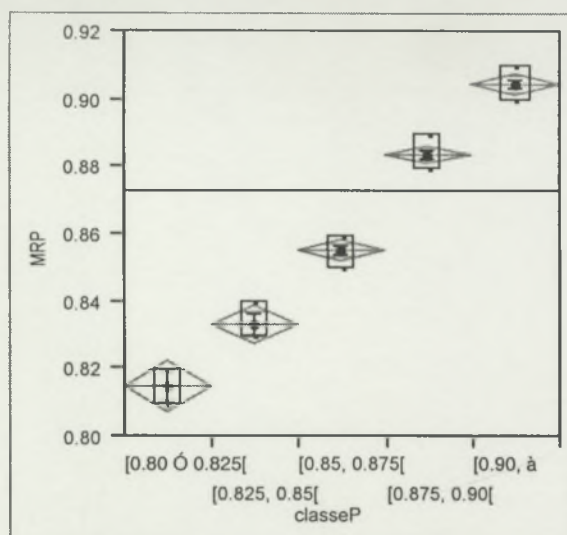


Figure E-28 : Répartition des capsules par classes de MR, variété P.

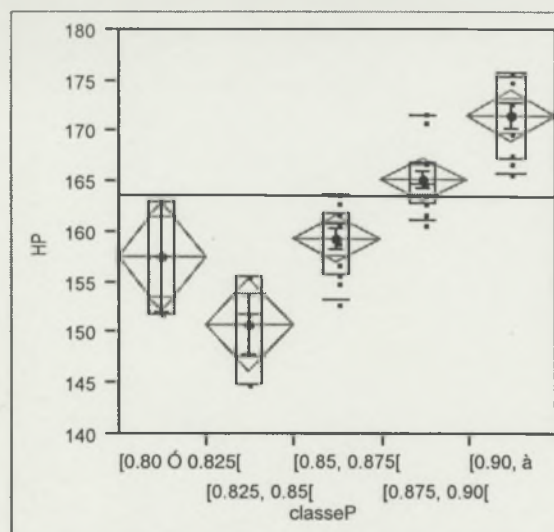


Figure E-29 : Répartition des finesses des fibres par classes de MR, variété P.

Cette organisation permet de garantir que la probabilité de trouver une fibre  $i$  d'une maturité donnée  $M_i$  dans un échantillon de maturité donnée  $M_{\text{moy}}$  et  $M_{\text{var}}$  soit équivalente quelle que soit la maturité moyenne de l'échantillon choisi dans la gamme de maturité. Il faut donc éviter de mélanger trop tôt les fibres en provenance de capsules de maturités  $[M_{\text{moy}}, M_{\text{var}}]$  même proches, car ce mélange risque de changer à la fois les paramètres de la densité de distribution des différents types de fibre. C'est donc seulement après la caractérisation de la maturité des fibres des capsules individuelles que l'on peut s'assurer le mieux de ne pas trop déformer les distributions de maturité des fibres que l'on regroupe ensemble pour faire les analyses HVI et RST. C'est à ce moment que l'on cherche le plus de sélectivité dans la gamme de maturité.

### E.4.3. Résultats et discussion

Le temps nécessaire à la réalisation de cette expérimentation et les quantités de matière disponible par niveau de facteur n'ont pas permis de réaliser de répétition des traitements effectués. En conséquence, les données expérimentales ne peuvent pas être analysées par des analyses de variance et ne sont traitées que grâce aux outils statistiques simples comme les comparaisons de moyennes et les régressions linéaires.

#### E.4.3.1. Résultats AFIS

Tous les résultats obtenus sur les échantillons de fibres regroupant plusieurs capsules sont donnés dans le Tableau E-10.

En premier lieu, il est nécessaire de vérifier si la valeur de maturité moyenne calculée des différentes capsules mises en mélange pour constituer une classe correspond bien à la valeur obtenue sur l'échantillon mélangé.

**Tableau E-10 : Résultats AFIS par variété et par classe de maturité.**

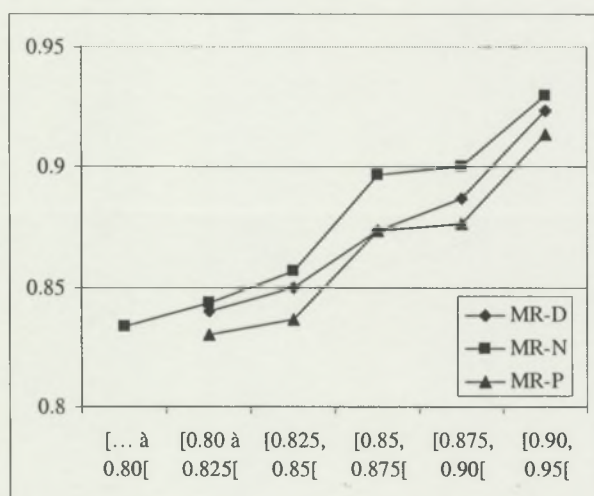
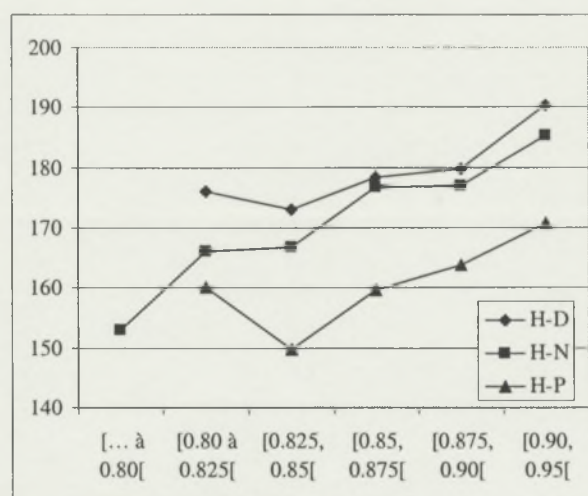
Variété	Classe	Lw	LwCV	UQLw	Ln	LnCV	H	MR
D	[... à 0.80[							
D	[0.80 ; 0.825[	25.65	31.25	30.85	21.35	44.85	176	0.84
D	[0.825, 0.85[	26.67	31.80	31.97	21.87	46.93	173	0.85
D	[0.85, 0.875[	26.80	31.03	32.03	22.33	44.57	178	0.87
D	[0.875, 0.90[	27.10	29.83	32.20	22.90	43.07	180	0.89
D	[0.90, 0.95[	27.40	27.17	31.97	23.73	39.40	190	0.92
N	[... à 0.80[	22.03	37.57	26.97	17.50	50.60	153	0.83
N	[0.80 ; 0.825[	23.7	32.37	28.10	19.73	44.53	166	0.84
N	[0.825, 0.85[	24.47	31.63	28.87	20.57	43.63	167	0.86
N	[0.85, 0.875[	23.90	30.83	27.87	20.33	41.70	177	0.90
N	[0.875, 0.90[	23.83	29.63	27.70	20.67	30.07	177	0.90
N	[0.90, 0.95[	24.60	28.23	28.47	21.57	37.60	185	0.93
P	[0.80 ; 0.825[	24.00	37.05	30.00	18.90	52.00	160	0.83
P	[0.825, 0.85[	23.97	37.37	29.90	19.07	50.93	150	0.84
P	[0.85, 0.875[	25.27	36.83	31.37	20.03	51.27	160	0.87
P	[0.875, 0.90[	24.63	35.43	30.27	20.03	48.20	164	0.88
P	[0.90, 0.95[	24.97	35.23	30.63	20.20	48.60	171	0.91

Globalement, la relation entre MR avant et après l'opération de regroupement et de mélange est bonne. La relation suivante peut être établie si on prend le centre de classe de maturité comme valeur de référence pour chaque classe (MrClasseMoy), toutes variétés confondues (Figure E-30). Bien que la pente soit significativement différente de 1, un test t de Student ne montre pas de différence significative des niveaux moyens évalués par les deux mesures (Équation E-12).

$$\text{MR observé} = 0.69 * \text{MRClasseMoy} + 0.27$$

$$R^2 = 0.88 \quad \text{THS}$$

Équation E-12

**Figure E-30 : Vérification du niveau de MR selon les classes définies.****Figure E-31 : Vérification du niveau de H (mtex) selon les classes définies de MR.**

Le tassement de la distribution des MR AFIS déjà observé en comparaison aux résultats FMT3 est encore accentué par l'opération de regroupement et de mélange des fibres issues des capsules. Plusieurs raisons individuelles ou combinées peuvent amener à ce constat sans pouvoir en assurer la source :

- les mesures AFIS ont pu être biaisées lors de la caractérisation des capsules individuelles ;



- l'opération de regroupement / mélange n'a pas pu permettre de conserver toutes les fibres, en perdant/cassant de manière privilégiée des fibres immatures (voir ci-dessous l'analyse des paramètres descriptifs des distributions des longueurs de fibres) ;
- les mesures AFIS ont pu être biaisées lors de la caractérisation des capsules regroupées.

La Figure E-31 indique que les variétés D et N montreraient une dépendance significative entre H et MR. Les niveaux moyens de H sont respectivement de 160.7, 170.8, et 179.5 mtex pour les variétés D, N et P comme on pouvait l'attendre au regard de la Figure E-25 et la Figure E-29.

Ensuite, il est possible que des fibres aient été cassées du fait de l'ouverture et de l'homogénéisation des fibres par l'ouvreur du SCT. Si cela est le cas, les informations issues des distributions de longueur peuvent indiquer si cette casse de fibres a affecté plus une classe de fibres qu'une autre.

Les résultats de Ln, Lw et UQL indiquent un raccourcissement des fibres après l'opération de mélange des capsules. En effet, les régressions entre les valeurs mesurées sur capsules regroupées en fonction des résultats moyens des capsules individuelles ont une pente statistiquement inférieure à 1 avec des corrélations simples supérieures à 0.91. Cependant, les écarts constatés ne semblent pas suffisamment importants pour porter à conséquence significativement (les tests t de Student sur les comparaisons des mesures avant et après regroupement ne sont pas significatifs).

**Tableau E-11 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par AFIS et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] à 0.80[ exclues).**

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif
Lw	D	14.68 + 13.92 MR	0.86	*
LwCV	D	62.76 - 37.64 MR	0.81	*
	N	62.56 - 37.02 MR	0.99	***
	P	53.55 - 19.58 MR	0.80	*
Ln	D	4.35 + 20.92 MR	0.99	***
	N	8.59 + 13.85 MR	0.85	*
	P	8.84 + 12.49 MR	0.81	*
LnCVn	N	98.18 - 65.77 MR	0.97	**
H	D	65.67 + 131.59 MR	0.77	*
	N	21.59 + 176.14 MR	0.93	**

De manière générale, la plupart des paramètres mesurés par AFIS sont dépendants de la maturité MR (Tableau E-11). Il est possible que la préparation des fibres et leur répartition en classes de maturité aient pu affecter les caractéristiques des fibres et leurs distributions, principalement pour les fibres les moins mûres.

#### E.4.3.2. Résultats Mantis

La sélection des fibres pour l'analyse Mantis se fait grâce à deux peignes à main de Fibrographe qui servent à prélever des fibres dans une masse, à les paralléliser et les individualiser. Cette opération agressive risque de casser de manière privilégiée les fibres immatures, qui sont également les moins résistantes. Cela peut probablement changer la distribution de longueur des fibres. Or la sélection des fibres pour une analyse Mantis suppose qu'elles soient suffisamment longues pour couvrir au moins la largeur des pinces de test de dynamométrie et permettre leur manutention (environ 15 mm). Dans ce cas, si les fibres immatures sont cassées, elles sont moins longues et elles seront moins représentées dans les fibres testées sur Mantis que ce qu'elles représentent dans la population originale, induisant un possible biais dans toutes les interprétations ultérieures. Quelle que soit la méthode envisagée, il semble impossible de vérifier l'effet de cette opération, que l'on espère la moins importante possible, car chaque méthode a une agressivité particulière qui risque de changer les distributions des paramètres mesurés. En conséquence, nous retenons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de changement de distribution de longueur de fibres.

Un total de 14561 fibres individuelles ont été rompues sur l'appareil Mantis pour cette expérimentation avec une répartition selon la variété et la classe d'appartenance des capsules retenues (Tableau E-12, relations Tb en fonction de Dep en annexe 1, tableaux 1 à 3).

**Tableau E-12 : Nombre de fibres testées par variété et par classe de maturité.**

Classe MR / Variété	D	N	P
[... à 0.80[	146	237	
[0.80 à 0.825[	360	888	141
[0.825, 0.85[	2370	322	211
[0.85, 0.875[	1627	804	774
[0.875, 0.90[	2708	1206	916
[0.90, 0.95[	733	484	634

Tous les résultats moyens par variété et par classe de maturité sont donnés dans le Tableau E-13.

**Tableau E-13 : Résultats Mantis par variété et par classe de maturité.**

Variété	Classe	Dep	Tb
D	[... à 0.80[	165	2.96
D	[0.80 ; 0.825[	261	4.8
D	[0.825, 0.85[	244	4.83
D	[0.85, 0.875[	244	5.06
D	[0.875, 0.90[	253	5.23
D	[0.90, 0.95[	225	5.93
N	[... à 0.80[	224	4.97
N	[0.80 ; 0.825[	268	5.15
N	[0.825, 0.85[	231	5.14
N	[0.85, 0.875[	226	5.39
N	[0.875, 0.90[	225	5.89
N	[0.90, 0.95[	214	6.27
P	[0.80 ; 0.825[	151	3.94
P	[0.825, 0.85[	153	3.49
P	[0.85, 0.875[	151	3.76
P	[0.875, 0.90[	146	3.78
P	[0.90, 0.95[	139	4.19

Le Tableau E-14 indique que la force moyenne des fibres peut être affectée par la maturité des fibres pour deux variétés sur trois si on considère qu'il n'y a pas de biais d'échantillonnage ni de biais lié à la casse des fibres pendant leur préparation à l'analyse (Figure E-32 et Figure E-33).

**Tableau E-14 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par Mantis et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [... à 0.80[ exclues).**

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif
Tb	D	- 3.37 + 9.88 MR	0.89	*
	N	- 3.74 + 10.78 MR	0.92	**
Dep	P	245.2 - 112.49 MR	0.83	*

La relation entre la finesse AFIS d'une part et les données Mantis Tb et Dep a été étudiée : des relations significatives existent pour deux variétés pour le paramètre Tb, alors qu'il n'en existe pas pour Dep.

Cela suggère que seule la paroi primaire aurait de l'importance dans la résistance de rupture pour certaines variétés et que la paroi secondaire n'apporterait pas de contribution. Ainsi, pour certaines variétés, la cellulose constitutive de la paroi secondaire ne ferait que remplir la fibre, ce qui paraît contestable. Pour tenter de comprendre ce phénomène, des analyses en microscopie ont été réalisées (voir annexe 2). Les images acquises permettent tout au plus de confirmer que la variété P apparaît plus fine que les deux autres. Ainsi, on ne peut conclure sur l'hypothèse émise ; d'autres analyses plus fines seraient nécessaires comme la microscopie au rayon X pour étudier la structure interne des fibres par exemple.



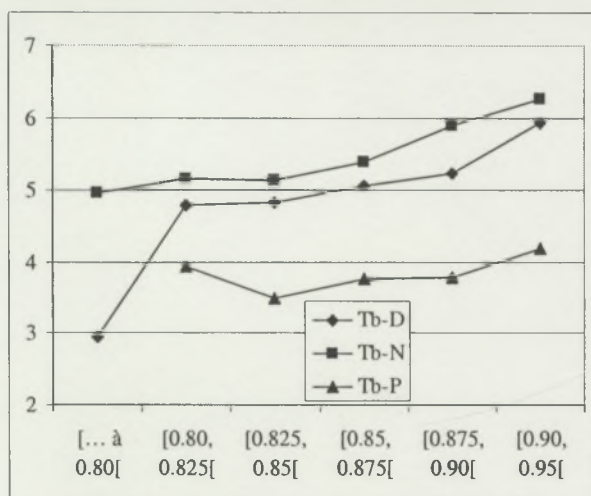


Figure E-32 : Relevés de forces moyennes Tb de rupture (cN) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

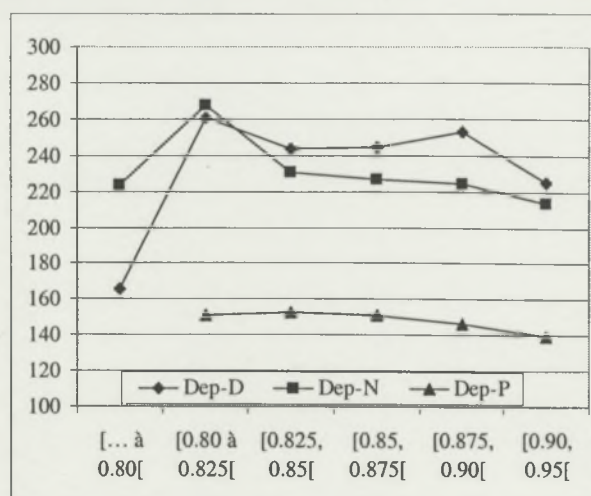


Figure E-33 : Relevés des allongements moyens de rupture Dep (pas) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

Pour ce qui concerne l'allongement, seules des irrégularités de structure conduiraient à des concentrations de contraintes réparties au hasard sur la longueur des fibres indépendamment de la maturité de la fibre pour certaines variétés.

Dans cette étude, il peut y avoir également un biais d'échantillonnage où, du fait de la préparation des fibres, les plus fragiles seraient cassées et ne seraient pas testées ; cela pourrait induire des tendances ou des absences de tendance dans les résultats observés.

#### E.4.3.3. Résultats HVI

Tous les résultats moyens par variété et par classe de maturité sont donnés dans le Tableau E-15.

Il n'apparaît pas d'effet de la maturité des fibres sur la mesure de ténacité HVI dans cette expérimentation (Figure E-34 et Figure E-35). Seuls les paramètres affiliés - module, *work peak*, *crimp* et *elong* - sont significativement dépendants de la maturité pour certaines variétés uniquement (Tableau E-16).

Les masses de fibre de certains échantillons étaient très faibles et cela a pu introduire un biais d'échantillonnage.

Notons cependant que les résultats de la variété P, dont les caractéristiques Mantis sont les moins élevées, se rapprochent des résultats des autres variétés.

Tableau E-15 : Résultats HVI par variété et par classe de maturité.

Variété	Classe	IM	ML	UHML	UI	Strength	Elong	Amount	WorkPeak	WorkTot	Crimp	Mod
D	[... à 0.80[											
D	[0.80 ; 0.825[	4.0	23.1	27.9	82.8	21.9	5.8	594	1.538	3.261	2.306	1.795
D	[0.825, 0.85[	4.0	24.9	29.5	84.5	25.9	6.4	762	2.145	3.821	2.798	1.902
D	[0.85, 0.875[	4.2	24.6	29.2	84.3	25.5	6.4	839	2.165	3.667	3.034	1.992
D	[0.875, 0.90[	4.2	24.7	29.2	84.7	25.6	6.4	755	2.184	3.665	3.242	2.002
D	[0.90, 0.95[	4.6	24.5	28.9	84.8	27.1	6.2	690	2.467	3.823	3.218	2.356
N	[... à 0.80[	3.6	20.1	24.6	81.8	24.9	6.0	578	1.732	3.508	2.294	1.951
N	[0.80 ; 0.825[	3.9	21.9	26.3	83.2	25.6	6.6	769	2.087	3.989	3.034	1.895
N	[0.825, 0.85[	3.9	22.4	26.5	84.4	26.7	6.4	664	2.211	3.981	3.048	2.056
N	[0.85, 0.875[	4.2	21.6	26.0	83.4	25.0	5.9	748	1.924	3.594	3.118	2.085
N	[0.875, 0.90[	4.2	21.7	25.9	83.7	26.1	5.8	751	1.998	3.700	3.036	2.223
N	[0.90, 0.95[	4.5	20.5	24.9	82.4	25.9	5.6	743	1.980	3.590	2.993	2.352
P	[0.80 ; 0.825[	3.7	21.1	26.6	79.3	24.1	4.9	562	1.278	2.026	1.268	1.881
P	[0.825, 0.85[	3.5	22.0	27.6	79.7	23.8	4.8	665	1.267	2.121	2.353	2.007
P	[0.85, 0.875[	3.8	23.5	29.2	80.4	24.8	4.8	802	1.479	2.318	3.031	2.224
P	[0.875, 0.90[	3.9	22.7	28.0	81.1	24.3	4.8	766	1.441	2.260	2.985	2.245
P	[0.90, 0.95[	4.2	22.6	27.9	81.2	24.3	4.6	778	1.453	2.325	3.164	2.373

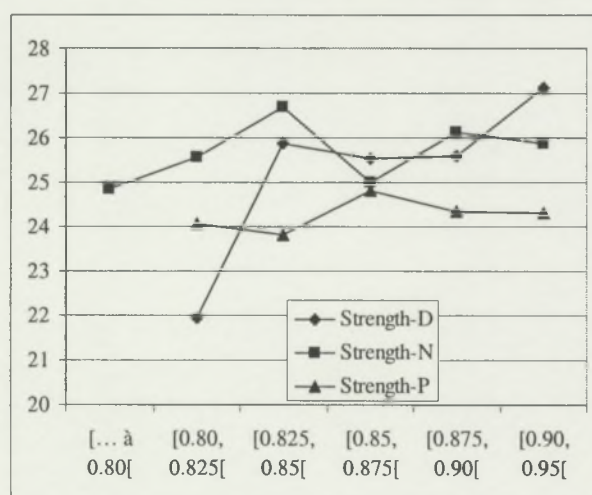


Figure E-34 : Relevés de ténacités HVI moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

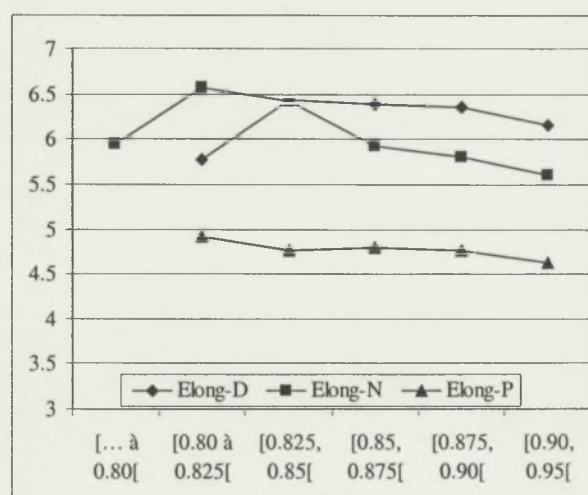


Figure E-35 : Relevés d'allongements HVI moyens (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

On peut dire que la ténacité HVI n'est pas affectée par un effet de la maturité des fibres, car il est probablement bien pris en compte par la correction apportée en fonction du micronaire. Cela semble d'autant plus vrai que, quand il n'y a pas cette correction comme au Mantis, un effet maturité apparaît.

Tableau E-16 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par HVI et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [... à 0.80[ exclues).

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif
UHML	N	37.06 - 12.87 MR	0.79	*
Unif	P	64.43 - 18.28 MR	0.93	**
Elong	N	13.83 - 8.98 MR	0.92	**
	P	6.68 - 2.21 MR	0.82	*
Work Peak	D	- 3.77 + 6.79 MR	0.77	*
Crimp	D	- 3.89 + 7.88 MR	0.81	*
Modulus	D	- 1.90 + 4.52 MR	0.89	*
	N	- 1.23 + 3.88 MR	0.97	**
	P	- 1.61 + 4.34 MR	0.93	**



## E.4.3.4. Résultats RST

Tous les résultats moyens de la méthode RST04 sont donnés par variété et par classe de maturité dans le Tableau E-17.

Tableau E-17 : Résultats RST04 par variété et par classe de maturité.

Variété	Classe	GPT	PFc	Bkamt	Tamt	Wgt	Elg	BAMT
D	[... à 0.80[							
D	[0.80 ; 0.825[	29.6	6921	105.9	1778	12.02	14.66	489
D	[0.825, 0.85[	35.4	9094	116.6	2204	15.00	12.49	539
D	[0.85, 0.875[	35.4	9081	113.6	2163	15.04	12.93	525
D	[0.875, 0.90[	37.9	9113	108.4	2214	15.20	13.67	488
D	[0.90, 0.95[	37.9	9573	104.1	2076	15.36	11.47	487
N	[... à 0.80[	33.5	8317	97.3	1463	11.57	12.80	497
N	[0.80 ; 0.825[	36.1	9640	107.4	1877	14.35	14.14	524
N	[0.825, 0.85[	38.6	9494	103.3	1821	13.36	13.43	505
N	[0.85, 0.875[	36.9	9376	100.7	1720	13.34	12.08	497
N	[0.875, 0.90[	41.1	11778	112.4	2033	16.20	11.55	564
N	[0.90, 0.95[	39.5	13662	120.9	1929	16.88	11.26	607
P	[0.80 ; 0.825[	31.3	7215	103.9	1425	9.87	9.89	476
P	[0.825, 0.85[	32.4	7417	110.9	1571	9.97	10.90	504
P	[0.85, 0.875[	33.4	8746	118.9	1724	11.67	9.30	526
P	[0.875, 0.90[	33.3	10028	129.6	1923	13.80	8.85	588
P	[0.90, 0.95[	32.2	8633	109.6	1610	11.98	10.16	502

Tous les résultats moyens de la méthode RSTXX sont donnés par variété et par classe de maturité dans le Tableau E-18.

Tableau E-18 : Résultats RSTXX par variété et par classe de maturité.

Variété	Classe	GPT	EstWGT	Tex
D	[... à 0.80[			
D	[0.80 ; 0.825[	29.3	0.691	217.5
D	[0.825, 0.85[	38.9	0.704	221.8
D	[0.85, 0.875[	37.4	0.716	225.6
D	[0.875, 0.90[	40.1	0.674	212.2
D	[0.90, 0.95[	39.4	0.697	219.5
N	[... à 0.80[	34.5	0.721	227.0
N	[0.80 ; 0.825[	39.9	0.716	225.6
N	[0.825, 0.85[	40.0	0.701	220.9
N	[0.85, 0.875[	38.8	0.710	223.6
N	[0.875, 0.90[	43.7	0.882	277.8
N	[0.90, 0.95[	43.3	0.941	296.5
P	[0.80 ; 0.825[	30.9	0.718	226.2
P	[0.825, 0.85[	35.3	0.634	199.5
P	[0.85, 0.875[	37.4	0.700	220.6
P	[0.875, 0.90[	38.0	0.799	251.7
P	[0.90, 0.95[	33.9	0.72	226.7

Représentées graphiquement (Figure E-36 à Figure E-38), ces données ne montrent pas de dépendance entre la ténacité et la maturité (Tableau E-19). On y voit tout de même un effet variétal. Cependant, les relations entre finesses et relevés de ténacité ne sont pas significatives.

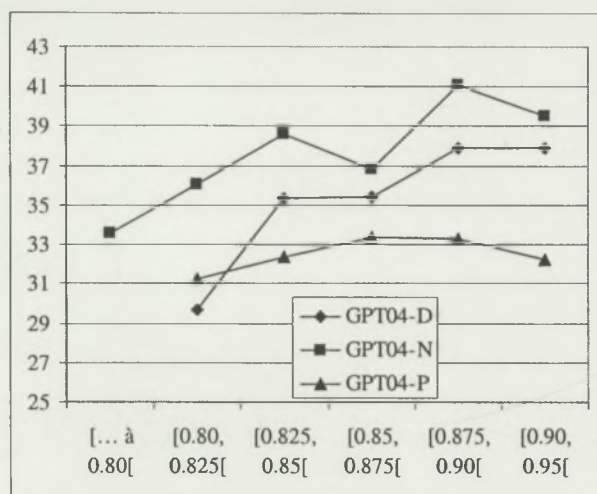


Figure E-36 : Relevés de ténacités RST04 moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

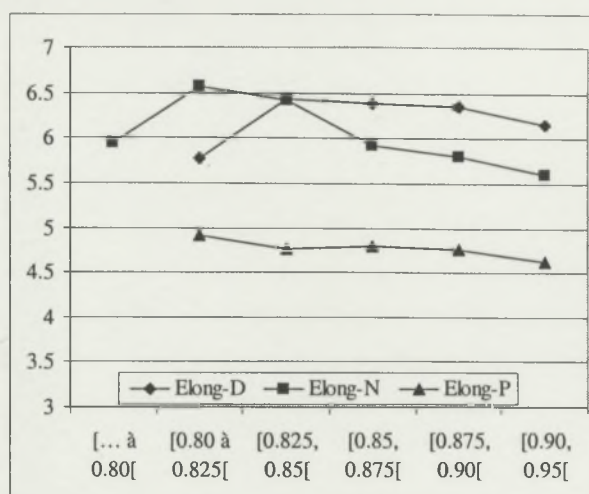


Figure E-38: Relevés des allongements RST04 et RSTXX moyens (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

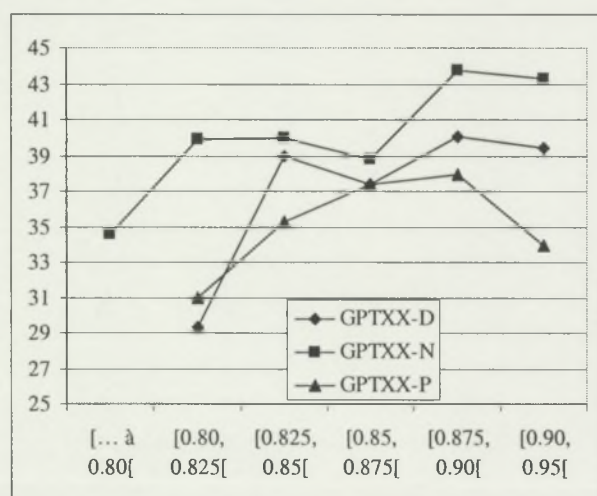


Figure E-37 : Relevés de ténacités RSTXX moyennes (cN/tex) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

Le mode opératoire de cette analyse peut avoir été biaisé par la faible quantité de fibres disponible de certains échantillons (classes extrêmes de maturité).

Tableau E-19 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par RST et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [... à 0.80[ exclues).

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif
Force	N	- 22072 + 38004 MR	0.79	*
ELG	N	35.67 - 26.8 MR	0.91	**
EstWgt XX	N	- 1.18 + 2.28 MR	0.79	*
TexXX	N	- 372.79 + 718.9 MR	0.79	*

Les ténacités ne sont pas affectées par la maturité, mais cela cache le fait que les deux grandeurs qui servent à la calculer, force et masse, sont affectées par la maturité et se compensent. L'allongement d'une variété est sensible à un changement de maturité.



Afin de comprendre la réaction du capteur optique aux échantillons qui lui sont présentés, les relations entre les TAMT de chaque échantillon et les masses correspondantes ont été étudiées pour chaque échantillon. Le Tableau E-20 résume les coefficients de régression obtenus pour les différentes variétés réparties en classes de maturité selon l'Équation E-13 :

$$\text{WGT} = a.\text{TAMT}^2 + b.\text{TAMT} + c$$

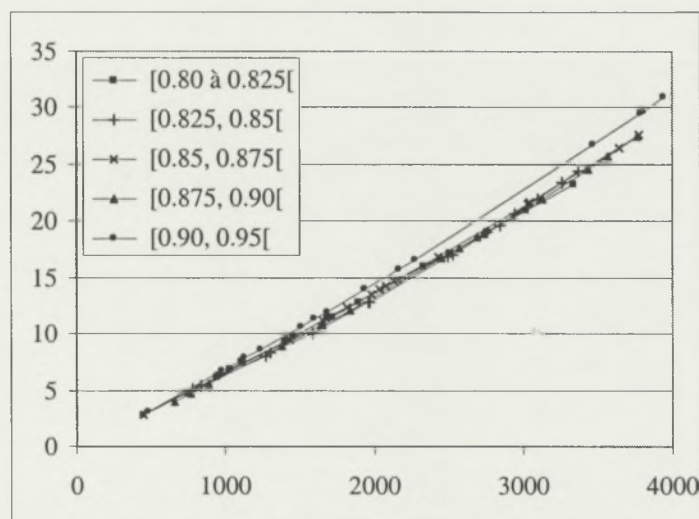
Équation E-13

**Tableau E-20 : Coefficients des relations entre TAMT et la masse par variété et par classe de maturité.**

Variété	Classe	Constante	a	b	R <sup>2</sup>
D	[0.80, 0.825[	-0.1896	0.00659	$1.28 \cdot 10^{-7}$	0.996
	[0.825, 0.85[	1.1449	0.00450	$7.04 \cdot 10^{-7}$	0.995
	[0.85, 0.875[	-0.1142	0.00633	$2.66 \cdot 10^{-7}$	0.997
	[0.875, 0.90[	-0.0709	0.00598	$3.42 \cdot 10^{-7}$	0.997
	[0.90, 0.95[	-0.1226	0.00662	$3.14 \cdot 10^{-7}$	0.999
N	[0.00, 0.80[	-1.418	0.00915	$-1.51 \cdot 10^{-7}$	0.993
	[0.80, 0.825[	0.6189	0.00585	$6.31 \cdot 10^{-7}$	0.998
	[0.825, 0.85[	-0.1203	0.00672	$3.01 \cdot 10^{-7}$	0.999
	[0.85, 0.875[	0.1855	0.00664	$4.63 \cdot 10^{-7}$	0.998
	[0.875, 0.90[	-0.4614	0.00751	$2.74 \cdot 10^{-7}$	0.995
P	[0.90, 0.95[	-0.2405	0.00791	$4.36 \cdot 10^{-7}$	0.994
	[0.80, 0.825[	0.0970	0.00671	$8.88 \cdot 10^{-8}$	0.995
	[0.825, 0.85[	0.2872	0.00502	$6.38 \cdot 10^{-7}$	0.996
	[0.85, 0.875[	-1.8592*	0.00751	$1.70 \cdot 10^{-7}$	0.998
	[0.875, 0.90[	1.3427	0.00414	$1.08 \cdot 10^{-7}$	0.996
	[0.90, 0.95[	0.4933	0.00539	$7.61 \cdot 10^{-7}$	0.993
	Toutes classes	0.5426	0.00549	$4.78 \cdot 10^{-7}$	0.993
	Toutes classes	-0.4772	0.00767	$2.22 \cdot 10^{-7}$	0.981
	Toutes classes	0.8456	0.00458	$9.53 \cdot 10^{-7}$	0.985

\* : significativement différent de 0 pour une raison inexplicée. Toutes les autres valeurs de constante ne sont pas différentes de 0.

Ces relations, représentées sous forme de graphes (Figure E-39 à Figure E-41), nous indiquent qu'un effet de la finesse se fait sentir dans les mesures, mais la maturité ne change pas véritablement ces relations. En effet, les courbes qui s'écartent des autres sont celles qui constituent des groupes à part en terme de finesse (et de maturité) au vu de l'analyse de répartition des capsules par classes de maturité (Figure E-24 à Figure E-29). Cependant, une tendance à l'augmentation de la masse relevée pour un même TAMT existe quand la maturité augmente (dans le même sens que celle du micronaire).



**Figure E-39 : Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les diverses classes de maturité de la variété D.**

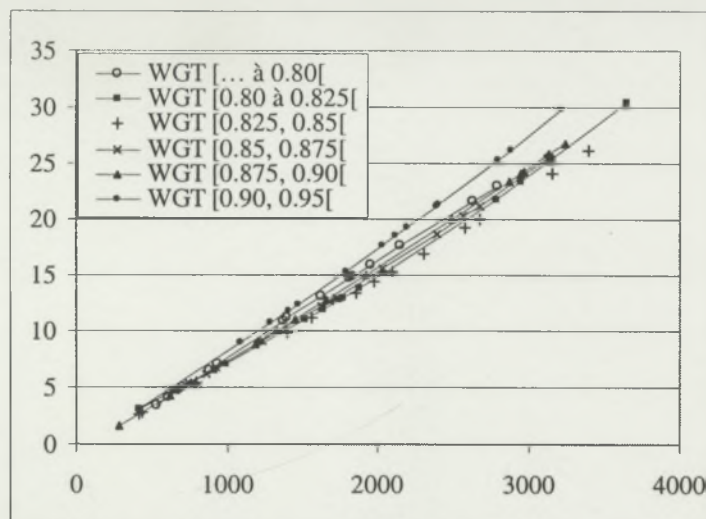


Figure E-40 : Relations des masses relevées en fonction de TMT pour les diverses classes de maturité de la variété N.

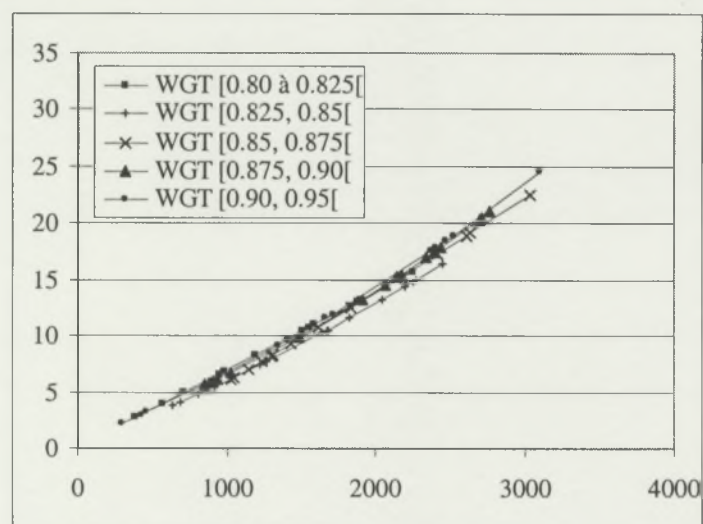


Figure E-41 : Relations des masses relevées en fonction de TMT pour les diverses classes de maturité de la variété P.

Il était prévu de comparer les trois variétés pour étudier l'effet de la finesse des fibres sur les lectures optiques (Figure E-42). Cependant, vu la disparité de caractéristiques autres des échantillons que nous sommes parvenus à réunir, il n'est pas vraiment possible de conclure sur l'effet de la finesse, même si des résultats indiquent une tendance à un effet significatif prépondérant de la finesse sur la maturité.



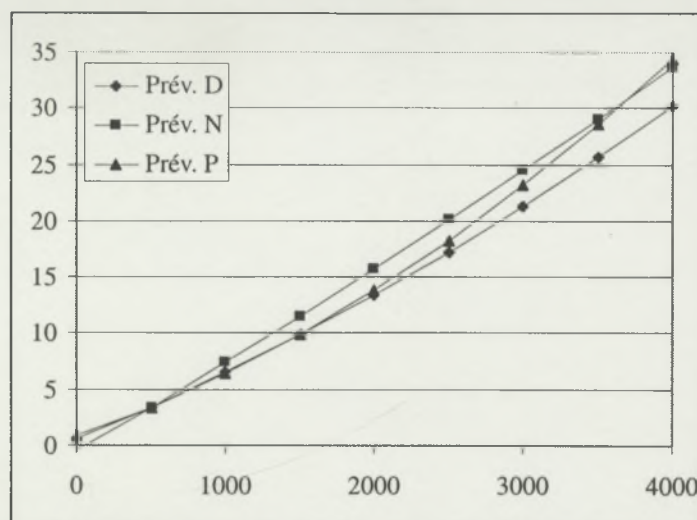


Figure E-42: Relations des masses relevées en fonction de TAMT pour les trois variétés.

#### E.4.3.5. Résultats Stéломètre

Tous les résultats moyens du Stéломètre sont donnés par variété et par classe de maturité dans le Tableau E-21.

Tableau E-21 : Résultats Stéломètre par variété et par classe de maturité.

Variété	Classe	Tl	Elr	Force	Masse
D	[... à 0.80[				
D	[0.80 ; 0.825[	17.36	11.12	5.18	4.38
D	[0.825, 0.85[	18.95	9.04	5.09	3.94
D	[0.85, 0.875[	18.92	9.69	5.05	3.91
D	[0.875, 0.90[	19.41	9.77	4.69	3.54
D	[0.90, 0.95[	19.76	8.48	5.54	4.11
N	[... à 0.80[	18.89	9.94	5.22	4.06
N	[0.80 ; 0.825[	18.17	10.00	5.43	4.38
N	[0.825, 0.85[	19.89	9.66	6.01	4.43
N	[0.85, 0.875[	18.23	7.67	4.91	3.94
N	[0.875, 0.90[	18.68	8.32	5.82	4.56
N	[0.90, 0.95[	20.44	8.09	6.25	4.51
P	[0.80 ; 0.825[	17.49	5.34	4.04	3.39
P	[0.825, 0.85[	17.68	5.64	4.17	3.48
P	[0.85, 0.875[	17.97	4.76	4.04	3.29
P	[0.875, 0.90[	18.53	4.86	4.40	3.47
P	[0.90, 0.95[	18.43	4.80	4.31	3.41

La ténacité mesurée au Stéломètre est sous dépendance de la maturité (Tableau E-22, Figure E-43 à Figure E-46) pour deux variétés seulement. Ces figures montrent des niveaux différents de résultats pour les trois variétés aussi peut-on suspecter un effet de la finesse des fibres à moins qu'il ne s'agisse d'un effet de la structure interne desdites fibres.

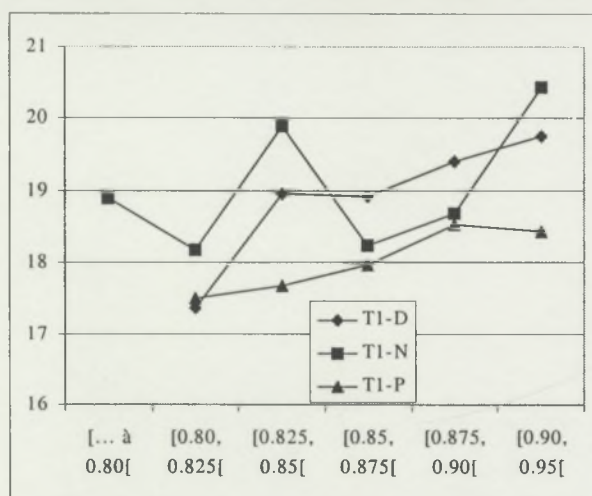


Figure E-43 : Relevés de ténacités moyennes (cN/tex) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

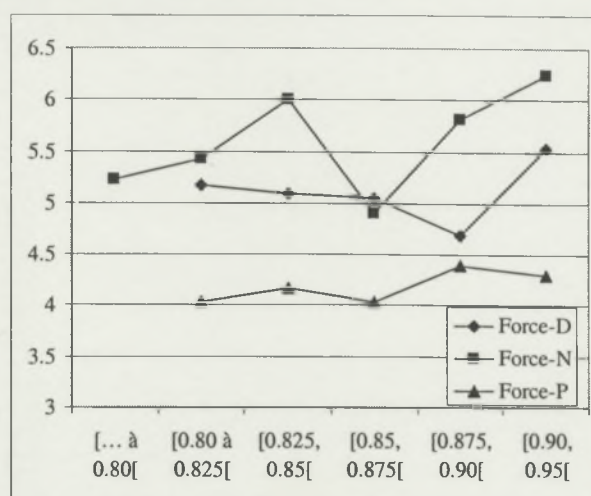


Figure E-45 : Relevés de forces de rupture moyennes (cN) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

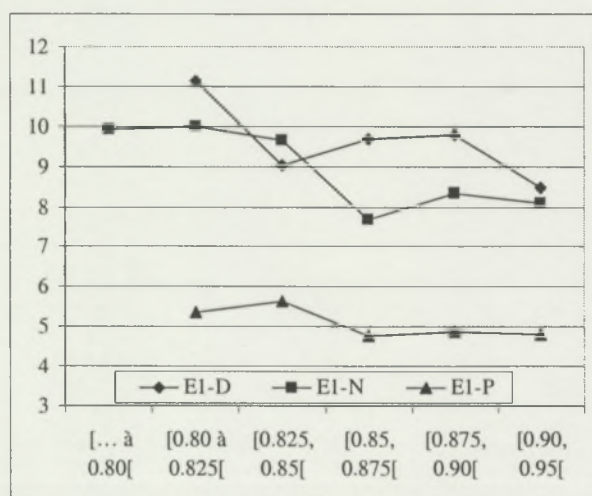


Figure E-44 : Relevés des allongements moyens au Stéломètre (%) des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

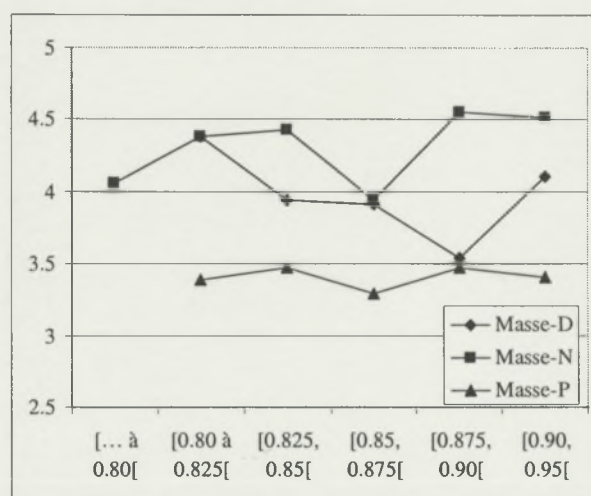


Figure E-46 : Relevés de masses moyennes de fibres rompues (mg) au Stéломètre des échantillons regroupés en fonction de leur classe d'appartenance en maturité.

Tableau E-22 : Liste des relations significatives observées entre les critères mesurés par Stéломètre et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [... à 0.80[ exclues).

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif
Tl	D	$2.79 + 18.60 \text{ MR}$	0.80	*
	P	$9.78 + 9.52 \text{ MR}$	0.85	*

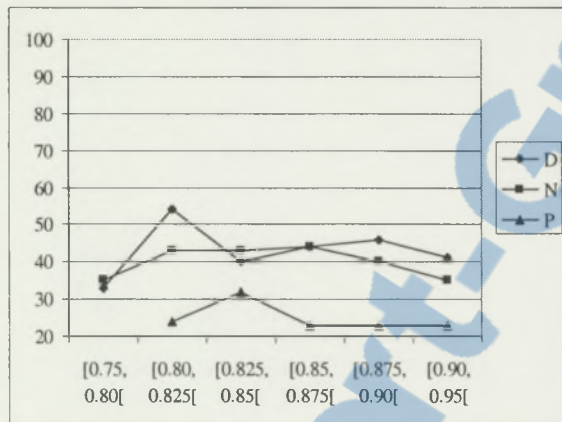
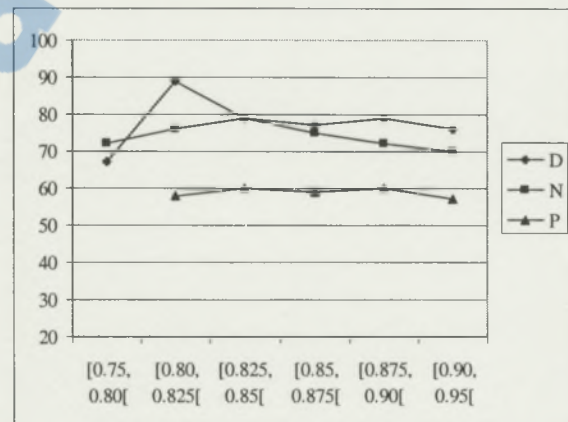
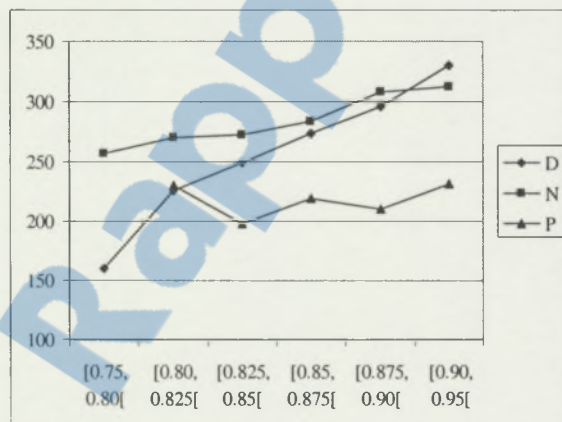
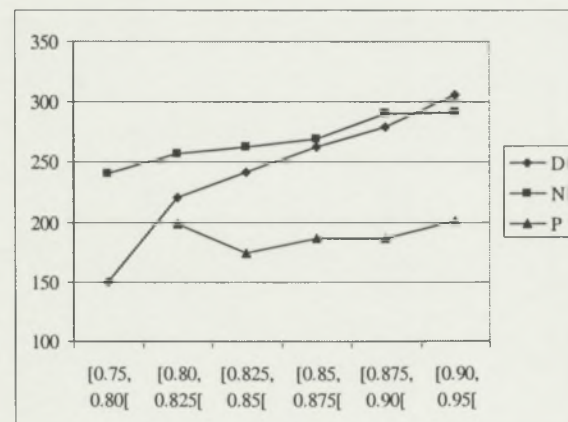
#### E.4.3.6. Résultats des simulations

A partir des données Mantis sur les capsules individuelles, et en accord avec le mode de regroupement physique des fibres, des calculs de simulation ont été réalisés par variété et par classe de maturité. Seules les informations de pas d'allongement correspondant à la force maximale de rupture du faisceau et la force maximale de rupture sont analysées (Tableau E-23 : données moyennes relevées). Les données sont représentées graphiquement par variété et par classe de maturité (Figure E-47 à Figure E-50).



Tableau E-23 : Résultats des simulations.

Variété	Classe	Sans crimp		Avec crimp	
		Pas	Force maximale(cN)	Pas	Force maximale (cN)
D	[... , 0.80[	33	160	67	149
	[0.80, 0.825[	54	225	89	220
	[0.825, 0.85[	40	248	79	241
	[0.85, 0.875[	44	273	77	262
	[0.875, 0.90[	46	295	79	280
	[0.90, 0.95[	41	330	76	305
N	[... , 0.80[	35	257	72	240
	[0.80, 0.825[	43	270	76	257
	[0.825, 0.85[	43	272	79	263
	[0.85, 0.875[	44	284	75	269
	[0.875, 0.90[	40	308	72	290
	[0.90, 0.95[	35	312	70	291
P	[0.80, 0.825[	24	230	58	199
	[0.825, 0.85[	32	198	60	174
	[0.85, 0.875[	23	219	59	186
	[0.875, 0.90[	23	210	60	187
	[0.90, 0.95[	23	231	57	201

Figure E-47 : Allongements (en pas) des faisceaux simulés sans *crimp*.Figure E-49 : Allongements (en pas) des faisceaux simulés avec *crimp*.Figure E-48 : Force maximale (cN) des faisceaux simulés sans *crimp*.Figure E-50 : Force maximale (cN) des faisceaux simulés avec *crimp*.

**Tableau E-24 : Liste des relations significatives entre les critères étudiés sur les simulations et la valeur moyenne des classes de maturité (données de la classe [...] ; 0.80[ exclues).**

Critère	Variété	Equation	R <sup>2</sup>	Signif.
Force maximale sans crimp	D	-524.42 + 923.9 MR	0.99	***
	N	-72.85 + 418.8 MR	0.90	*
Force maximale avec crimp	D	-383.09 + 745.9 MR	0.99	***
	N	-15.24 + 334.6 MR	0.89	*

Dans les conditions de réalisation de ces simulations, les allongements des faisceaux simulés de fibres ne sont pas dépendants de la maturité contrairement à la force de rupture (Tableau E-24) qui croît pour deux des trois variétés. Ce résultat est comparable à celui obtenu sur les données initiales du Mantis. L'apport du *crimp* fait surtout chuter l'allongement relevé sur faisceau sans affecter les forces maximales relevées.

#### **E.4.4. Conclusion**

Grâce à cette expérimentation, nous avons pu vérifier que l'effet du micronaire sur les résultats est confirmé. Nous avons également montré l'influence prépondérante de la finesse sur la maturité dans les modifications de résultats observés.

Le fait que le degré d'épaississement de la paroi cellulosique des fibres n'affecte pas les résultats de dynamométrie pour une variété au moins constitue un résultat surprenant qu'il serait nécessaire de confirmer et expliquer.

L'utilisation dans cette expérimentation de fibres naturelles en très faible quantité constitue la limite de l'approche. En effet, pour démontrer cet effet de manière irréfutable, il serait nécessaire de fabriquer des fibres cellulosiques de mêmes formes générales que les fibres de coton, mais dont les propriétés de finesse et de maturité puissent être ajustées très précisément.

### **E.5. Effet de la distribution en longueur des fibres : expérience à une seule coupe**

#### **E.5.1. Objectif :**

L'objectif est d'étudier l'effet de la modification des paramètres de longueur des échantillons sur la mesure de résistance de rupture mesurée par HVI. Toutefois, d'autres appareils de mesure ont été utilisés pour comprendre les biais et au besoin disposer de nouvelles connaissances techniques en vue de l'amélioration du principe de mesure HVI. Ainsi, le Stélomètre, deux méthodes différentes de RST, le Mantis et le HVI ont été les quatre dynamomètres utilisés dans cette étude.

L'hypothèse émise ici réside dans le fait que la modification de la distribution des longueurs de fibres ne devrait pas influencer les résultats de mesure de résistance de rupture, car le HVI sélectionne la quantité de fibres à rompre et l'emplacement où appliquer la casse et ainsi positionner la pince arrière de traction par rapport aux fibres en fonction du fibrogramme mesuré précédemment.

Les dispositifs mécaniques de pinçage des fibres nécessitent cependant une longueur minimale de certaines fibres du faisceau pour que le test de dynamométrie puisse être réalisé. Cette longueur minimum devrait correspondre à la somme des distances suivantes :

- des dents du peigne au milieu du dispositif de lecture des longueurs de fibre (environ 3.6 mm) ;
- du milieu du dispositif de lecture des longueurs de fibre à la face avant de la pince de traction arrière du dynamomètre (environ 8.9 mm) ;



- à ces distances, il faut ajouter une longueur suffisante de fibre permettant un serrage sans glissement des fibres lors du test de traction (supérieure à 0).

Il s'ensuit que, pour qu'elles puissent participer à un test de dynamométrie, les fibres les plus courtes doivent au moins dépasser de 12.5 mm du peigne, ces distances ayant été relevées sur le HVI 910 B de l'USDA à Clemson. Cependant comme nous l'avons vu plus haut, cette distance est plus facile à atteindre dans le cas de cotons longs que pour les cotons courts.

Pour parvenir à démontrer un effet de la longueur des fibres, on ne peut se contenter de sélectionner beaucoup de cotons ou des variétés différentes ayant des couples de caractéristiques [longueur, ténacité] propres, car les variétés ont probablement été sélectionnées sur ces deux critères pour répondre à une demande. Il est donc nécessaire de sélectionner des cotons différents et d'en affecter la longueur par un moyen quelconque, une coupe par un moyen mécanique par exemple. En émettant l'hypothèse que les points de moindre résistance sont disposés aléatoirement le long de chaque fibre individuelle, quelle que soit la longueur des fibres de chacun des cotons, aucun effet de la longueur des fibres ne devrait être décelé sur les niveaux de mesure de la ténacité.

### **E.5.2. Résultats attendus**

Tout changement de valeur de la ténacité enregistrée sur tout type de dynamomètre entre échantillons 'coupés' et 'non coupés' ne pourra être expliqué que par la coupe des fibres dans leur longueur (augmentée de l'erreur expérimentale) et au décalage induit de leur fréquence de distribution vers les petites valeurs comme nous devrions l'observer grâce à une mesure AFIS au moins.

- S'il n'y a pas de différence de ténacité induite par la longueur des fibres alors la lecture de ténacité par le système HVI pourra être considérée comme non biaisée par la distribution de la longueur des fibres.
- S'il existe une différence de ténacité induite par la coupe, les résultats de ténacité sont biaisés et il faudra trouver des explications à ce phénomène ainsi qu'une explication des conséquences en terme d'utilisation quotidienne dans la filière.

### **E.5.3. Matériels et méthodes**

Les fibres de cinq cotons ont été 'coupées' grâce à un massicot de manière à en changer la distribution des longueurs. En conséquence toute variation de comportement est supposée n'être due qu'au changement de longueur de fibre, et des tests par paires seront possibles pour en vérifier l'effet sur les résultats de dynamométrie.

#### **E.5.3.1. Organisation de l'expérimentation**

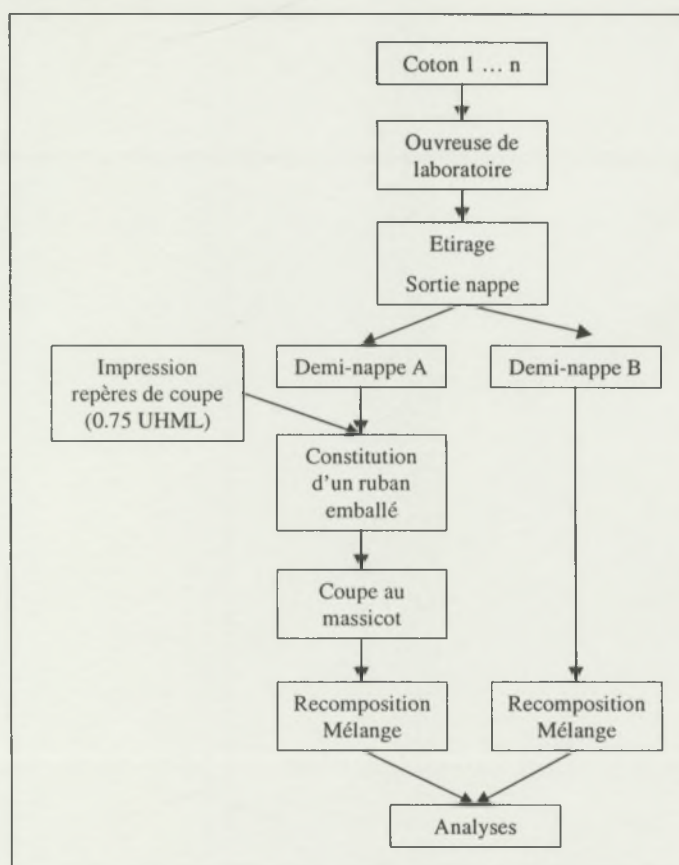
Cinq cotons (1243, 28463, 28764, gva2 et B26 ) ont été choisis de manière à respecter les contraintes suivantes (Tableau E-25) :

- les micronaires (IM) doivent être proches et avoisiner 4.0 si cela est possible avec un maturity ratio (MR), une finesse linéique (H) et une finesse standard (Hs) comparables pour éviter l'utilisation de l'algorithme de correction des poids du HVI ;
- la colorimétrie des cotons indiquée par les paramètres de réflectance (Rd) et le degré de jaune (+b) doit rester proche pour éviter l'interaction déjà démontrée précédemment ;
- une certaine gamme de longueur des cotons doit être choisie pour vérifier la plage de validité des mesures si l'interaction de la longueur des fibres avec la mesure de résistance est avérée significative ;
- les cotons doivent couvrir une gamme de ténacité HVI.

**Tableau E-25 : Caractéristiques technologiques des cotons retenus pour l'expérimentation.**

Coton	1243	28463	28764	b26	gua2
IM	3.96	4.06	3.02	4.46	4.16
MR	0.88	0.90	0.69	0.82	0.86
H (mtex)	167	168	147	205	181
Hs (mtex)	191	186	214	249	210
Rd (%)	75.5	73.9	75.3	75.1	73.9
+b	9.7	12.5	11.2	13.1	10.6
ML (mm)	24.0	24.7	27.4	20.0	23.4
UHML (mm)	28.8	29.3	32.9	24.9	28.2
UI (%)	83.4	84.4	83.2	80.3	83.0
Strength (cN/tex)	29.8	31.3	39.4	22.2	28.6
Elong (%)	6.4	6.0	6.0	5.9	5.4

Notons que le coton 28764 montre principalement des caractéristiques particulières de micronaire qui peuvent occasionner l'activation des formules de correction du HVI pour estimer la masse de fibres rompues.

**Figure E-51 : Schéma de l'expérimentation sur les coupes de fibres.**

Chacun des 5 cotons a subi les opérations suivantes (Figure E-51) :

- 50 grammes ont été prélevés dans la population.
- Chaque échantillon a été homogénéisé grâce à un passage à l'ouvreuse de laboratoire (mini-carde sans chapeau). La matière a été enroulée sur un tambour afin d'alimenter le banc d'étirage.
- Chaque nappe a été étirée sur un banc d'étirage en vue d'obtenir une nappe secondaire où toutes les fibres auront une forte probabilité d'être déployée au mieux et parallélisées (étirage de 10.9 avec un pignon de 102 dents, écartement des cylindres = UHML + 10 mm). L'objectif poursuivi ici est bien de contrôler au mieux l'effet de la coupe de fibres. La matière a été récupérée sur le tambour sans utiliser le condenseur chargé de former un ruban. Les fibres sont donc restées sous la forme d'une nappe de fibres



parallèles. Cette nappe a été divisée à la main dans le sens de sa longueur en deux demi-nappes référencées A et B.

Note : Le choix de ne pas utiliser le condenseur de la nappe en ruban a été fait pour garantir une meilleure homogénéisation des échantillons de fibres. Ainsi, il y a accumulation de couches successives. Ce choix est justifié par le fait que de très petites quantités de fibres seront caractérisées (Mantis et AFIS en particulier) et qu'il faut que ces petites quantités soient représentatives des échantillons préparés. Il est cependant évident que ce choix est fait au détriment d'une meilleure parallélisation des fibres.

- Chaque demi-nappe A a été enroulée manuellement et sous pression dans le sens de la largeur (perpendiculairement à la longueur des fibres pour maintenir les fibres aussi parallèles que possible) dans un papier où des lignes ont été tracées tous les  $\frac{3}{4}$  de UHML pour chaque coton (Figure E-52).

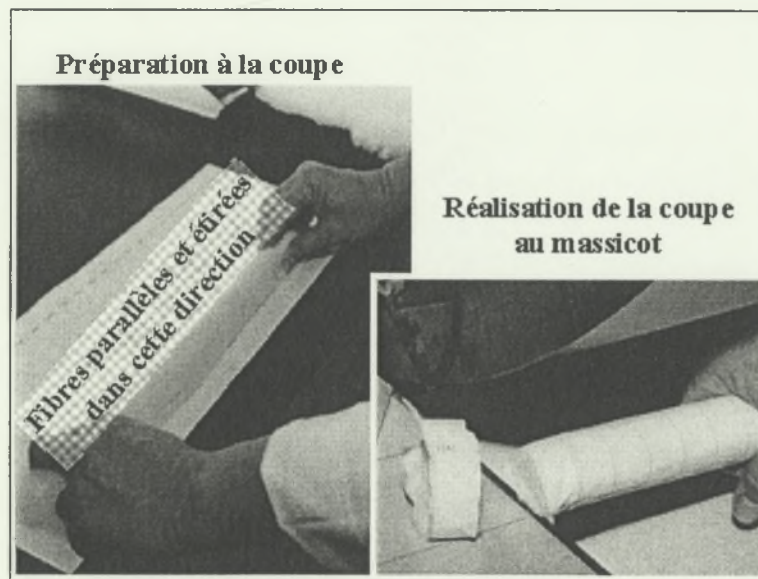


Figure E-52 : Vue photographique de la préparation et de la coupe au massicot des échantillons de fibres.

- En utilisant un massicot, chaque demi-nappe A enroulée dans son emballage a été coupée selon les traits tracés tous les  $\frac{3}{4}$  de UHML de chaque coton (niveau de facteur coupe libellé 'C075'). Le choix de ce coefficient de coupe est justifié par le fait qu'il faut s'assurer de la présence de suffisamment de fibres assez longues (minimum 15 mm) pour les analyses au Stéломètre.
- Les demi-nappes A ont été homogénéisées à la main pour composer un échantillon utilisable sur les appareils de mesure (niveau de facteur coupe libellé 'NC'). L'objectif de cette opération est d'éliminer ou au moins de limiter la parallélisation des fibres qui peut être préjudiciable à un bon échantillonnage et/ou à une sensibilité particulière des appareils d'analyse à des échantillons de fibres parallèles. Par exemple, il est connu que la parallélisation des fibres nuit fortement à la qualité des mesures et la fiabilité des résultats FMT3.
- La deuxième demi-nappe B de chaque coton ne subit qu'une opération d'homogénéisation à la main pour composer un échantillon utilisable sur les appareils de mesure.

Ces dispositions ont été réalisées avec l'objectif que seule la coupe des fibres différencie la méthode de préparation des échantillons avant analyses.

Ce protocole a été réalisé deux fois par coton pour évaluer la répétabilité de l'opération de coupe et va permettre d'analyser les données en ajoutant un effet bloc dans les analyses de variance.

#### E.5.3.2. Analyses de caractérisation

Tous les échantillons ont été conditionnés au moins 24 heures dans une atmosphère normale, et ont été testés sur :

- FMT3 avec 2 mesures par échantillon, en deux blocs randomisés d'analyse ;
- AFIS sur tous les modules de mesure avec 2 répétitions de 3000 fibres ;
- HVI avec 10 peignes par échantillon comme cela est réalisé traditionnellement au laboratoire pour obtenir un intervalle de confiance des mesures suffisamment restreint. Deux blocs randomisés d'analyses ont été réalisés dans ces conditions. Un étalonnage adéquat de l'appareil de mesure a été réalisé ainsi qu'une vérification des niveaux de résultats grâce à l'analyse des cotons de référence dans la série des échantillons à tester. Le même micronaire est saisi pour les échantillons coupés et non coupés pour un coton donné ;
- Mantis avec 50 fibres par répétition, 2 répétitions d'analyse par combinaison de 5 cotons dans 2 états (coupé ou non), expérimentation réalisée en 2 blocs, soit un total de 2025 fibres testées ;
- Stéломètre avec de 3 à 5 casses par échantillon et les 3 standards ICCS de référence suivants : C38, G21, M.
- RST avec 15 peignes par échantillon (comme cela est réalisé traditionnellement au sein du groupe de travail RST).

#### E.5.4. Résultats et discussion

Toutes les analyses de variance et de régression ont été réalisées en prenant soin de vérifier que les conditions nécessaires et préalables à ces analyses étaient remplies. En particulier, les hypothèses de normalité des données, d'homogénéité des variances et de normalité des résidus ont été vérifiées. Dans ce document, ne seront mentionnés que les cas où les hypothèses de base n'ont pas été respectées.

##### E.5.4.1. Mesure FMT3

Au moins pour les analyses par HVI, il est nécessaire de vérifier qu'il n'y a pas de changement de valeur de micronaire et des autres paramètres comme la maturité et la finesse induite par la coupe des fibres, qui pourrait engendrer des modifications de lectures de ténacité du fait de la correction des résultats par une fonction du micronaire. On pose l'hypothèse que la coupe ne devrait pas affecter les valeurs de micronaire, de MR, de H et de HS.

**Tableau E-26 : Effet de la coupe des fibres sur les paramètres de maturité / finesse mesurés par FMT3 ; résultats de l'analyse de variance.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
IM	0.0000	***	0.1026	NS	0.1326°	NS	0.0146*	1.0
MR	0.0000	***	0.0645	NS	0.3595	NS	NS	1.5
PM	0.0000	***	0.0588	NS	0.3502	NS	NS	1.5
H	0.0000°	***	0.6885	NS	0.8976	NS	NS	1.9
Hs	0.000°	***	0.2029	NS	0.7042	NS	NS	3.3

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.



Une analyse de variance selon le dispositif factoriel en bloc à deux facteurs (variété, coupe) a permis de montrer qu'aucun des paramètres mentionnés ci-dessus n'a été affecté par la coupe (Tableau E-26) conformément à ce qui était attendu. Les variables analysées sont l'indice micronaire (IM, sans unité), le *Maturity Ratio* (MR, sans unité), le pourcentage de fibres mûres (PM en %), la finesse linéique (H, en mtex) et la finesse standard (Hs en mtex).

**Tableau E-27 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats FMT3.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
Coupe	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
IM	3.86	3.91	4.01	3.96	3.07	3.02	4.45	4.36	4.01	4.01
MR	0.88	0.88	0.86	0.86	0.70	0.69	0.82	0.79	0.85	0.84
PM	78.1	78.4	76.7	76.4	62.2	60.6	73.5	70.5	75.8	75.0
H	162	164	172	170	148	148	205	206	174	176
Hs	184	186	200	198	210	215	248	261	205	209

Notons qu'un effet significatif de la répétition de coupe apparaît sur le paramètre IM ; cependant cet effet n'est pas techniquement utilisable car l'écart entre les valeurs moyennes est très faible au regard de la précision de l'appareil (Tableau E-27, différence = 0.04 unité).

La coupe n'a pas affecté les lectures du FMT3, et les valeurs de micronaire issues de ces analyses peuvent être saisies sur le HVI comme valeur caractéristique des échantillons coupés et non coupés.

#### E.5.4.2. Mesure AFIS

Grâce aux résultats d'analyse de tous les échantillons sur AFIS, nous pouvons évaluer l'impact de la coupe des fibres sur les distributions de longueur des échantillons.

Comme précédemment, la valeur UQLw de AFIS est celle qui correspond le mieux à la valeur UHML du HVI, et c'est ce critère technologique qui est analysé en premier. La coupe a réellement été efficace pour affecter la distribution des longueurs de fibres en vue des divers tests complémentaires (Figure E-53).

Nous pourrions donc réellement évaluer l'effet du changement de longueur des échantillons sur les différentes mesures de résistance de rupture.

Pour compléter l'analyse, il est nécessaire de vérifier si la coupe des cotons à un coefficient de  $0.75 * UQLw$  s'est bien traduite par une diminution équivalente de la longueur des fibres en traçant la relation UQLw mesurée en fonction de la valeur UQLw attendue. Cette relation très hautement significative ( $R^2 = 0.80$ , THS) a pour équation :

$$UQLw \text{ mesuré} = 1.05 UQLw \text{ attendu} - 0.27.$$

La pente est non significativement différente de 1 et l'ordonnée à l'origine est non différente de 0. Par ailleurs, un test t de Student de comparaison entre les moyennes des résultats obtenus sur échantillons coupés et ceux attendus ne montre pas de différence significative des moyennes. Les coefficients de coupe constatés sont très proches de celui qui était attendu pour tous les cotons (Figure E-54).

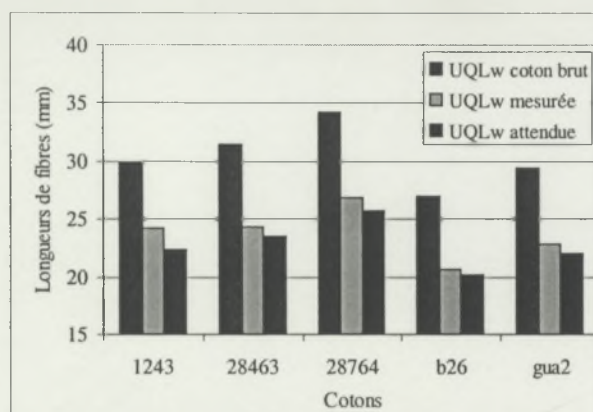


Figure E-53 : Effet de la coupe sur quelques critères de distribution de longueur des échantillons utilisés.

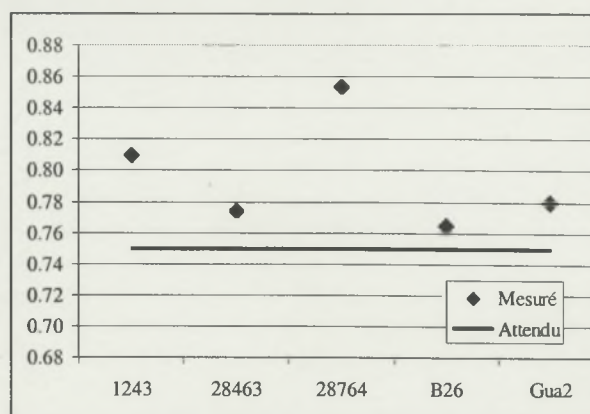


Figure E-54 : Evolution du coefficient de coupe par coton.

En complément, une analyse de variance selon le dispositif factoriel en blocs à deux facteurs (cinq niveaux pour le facteur variété, deux niveaux dans le facteur coupe) et deux niveaux pour le bloc des principales caractéristiques de longueur (Tableau E-28 et Tableau E-29) confirme que la coupe a eu un effet hautement significatif sur tous les critères de longueur des fibres mesurés par AFIS. Les caractéristiques analysées sont la longueur moyenne en poids (Lw, en mm), le coefficient de variation de la longueur des fibres (LwCV, en %), l'*Upper Quartile Length* en poids (UQLw en mm), la longueur moyenne en nombre (Ln, en mm) et le coefficient de variation de la longueur en nombre (LnCV, en %).

Tableau E-28 : Effet de la coupe des fibres sur les paramètres de longueur par AFIS ; résultats de l'analyse de variance.

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
Lw	0.0000	***	0.0000°	***	0.0536	NS	NS	1.7
LwCV	0.0019°	***	0.0000°	***	0.0578	NS	NS	2.1
UQLw	0.0000	***	0.0000	***	0.1327	NS	NS	1.6
Ln	0.0000°	***	0.0000°	***	0.0165	*	NS	2.1
LnCV	0.0001	***	0.0000°	***	0.0046	**	0.0472	1.8

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Tableau E-29 : Relevé des moyennes des paramètres de longueur mesurés par AFIS par variété et par niveau du facteur coupe.

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
Lw	19.48	24.45	19.55	26.45	21.22	27.28	16.55	22.47	18.30	24.33
LwCV	41.08	35.12	40.40	31.50	42.12	37.07	41.08	33.72	41.60	34.30
UQLw	24.18	29.87	24.33	31.43	26.82	34.23	20.62	26.97	22.88	29.35
Ln	15.25	20.02	15.27	22.43	16.13	21.50	12.90	18.87	14.13	20.07
LnCV	53.01	47.17	52.87	42.38	56.23	52.05	53.30	43.78	54.27	46.00

#### E.5.4.3. Mesure HVI

Puisque le micronaire n'a pas été affecté par la coupe, nous pouvons entreprendre l'analyse des autres critères mesurés par HVI : ML (mm), UHML (mm), UI (%), Strength (cN/tex), Elong (%), WorkPeak (m.N), WorkTotal (m.N), Crimp (%) et Modulus (cN/(tex.%)).

Comme pour les données AFIS, la première étape est de vérifier que l'application du coefficient de coupe sur les fibres se traduit bien par une baisse de la longueur de fibres telle que mesuré par HVI.



La même démarche est appliquée pour les résultats de UHML. La relation UHML mesurée sur les échantillons en fonction de la mesure de UHML attendue donne une relation très hautement significative ( $R^2 = 0.986$ , THS) d'équation UHML mesurée =  $1.08 \text{ UHML attendue} + 0.70$ . La pente n'est pas significativement différente de 1 et l'ordonnée à l'origine pas significativement différente de 0. Cependant, au regard de la Figure E-55, il apparaît un écart de moyennes d'une valeur de 2.45 mm entre les deux grandeurs en faveur des valeurs mesurées qui peut être démontré par un test t de Student (Figure E-56, probabilité de dépassement = 0.0169, significatif au seuil 5 %).

Quelle est l'explication de ce résultat ? Il est possible que le HVI réagisse différemment selon que les peignes soient beaucoup ou peu chargés en fibre. Une comparaison entre les moyennes et variances obtenues de la répétition 1 et celles de la répétition 2 ne montre aucune différence induite par le facteur 'répétition du traitement de coupe' pour toutes les caractéristiques mesurées par HVI, excepté celle de l'*amount* (*amount* répétition 1 = 774, répétition 2 = 719). Aucune relation entre les différentes caractéristiques mesurées à l'*amount* n'est significative, que le jeu de données soit pris dans son ensemble ou par répétition.

Pour la répétition 1, en utilisant le même procédé d'analyse, il n'apparaît pas de différence de moyenne entre les valeurs attendues de UHML et celles observées (différence de 2.51 mm, probabilité = 0.124, NS), et une relation hautement significative existe entre les deux critères avec une pente non différente de 1 et une ordonnée non différente de 0.

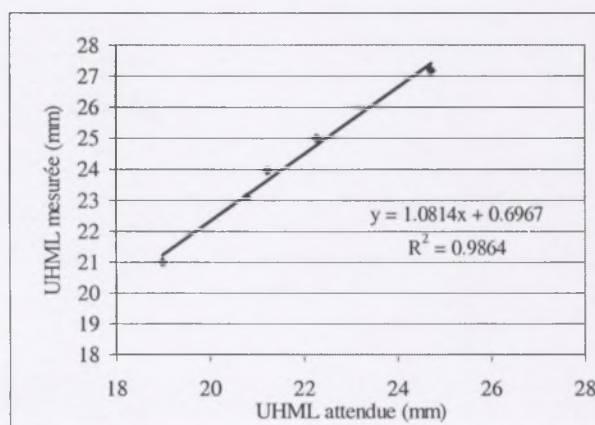


Figure E-55 : Relation entre la mesure de UHML mesurée et celle attendue.

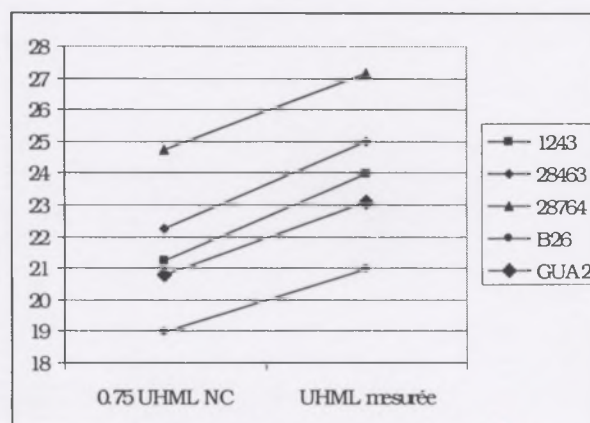


Figure E-56 : Comparaison des moyennes de UHML (attendue, mesurée).

Pour la répétition 2, nous obtenons les mêmes conclusions (une différence de moyennes de l'ordre de 2.4 mm, probabilité = 0.11, NS) et une relation hautement significative ( $R^2 = 99.8$ ). Mais dans ce cas, l'ordonnée à l'origine est statistiquement différente de 0 avec une valeur de 1.77.

Ainsi, il se trouve qu'entre les deux répétitions de traitement, en moyenne plus de fibres ont été prélevées dans les peignes lors de la répétition 1 que lors de la répétition 2 et que cet effet n'a été sensible que sur la valeur d'*amount*, et sur un écart de UHML dans le cas de la deuxième répétition. Il est possible qu'un effet 'ouverture/préparation des échantillons' puisse expliquer ce résultat.

Pour ce qui concerne les autres résultats d'analyse, les analyses de variance ont été réalisées selon le même dispositif que précédemment (Tableau E-30 et Tableau E-31).

**Tableau E-30 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
ML	0.0000	***	0.0000	***	0.0059	**	NS	1.2
UHML	0.0000	***	0.0000	***	0.0145	*	NS	0.9
UI	0.0000	***	0.0000	***	0.0162	*	NS	0.4
Strength	0.0000	***	0.0000	***	0.3388	NS	NS	1.3
Elong	0.0000	***	0.0000	***	0.0000	***	NS	1.5
Amount	0.0229	*	0.0223	*	0.1544	NS	0.0010***	3.4
WorkPeak	0.0000°	***	0.0000°	***	0.0013	**	NS	2.1
WorkTotal	0.0000	***	0.0000	***	0.8880	NS	NS	2.3
Crimp	0.0000	***	0.0000°	***	0.0002	***	NS	8.8
Modulus	0.0000	***	0.0000	***	0.0002	***	NS	3.4

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Les paramètres ML, UHML et UI% sont affectés : comme prévu, la coupe a occasionné un changement dans la distribution des longueurs de fibres.

En revanche, l'effet observé pour les lectures de ténacité et des critères associés ne permet pas de valider l'hypothèse nulle selon laquelle il ne devrait pas y avoir de changement de résultats en fonction de la distribution de longueur des fibres. Un effet hautement significatif est observé, montrant la sensibilité des mesures de ténacité au HVI à un changement de distribution de longueur des fibres (Figure E-57). Un écart moyen de 3.0 cN/tex (pour une gamme d'écarts allant de 2.5 à 3.6 cN/tex) est noté entre les cotons coupés et ceux qui ne le sont pas.

**Tableau E-31 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats HVI.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	Coupe		Coupe		Coupe		Coupe		Coupe	
ML	18.48	23.19	19.56	25.08	21.14	27.40	15.94	20.54	17.81	22.60
UHML	23.96	28.29	25.01	29.68	27.18	32.94	20.98	25.32	23.10	27.70
UI	77.12	81.95	78.18	84.52	77.76	83.16	75.97	81.12	77.11	81.56
Strength	26.55	29.35	28.64	31.56	36.31	39.38	19.78	22.26	25.23	28.86
Elong	5.51	5.95	5.22	5.93	5.39	6.03	6.06	5.68	5.14	5.01
Amount	707	715	753	754	824	751	757	732	769	704
WorkPeak	1.78	2.44	2.02	2.71	2.46	3.08	1.30	1.61	1.47	2.03
WorkTotal	3.06	3.55	3.16	3.57	3.58	4.00	2.44	2.94	2.40	2.86
Crimp	2.86	3.50	3.48	3.78	3.16	3.11	0.39	2.95	1.33	3.36
Modulus	2.11	2.47	2.63	2.62	2.91	2.78	1.45	1.85	1.97	2.78

Toutes les interactions relevées (Figure E-58 à Figure E-66) dans le Tableau E-30 ne permettent pas de conclure à une modification de l'ordre de classement des variétés entre les états (excepté pour l'allongement, le *crimp* et pour le *modulus*), mais laissent à penser qu'il est possible que le classement des variétés puisse changer dans une gamme plus large de caractéristiques. Or les cotons choisis pour cette expérimentation couvrent une gamme très large de longueur. Nous pouvons donc conclure à un effet statistiquement significatif mais sans implication pratique importante.



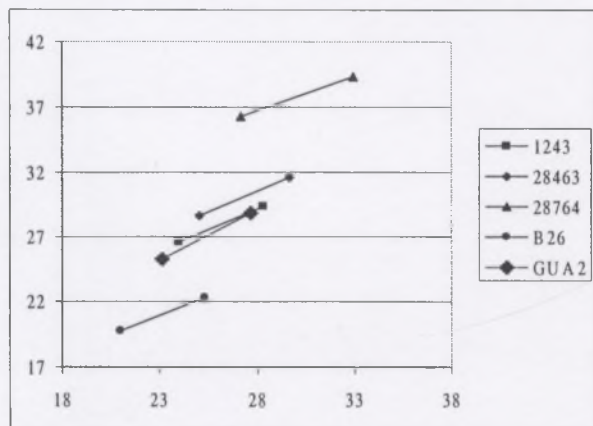


Figure E-57 : Illustration de l'effet de la coupe : relation entre la strength (cN/tex) et la longueur UHML (mm) des fibres.

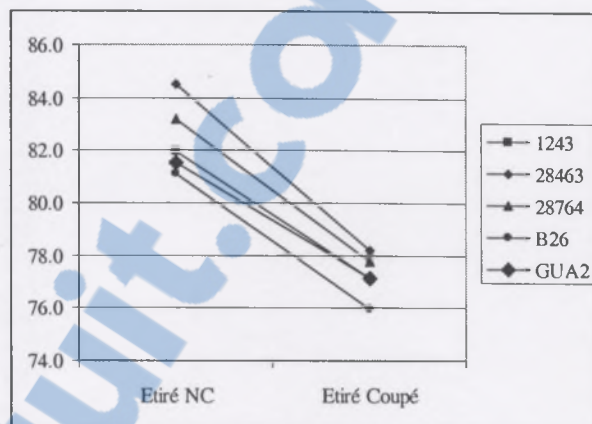


Figure E-60 : Représentation de l'interaction constatée pour l'Uniformity Index exprimé en %.

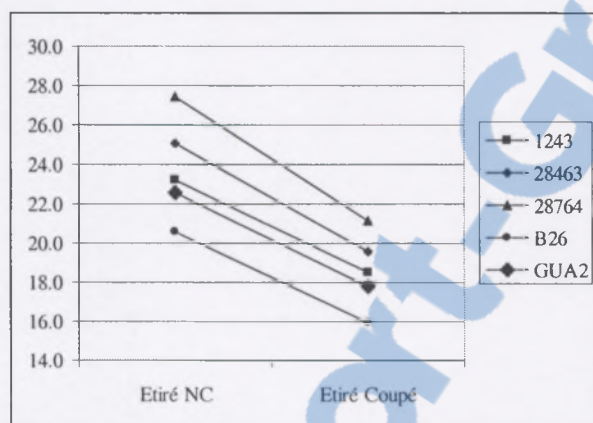


Figure E-58 : Représentation de l'interaction constatée pour la Mean Length exprimée en mm.

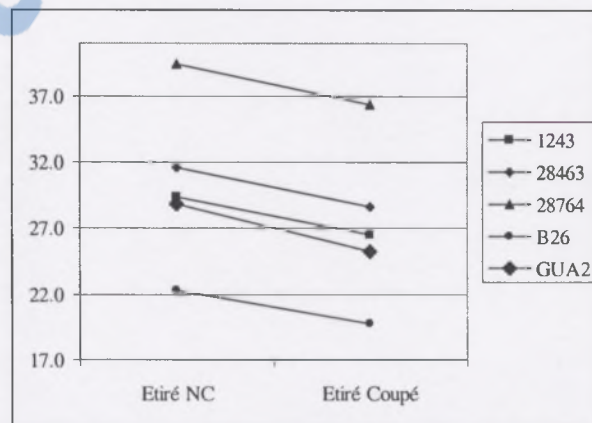


Figure E-61 : Représentation de l'interaction constatée pour la Strength exprimée en cN/tex.

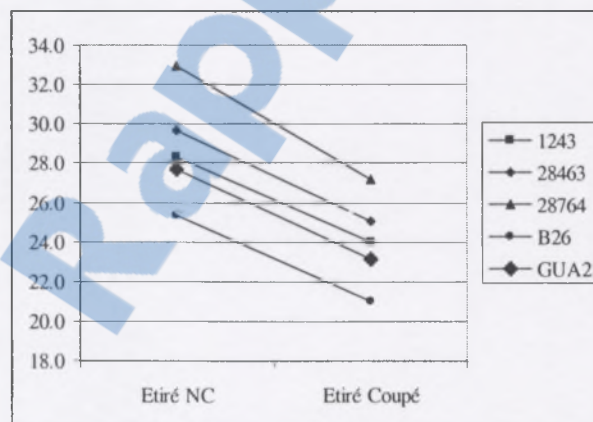


Figure E-59 : Représentation de l'interaction constatée pour l'Upper Half Mean Length exprimée en mm.

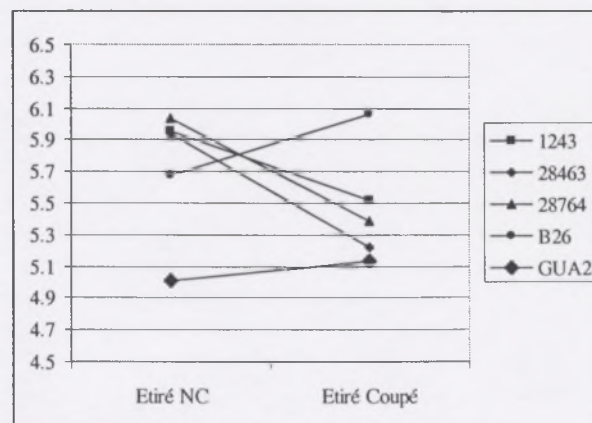


Figure E-62 : Représentation de l'interaction constatée pour Elong exprimé en %.

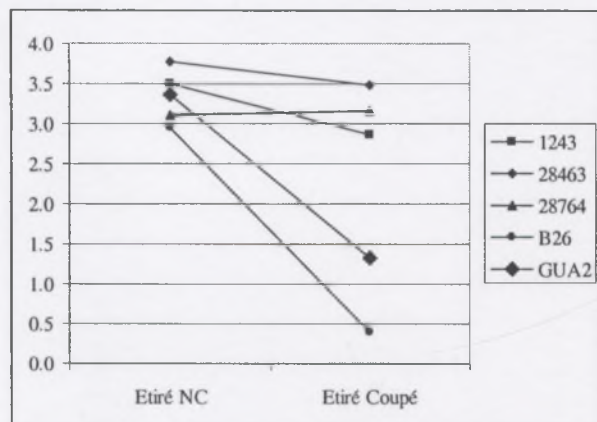


Figure E-63 : Représentation de l'interaction constatée pour le Crimp exprimé en %.

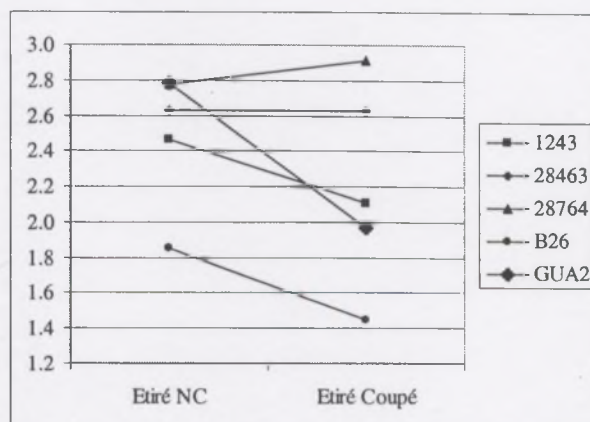


Figure E-66 : Représentation de l'interaction constatée pour le Modulus en cN/(tex. %).

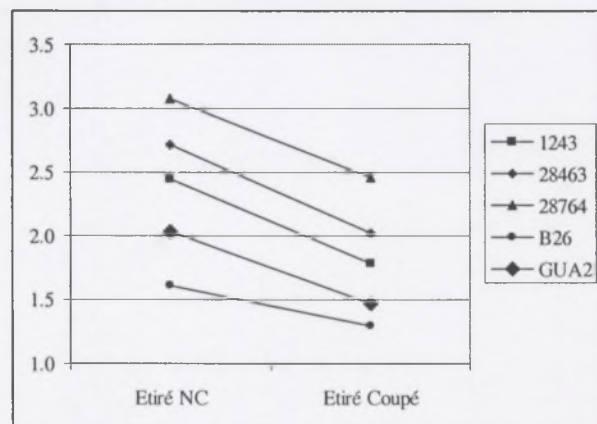


Figure E-64 : Représentation de l'interaction constatée pour le Work Peak exprimé en m.N.

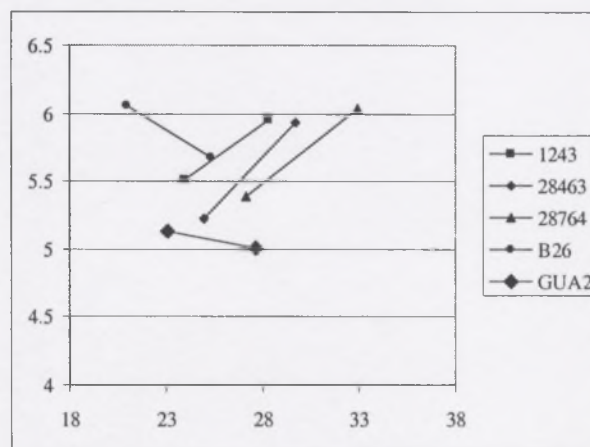


Figure E-67 : Relation entre l'allongement HVI et la longueur des fibres, par coton.

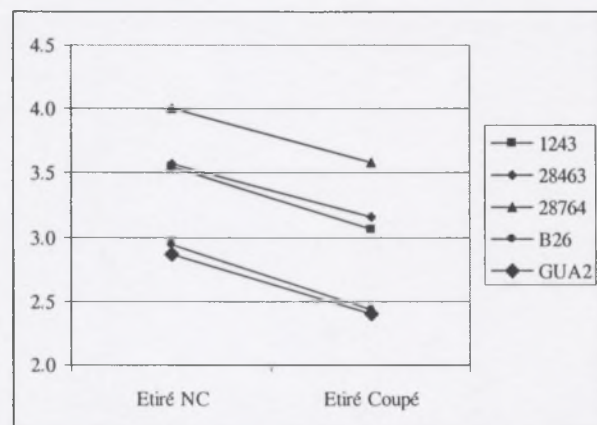


Figure E-65 : Représentation de l'interaction constatée pour le Work Total exprimé en m.N.

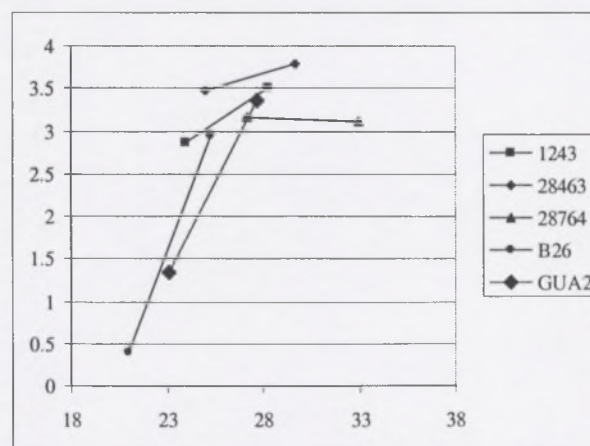


Figure E-68 : Relation entre le crimp et la longueur des fibres, par coton.



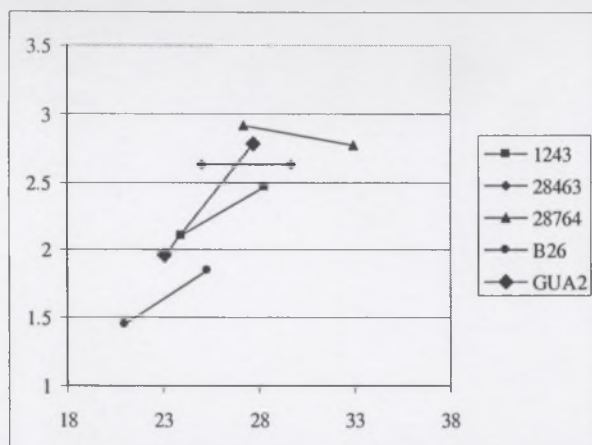


Figure E-69 : Relation entre Modulus HVI et la longueur des fibres, par coton.

Les cas de l'allongement, du *crimp* et du module sont intéressants à discuter. Dans les trois cas, le changement de réaction apparaît nettement pour les cotons B26 et GUA2 et un peu moins nettement pour 1243, qui sont les plus courts à l'état brut, et qui se retrouvent également les plus courts après la coupe par un coefficient constant. Ainsi, les fibres des cotons les plus courts verraient :

- leur allongement augmenté (Figure E-67),
- le *crimp* diminué (Figure E-68)
- et leur *modulus* diminué quand les fibres sont plus courtes (Figure E-69).

Une hypothèse pour expliquer cette réaction serait que la préparation du faisceau de fibres pour l'analyse ne serait pas réalisée de la même manière quand les fibres sont plus courtes. Par préparation, il faut entendre l'échantillonnage des fibres dans le *Fibrosampler*, le retrait des fibres non maintenues dans le peigne, la parallélisation des fibres et leur mise en pré-tension par le brossage, leur maintien dans cette position dans le flux d'air aspiré, jusqu'à la fermeture des pinces de traction et l'application d'une pré-tension et de la charge de rupture.

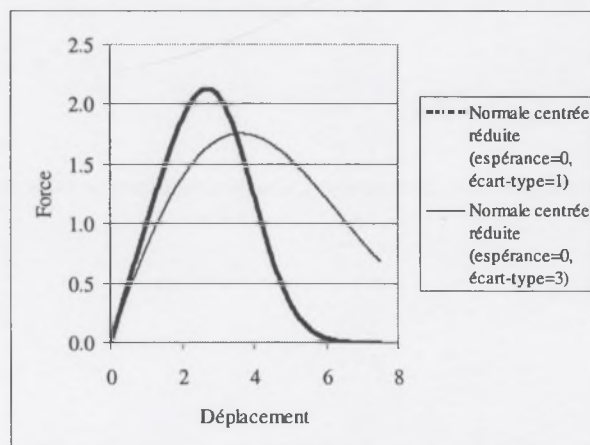
Pour ce qui concerne le *crimp*, on peut penser que le brossage a plus d'effet quand les fibres sont longues. Il est également probable que, les fibres une fois brossées, leur maintien sous forme défrisée par le courant d'air créé par le système d'aspiration est d'autant plus efficace que les fibres sont longues car les fibres ont plus de surface de contact avec l'air qui les maintient alignées. En conséquence, les fibres longues comporteraient moins de longueur de frisure au moment de leur pincage pour le test de dynamométrie, et ainsi les valeurs relevées de *crimp* seraient inférieures. Or la Figure E-68 montre la tendance inverse.

Une autre explication pourrait être que les fibres longues seraient plus sujettes à un effet d'élasticité ou de ressort de par leur frisure naturelle. Dans ce cas, le brossage parvient à défriser les fibres courtes (et elles se maintiennent sous cette forme défrisées grâce à l'action de l'aspiration), alors que les fibres longues reprennent en partie ou en totalité leur frisure de départ. En conséquence, les valeurs HVI de *crimp* des fibres longues seraient logiquement supérieures à celles des fibres courtes comme l'indique la Figure E-68.

Aucune explication ne peut être avancée pour ce qui concerne l'allongement et le module, si ce n'est qu'en théorie, l'allongement a tendance à augmenter quand le module diminue pour un même niveau de force. Par ailleurs, quand la variance de l'allongement augmente, le module diminue et l'allongement augmente comme l'illustre la Figure E-70. Il s'agit du résultat d'une simulation du produit de la fonction de la distribution des allongements des fibres individuelles composant le faisceau de fibres parallèles à rompre par la fonction liant la

force nécessaire pour rompre chaque fibre individuelle à son allongement de rupture. Il s'agit ici d'un cas d'école où tous les autres effets sont annulés (glissements, ruptures échelonnées, élasticités des bras de leviers ...). Une première courbe représente cette fonction quand une distribution normale centrée réduite de l'allongement des fibres individuelles d'espérance 0 et d'écart-type de 1 est utilisée. La deuxième courbe présente le cas d'une distribution de même espérance et d'écart-type de 3. La comparaison des deux courbes montre un effet très important de la variance de l'allongement des fibres individuelles sur le résultat d'allongement, de force et de module obtenu sur casse de faisceaux de fibres parallèles.

Même s'il n'y a pas d'explication précise des phénomènes observés pour le module et l'allongement en relation avec la longueur des fibres, il est cependant possible que ce résultat puisse avoir des conséquences en matière de détermination de la ténacité des fibres.



**Figure E-70 : Simulation de l'effet du niveau de variance relevé dans la distribution des allongements des fibres individuelles sur les résultats observés sur faisceaux de fibres parallèles.**

#### E.5.4.4. Mesure Mantis

Les analyses de dynamométrie fibre par fibre ont été réalisées pour vérifier l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de changement de ténacité quand on compare les résultats sur une fibre entière ou quand elle a été coupée en deux.

Les distributions des données individuelles enregistrées (Dep en pas moteur, Tb en cN) ne sont pas normales. A ce point, il n'est pas possible de définir une loi de distribution de raccordement. Bien que cette hypothèse ne soit pas validée, nous savons que les tests de comparaisons de variances semblent sensibles à une non-normalité des données (Dagnélie, 1975). Cependant, des analyses de variances seront tout de même réalisées pour étudier l'effet de la coupe des fibres sur les caractéristiques étudiées.

La comparaison des variances et des moyennes entre blocs (2 séries d'environ 50 fibres par échantillon) ne montre aucune différence significative de variance et de moyenne pour la force de rupture (Tb en gramme), et des différences de variances et de moyenne pour l'allongement (dep en pas moteur avant rupture).

Les analyses de variances ont été réalisées dans les mêmes conditions que précédemment sur les moyennes par échantillon (Tableau E-32).

**Tableau E-32 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats moyens d'analyse par Mantis.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
F	0.0004	***	0.5514	NS	0.0756	NS	NS	5.5
Dep	0.0000	***	0.4271	NS	0.4399	NS	0.0153 *	3.4



**Tableau E-33 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Mantis.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
F	5.00	4.75	6.18	5.54	5.93	6.32	4.59	4.89	5.10	5.72
Dep	160	159	155	150	141	150	177	181	128	131

L'analyse de variance des moyennes par échantillon confirme l'effet significatif du facteur répétition sur l'allongement, mais pour une différence de 10 pas de 0.00248 mm soit moins de 0.8 % d'allongement, ce qui n'a pas d'importance pratique, effet qui n'existe pas pour F.

La coupe des fibres n'a pas induit de changement de niveau moyen de force ni d'allongement enregistrés de rupture (Tableau E-33). Notons cependant que les fibres prélevées dans les échantillons pour une analyse Mantis sont les fibres probablement les plus longues. Donc, dire que la coupe n'a pas affecté la lecture de résistance, c'est dire que c'est la résistance des fibres les plus longues qui n'est pas affectée. Il n'y a pas de possibilité pour l'instant de conclure pour les autres fibres.

#### E.5.4.5. Mesures au Stéломètre

L'expérimentation ayant été répétée deux fois, il a semblé logique d'en tester la reproductibilité par une analyse de variance. Les tests n'ont pas montré d'effet significatif du facteur 'répétition du traitement'. Les deux répétitions n'ont donc pas montré de différence de résultats.

En complément, l'analyse de variance dans les mêmes conditions que précédemment (Tableau E-34 et Tableau E-35) selon le modèle factoriel en bloc à 5 niveaux pour le facteur 'variété' et 2 niveaux pour le facteur 'état' montre des effets très significatifs des deux facteurs et de leur interaction. La répétition du traitement de coupe n'a pas influencé les résultats. Les caractéristiques analysées sont la ténacité T1 (cN/tex), l'allongement relatif EI (%), la force moyenne de rupture (daN) et la masse moyenne de fibres rompues (milligramme)

**Tableau E-34 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au Stéломètre.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
T1	0.0000	***	0.0001°	***	0.7160	NS	NS	2.0
EI	0.0000°	***	0.0074	**	0.0639	NS	NS	2.8
Force moyenne	0.0003	***	0.8670	NS	0.6275	NS	NS	4.9
Masse moyenne	0.0001	***	0.0097	**	0.1585	NS	NS	5.5

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

**Tableau E-35 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Stéломètre.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
T1	21.19	22.67	22.97	23.90	29.47	30.87	15.15	16.59	20.24	22.10
EI	7.40	7.09	6.36	6.43	7.12	7.01	8.60	7.73	5.82	5.55
Force moyenne	5.08	5.05	5.54	5.75	6.09	6.18	4.84	4.47	5.23	5.23
Masse moyenne	3.56	3.30	3.58	3.57	3.07	2.97	4.74	3.99	3.82	3.51

Une baisse de résistance moyenne de l'ordre de 1.4 cN/tex est observée selon l'indicateur T1 quand les fibres sont coupées à 0.75 de leur UHML initiale (Figure E-71, Figure E-72).

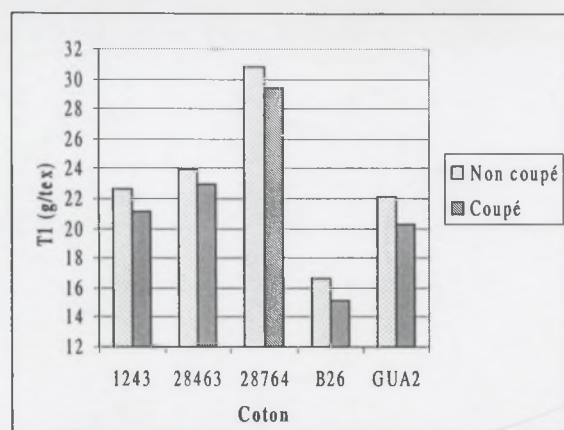


Figure E-71 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur T1 de 5 cotons.

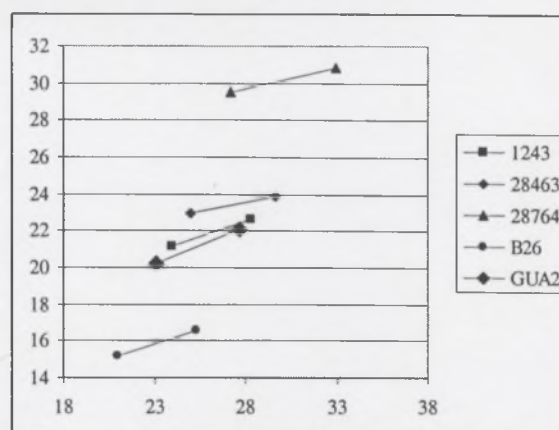


Figure E-72 : Relation entre T1 et la longueur des fibres représentée par coton.

### Valeur de T1

Selon l'indication donnée par l'analyse de variance, la coupe des fibres a surtout influencé la valeur des masses de fibres rompues pendant le test (augmentation moyenne de 0.29 mg), sans affecter significativement les valeurs de force de rupture des faisceaux. (Figure E-73 à Figure E-75).

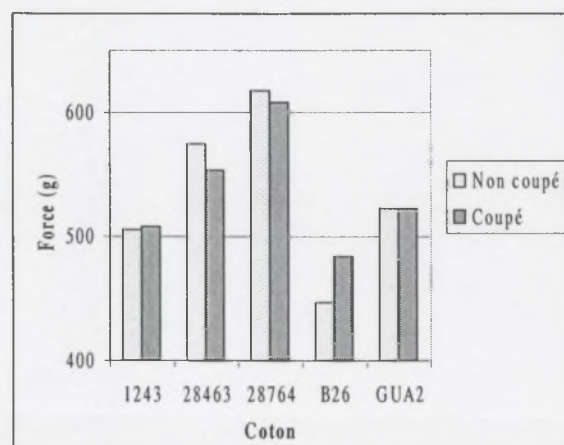


Figure E-73 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur Force de 5 cotons.

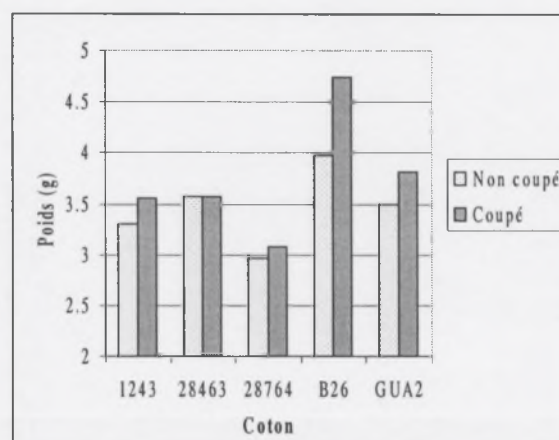


Figure E-75 : Effet de la coupe de fibre sur la valeur de masse de 5 cotons.

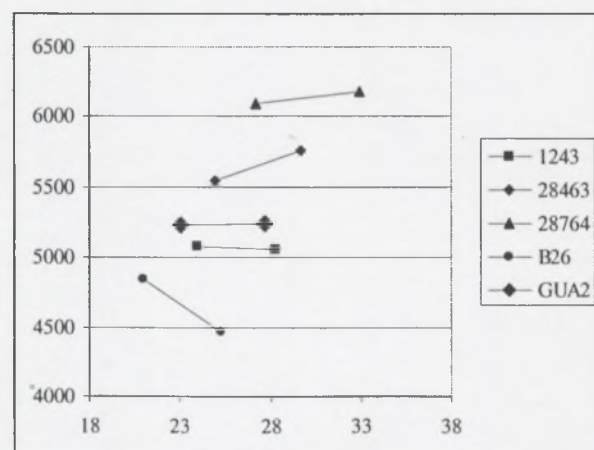


Figure E-74 : Relation entre la force de rupture moyenne et la longueur des fibres par coton.

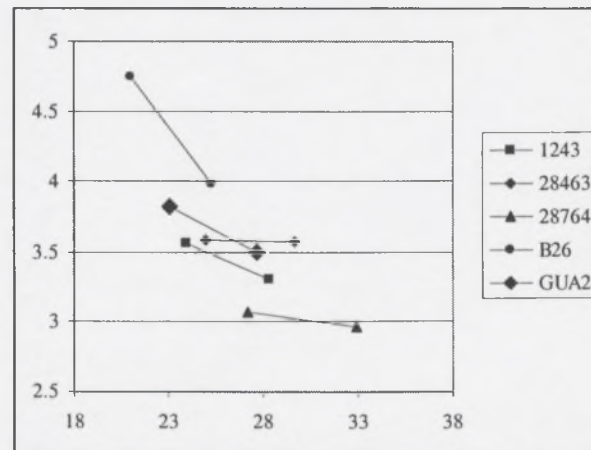


Figure E-76 : Relation entre la masse moyenne de fibres rompues et la longueur des fibres.



Ainsi, une force restée constante en moyenne divisée par une masse de fibres en moyenne supérieure conduit à une baisse significative de la ténacité moyenne T1 quand la longueur des fibres diminue (Figure E-76).

Au moins deux raisons peuvent expliquer cette évolution de la masse de fibre retenue en fonction de la longueur des fibres testées : une erreur expérimentale et/ou un changement de maturité et de finesse des fibres au long de la fibre. Notons que cette dernière hypothèse, si elle était vérifiée, induirait des conséquences importantes en terme de caractérisation, car il faudrait s'assurer à chaque mesure que l'orientation pied – tête des fibres soit répartie aléatoirement dans les faisceaux.

Un jeu de données spécifique a été examiné pour tester la première hypothèse ci-dessus. Il s'agit des expérimentations conduisant à l'établissement des valeurs de référence des cotons standards ICCS, programme auquel le Laboratoire de Technologie Cotonnière participe depuis de nombreuses années. Des balles sélectionnées et bien homogénéisées par l'USDA sont échantillonnées à raison de 10 échantillons par balle pour chacun des cinq à sept laboratoires de référence qui participent à l'établissement des valeurs de référence. Deux techniciens de chacun des sept laboratoires réalisent des tests sur les appareils classiques de mesure, sur Stéломètre en particulier. Tous les résultats sont regroupés par l'USDA qui réalise alors la moyenne générale (sous certaines conditions) des résultats individuels afin de valider les caractéristiques technologique de la balle en question.

Nous disposons donc de nombreux résultats de mesure au Stéломètre pour huit cotons ICCS sur lesquels nous avons testé la relation entre la charge de rupture, la masse moyenne de fibres rompues, la valeur T1, la valeur E1 et la longueur SL 2.5 % des fibres (niveaux de résultats équivalents aux résultats UHML obtenu sur Fibrographe 530 de Spinlab).

Ces relations sont généralement significatives (Figure E-77 et Figure E-78), excepté pour l'allongement E1 ( $p = 0.0593$ ). La relation de la masse en fonction de la longueur SL 2.5 % est significative ( $R^2 = 0.98$ ), et de pente négative. Elle montre que le différentiel de masse relevé entre un coton court et un coton long peut atteindre 0.2 mg comme observé dans l'expérimentation de coupe des fibres. Ce niveau d'importance de cet effet opérateur – comparable à celui qui est relevé dans l'expérimentation des coupes de fibres – indique que l'autre hypothèse – changement de maturité et de finesse des fibres au long de leur structure – semble peu probable sur Stéломètre. Cependant, il serait utile de vérifier, par microscopie par exemple, si les fibres ont des périmètres différents selon qu'ils sont mesurés vers le pieds, vers le centre ou vers l'extrémité des fibres. Petkar a montré des différences de périmètre et d'aire des sections droites sur quelques variétés cultivées en Inde (Petkar et al., 1980).

#### Valeurs de E1

Aucune signification n'est observée concernant le facteur 'répétition du traitement'. Les deux répétitions n'ont donc pas montré de différence de résultats.

En complément, l'analyse de variance selon le modèle factoriel en bloc à 5 niveaux pour le facteur 'variété' et 2 niveaux pour le facteur 'état' montre des effets très significatifs des deux facteurs.

Une augmentation moyenne de l'allongement des fibres, de l'ordre de 0.3 % selon l'indicateur E1, est observée quand les fibres sont coupées (Figure E-79 et Figure E-80).

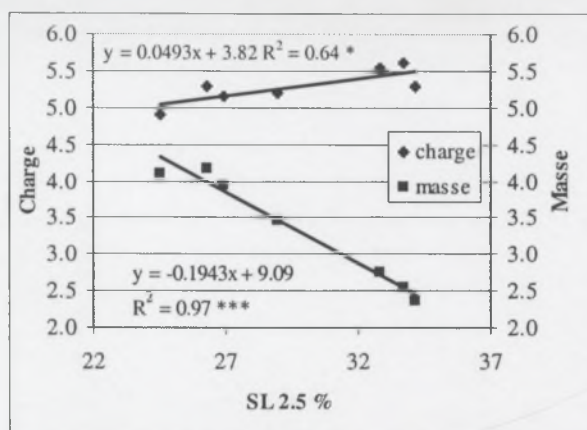


Figure E-77 : Evolution de la charge de rupture (daN) et de la masse d'échantillon (mg) au Stélomètre pour les cotons ICCS en fonction de la longueur SL 2,5 % (mm).

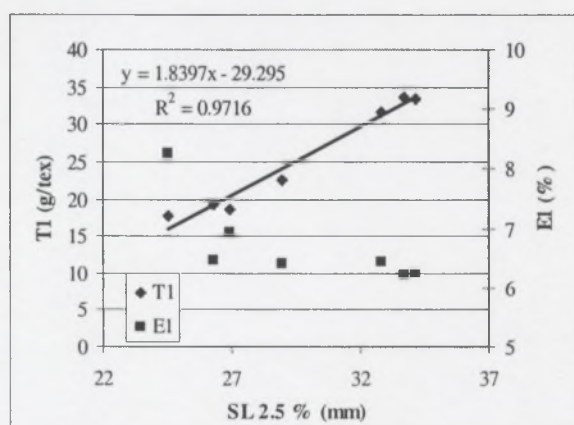


Figure E-78 : Evolution de T1 et de E1 au Stélomètre en fonction de la longueur des fibres, 8 cotons ICCS.

Ainsi, lors de l'expérimentation sur coton court, pour parvenir à obtenir une charge de rupture équivalente à celle des cotons longs, le technicien placerait une masse supérieure de fibres dans les pinces de traction. En comparant avec le cas d'un test d'un coton coupé à celui d'un test avec un coton non-coupé, ou de la même manière celui d'un coton long par rapport à un coton court (de maturité et de finesse comparables), le nombre de fibres pour le coton coupé serait donc supérieur pour une même surface de pinçage. La régularité de disposition des fibres en épaisseur dans les pinces deviendrait moins uniforme et de plus nombreux glissements pourraient se produire favorisant ainsi une augmentation de l'allongement selon l'indicateur E1.

Ainsi, ce changement d'allongement pourrait résider dans l'homogénéité de pré-tension des fibres au moment de débiter le test de traction. En effet, les pré-tensions des fibres individuelles dans le faisceau seraient d'autant moins homogènes que ces spécimens seraient de masse importante et que les fibres seraient courtes, ce qui induirait en conséquence une augmentation d'allongement.

Comme le Stélomètre ne permet pas l'évaluation ou le contrôle de la pré-tension et/ou de la valeur d'un *crimp* équivalent à la mesure HVI, nous sommes obligés de valider cette hypothèse par d'autres moyens détournés. Ainsi, pour vérifier ce point, les données de masses

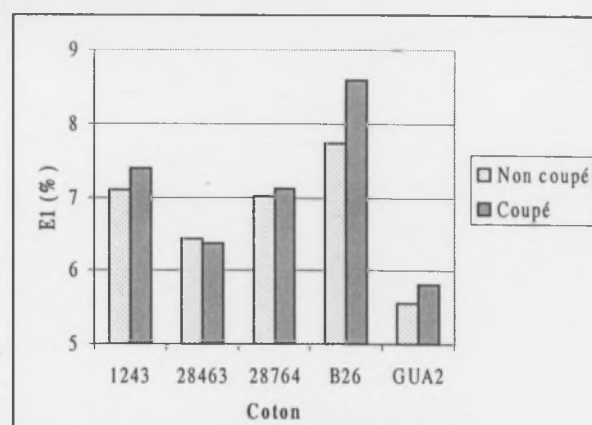


Figure E-79 : Effet de la coupe de fibre au coefficient 0.75 sur la valeur d'allongement E1 de 5 cotons.

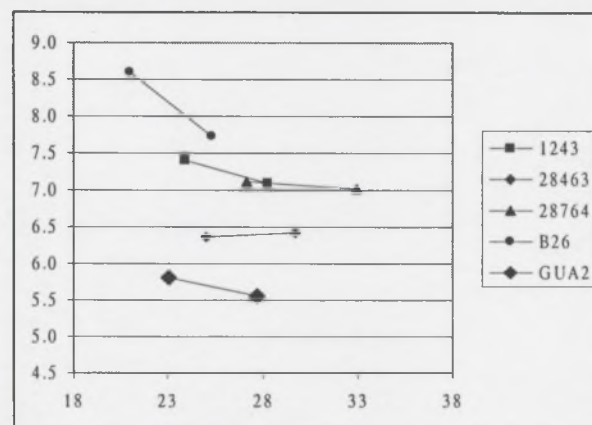


Figure E-80 : Relation entre l'allongement moyen et la longueur des fibres représentée par coton.



et de E1 des cotons ICCS déjà mentionnés – couvrant une gamme de longueur de fibres – ont été reprises en vérifiant qu'une gamme suffisante de masses de fibre soit disponible. Le but ici est de vérifier si l'homogénéité de pré-tension des fibres individuelles dans le faisceau – a priori fonction de la masse d'après ce que nous avons évoqué plus tôt – influe sur E1 de manière plus spécifique pour les cotons les plus courts en comparaison aux cotons longs.

Le constat réalisé montre que seules les valeurs de variance de l'allongement E1 du sous-groupe Upland<sup>13</sup> de ces cotons ICCS, sont significativement sensibles à la longueur des fibres (Figure E-81). Cependant, une tendance existe pour l'autre sous-groupe sans qu'elle soit significative. Notons que cette observation est réalisée alors que les conditions expérimentales de l'établissement des valeurs de référence pour l'ICCSC ne répondent pas complètement aux conditions requises pour vérifier cette hypothèse : contrairement à notre volonté de couvrir une large gamme de masses, les tests ICCS requièrent une variation minimale des masses de fibres testées afin d'assurer une bonne reproductibilité des mesures de T1.

Nous pouvons donc conclure que l'hypothèse posée de plus grande variabilité de la valeur de pré-tension des fibres, induite par la faible longueur de certains cotons qui favorise des problèmes d'homogénéité de préparation, est vraisemblable.

En conclusion, plus les fibres testées sur Stéломètre sont courtes, plus la masse de fibres testées augmente sans qu'il y ait changement de force de rupture (au moins pour les cotons coupés et les cotons ICCS), et plus la valeur T1 diminue. Dans le même temps, quand la masse de fibres augmente dans le faisceau alors que les fibres sont plus courtes, la pré-tension appliquée au faisceau est répartie de manière moins homogène à toutes les fibres et, en conséquence, la valeur moyenne de E1 et sa variance sont augmentées.

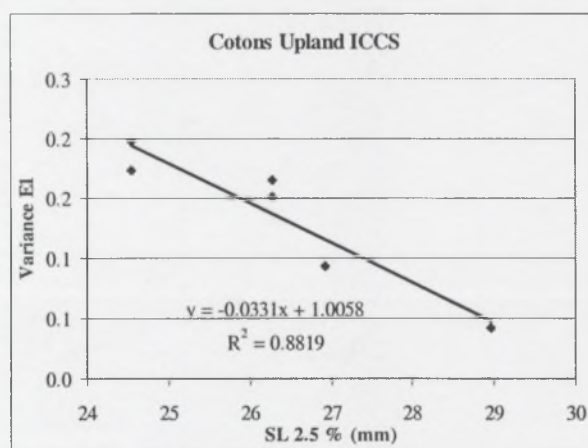


Figure E-81 : Effet de la longueur de fibres sur la variance de E1 pour les cotons Upland ICCS.

<sup>13</sup> Parmi les cotons ICCS dont la production et l'établissement des valeurs répond au protocole intitulé 'International Calibration Cotton Standards Program, organization and operating procedures', 1989 de l'USDA, deux sous-groupes existent : un groupe de cotons American Upland et un groupe de cotons American Pima et Egyptian qui sont tous deux d'espèce *G. barbadense* (Anonyme, 1998). Par ailleurs, il a déjà été observé que les espèces *G. hirsutum* et *G. barbadense* n'ont pas le même comportement en dynamométrie probablement du fait de leur structure (Bragg et al., 1997).

E.5.4.6. Mesure RSTRST04

Les tests ont été conduits en deux répétitions de traitements de coupe sur les échantillons. Les niveaux de signification donnés par l'analyse de variance selon le modèle factoriel en bloc déjà mentionné sont donnés en Tableau E-36. Les variables étudiées sont la ténacité (GPT, en cN/tex), la force PFC (cN), la quantité de fibres rompues (BAMT en unité optique), la masse optique du faisceau de fibres rompues (TAMT, en unité optique), l'écart à la moyenne d'humidité relative de la salle d'analyse (Diff. HR, en %), l'écart à la moyenne de température de la salle d'analyse (Diff. T°C en °C), le lieu de la casse (IB% en pas moteur), l'estimation de la masse de fibres rompues (EstWGT en milligramme) et l'allongement des fibres (Elg en %). Les moyennes par niveau de facteurs sont données dans le Tableau E-37.

**Tableau E-36 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au RST04.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
GPT	0.0000	***	0.0004°	***	0.0947	NS	NS	1.4
PFC	0.0000°	***	0.7486	NS	0.0004	***	NS	3.4
BKAMT	0.0000	***	0.0001	***	0.0002	***	NS	2.6
TAMT	0.0000°	***	0.0000°	***	0.0073	**	NS	4.0
Diff HR%	0.6351	NS	0.7302	NS	0.0868	NS	0.0185*	0.3
Diff T°C	0.0850	NS	0.3350	NS	0.4054	NS	0.0126*	0.3
EstWGT	0.0017	**	0.0407	*	0.0001	***	NS	2.7
Elg	0.0000	***	0.0001	***	0.2041	NS	NS	1.2

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Les interactions sont illustrées de la Figure E-82 à la Figure E-87.

**Tableau E-37 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RST04.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
GPT	37.05	37.97	42.16	42.80	48.29	50.87	30.88	31.56	35.63	37.85
PFC	10795	10796	12609	10969	13960	12441	7264	9046	10059	11167
BKAMT	106.71	114.88	110.21	107.71	122.25	117.41	81.17	107.32	97.82	113.58
TAMT	1144.53	1787.30	1283.57	2115.33	1407.85	2249.50	1046.37	1505.78	1094.35	1668.17
Diff.HR%	-0.16	0.16	-0.25	0.16	0.50	-0.13	-0.16	-0.06	0.19	-0.25
Diff. T°C	0.11	0.07	0.11	0.09	-0.11	-0.15	-0.07	0.06	-0.17	0.06
EstWGT	0.91	0.88	0.93	0.80	0.89	0.76	0.74	0.89	0.88	0.91
Elg	11.19	10.77	10.08	9.77	9.31	9.08	13.31	12.68	9.14	8.91

Il n'existe pas d'effet significatif de la répétition, aussi les résultats des deux répétitions de coupe de fibres peuvent être considérés comme équivalents, excepté pour les conditions d'ambiance du laboratoire. En effet, en analysant les données de température et d'humidité relative lors des tests (facteur mesuré et en partie contrôlé), nous observons des différences significatives de température et d'humidité. Cependant les écarts de température et d'humidité relative moyennes ne peuvent pas être contrôlées plus finement qu'elles ne l'ont été pendant l'expérimentation (écart de T°C de 0.4 °C, écart d'humidité relative de 0.5 %). En conséquence, nous considérerons que les blocs d'analyse donnent des résultats équivalents.

L'effet variétal était attendu, alors que le facteur coupe ne l'était pas et se montre hautement significatif pour la plupart des critères analysés (Tableau E-36). On note en particulier que GPT est affecté par la coupe (un écart de 1.4 cN/tex au RST est noté à comparer avec un écart de 3.0 cN/tex sans pesée des fibres rompues au HVI normal) surtout à cause d'un effet de la coupe sur l'estimation des fibres rompues (critères EstWGT, TAMT, BAMT affectés) alors que la mesure de force n'a pas été influencée par la longueur des fibres.



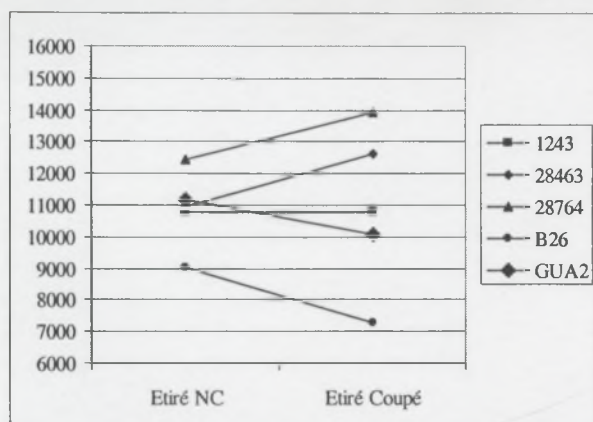


Figure E-82 : Représentation de l'interaction variété / état pour la force (exprimée en cN.).

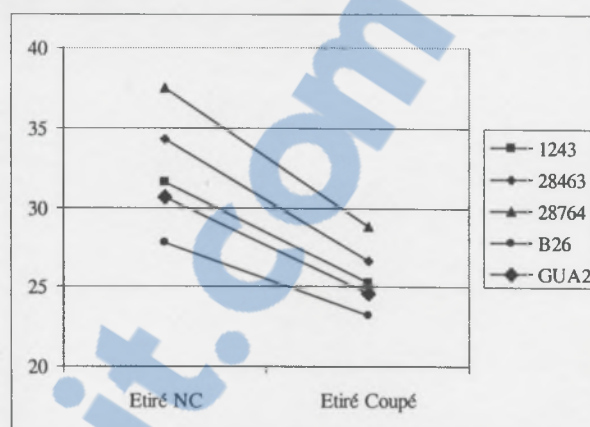


Figure E-85 : Représentation de l'interaction variété / état pour IB % (exprimée en pas).

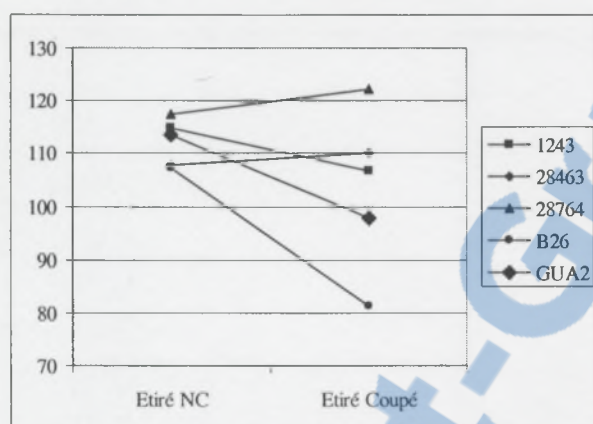


Figure E-83 : Représentation de l'interaction variété / état pour BKAMT (exprimée en unité de mesure).

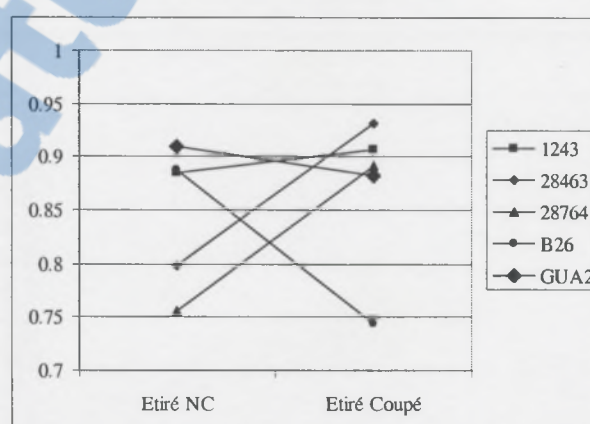


Figure E-86 : Représentation de l'interaction variété / état sur RST04 pour EstWGT (exprimée en mg).

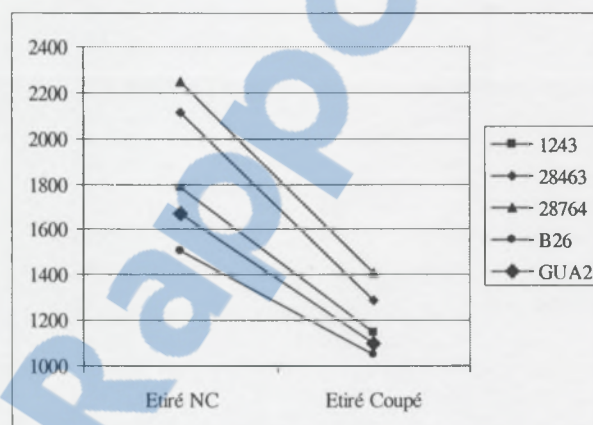


Figure E-84 : Représentation de l'interaction variété / état pour TAMT (exprimée en unité de mesure).

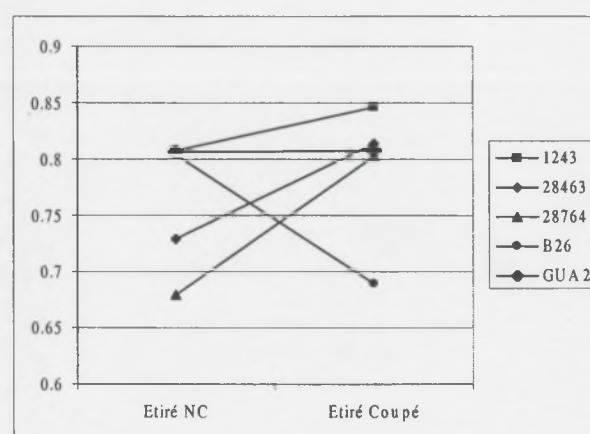


Figure E-87 : Illustration de l'interaction variété / état sur RSTXX pour EstWGT (exprimée en milligramme).

Comme pour les autres appareils de mesure, les cotons les plus courts, avant ou après la coupe, sont les cotons pour lesquels les résultats sont les plus affectés.

Pour ce qui concerne l'allongement mesuré, le même type d'analyse de données montre un effet très hautement significatif du facteur état avec une augmentation moyenne de 0.36 % quand les fibres sont coupées. Cette observation rejoint celle réalisée sur Stéломètre.

### RSTXX

Dans les mêmes conditions d'analyse de variance que précédemment, les significations obtenues des différents facteurs sont reportées dans le Tableau E-38, alors que les valeurs moyennes par niveau de facteurs sont données dans le Tableau E-39. Comme certaines données brutes sont communes aux deux logiciels RST, seules sont reportées les informations concernant le RSTXX qui sont différentes de celles concernant le RST04.

**Tableau E-38 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse au RSTXX.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
GPT	0.0000	***	0.0215	*	0.2289	NS	NS	2.6
EstWGT	0.0013	***	0.0216	*	0.0004	***	NS	2.8

**Tableau E-39 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RSTXX.**

Variété	1243		28463		28764		B26		Gua2	
	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC	C075	NC
GPT	38.85	40.36	45.88	45.14	51.93	54.13	32.50	33.26	37.97	40.97
EstWGT	0.85	0.81	0.81	0.73	0.80	0.68	0.69	0.80	0.81	0.81

Seul un effet bloc est significatif mais sans intérêt pratique pour les caractéristiques de température et d'humidité relative dans la salle car les données brutes sont identiques à celles obtenue sur RST 04. En moyenne, la quantité de fibres sélectionnées dans le peigne en bloc 1 par rapport au bloc 2 est supérieur de 15 unités, ce qui est également sans conséquence pratique. L'interaction est illustrée par la Figure E-87.

Un effet significatif de la coupe est noté sur GPT, cet effet ne pouvant provenir que de l'estimation de la masse de fibres rompues (baisse de ténacité de 1.34 cN/tex avec la coupe des fibres à cause d'une diminution de 0.03 mg en moyenne de la masse de fibres rompues).

Comme pour RST04, les interactions sont de même nature, car les critères retenus dans l'analyse utilisent les mêmes données brutes dans les deux cas. En revanche, il est important de noter que la ténacité n'a pas été calculée de la même manière.

### Comparaison des deux approches RST

En comparant les résultats obtenus avec les deux versions de logiciel, nous observons que le choix de l'approche logicielle des données ne change pas la sensibilité des résultats aux facteurs de variation mis en œuvre ici (Figure E-88). Cependant, l'écart de ténacité entre les échantillons coupés ou non reste du même ordre de grandeur. En effet, on relève un écart de ténacité de 1.4 cN/tex (significatif au seuil 0.1%, RST04) et de à 1.4 cN/tex (significatif au seuil 5%, RSTXX) selon la longueur des fibres mis en évidence par l'opération de coupe des fibres. Le choix du système ne pourra se faire qu'au regard de considérations théoriques sur la validité des approches mises en œuvre dans les logiciels.

Malgré le fait que les résultats sont issus des mêmes données brutes unitaires, les niveaux moyens de lecture de ténacité sont légèrement différents pour les deux logiciels (+2.60 cN/tex pour RSTXX). Cette remarque est expliquée par le fait qu'une régression polynomiale utilisée par le logiciel RSTXX permet l'estimation de la masse de fibres rompues moins élevée en comparaison à celle estimée par une proportionnalité entre la masse et l'*amount*.



L'important à noter ici est que le système RST, bien que reposant sur une véritable opération de coupe et de pesée des fibres rompues, est encore biaisé par les longueurs pour la mesure de la ténacité, bien qu'en moindre mesure par rapport au système HVI.

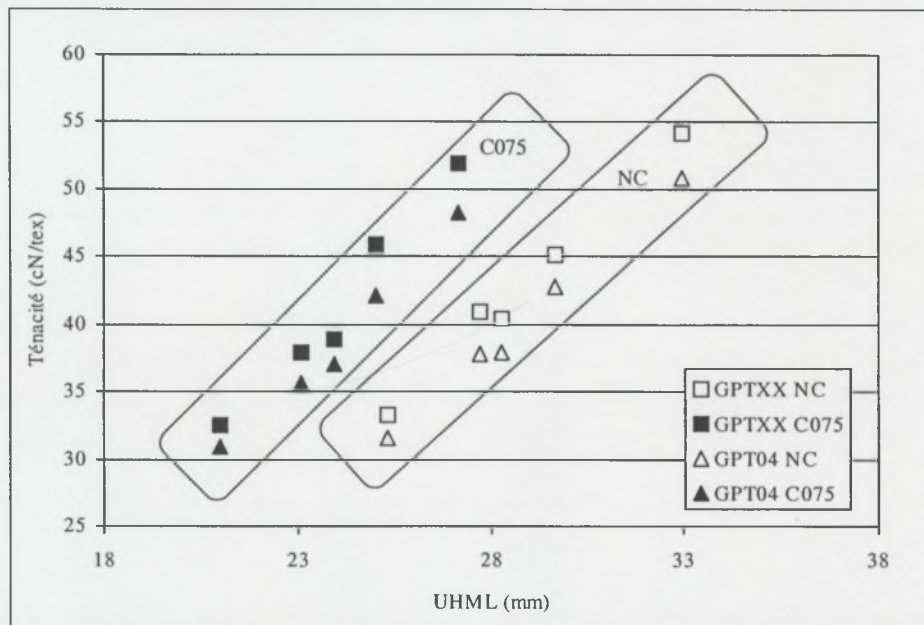


Figure E-88 : Relations entre les lectures de ténacités lues sur les dispositifs RST et la longueur des fibres.

#### E.5.4.7. Vérification du positionnement des pinces de traction pour l'application de la contrainte sur les faisceaux de fibres pour une analyse RST ; cas des casses à SL 30 %

L'objectif ici est de vérifier si les pinces du système HVI utilisé en mode RST parviennent toujours à atteindre le lieu où doit se produire la casse et, dans la négative, de comprendre quelle procédure est mise en place pour évaluer la ténacité dans ce cas.

Le système RST permet de sélectionner le lieu théorique où doit être positionnée la face avant de la pince arrière de traction. Dans cette expérimentation, le lieu était la SL 30 % et il nous faut vérifier ce qui se passe lors de la mesure quand les fibres sont trop courtes pour atteindre le lieu où la casse doit être réalisée.

Par exemple, en supposant que le choix de la casse se situe à une longueur UHML de 15 mm par rapport au peigne, alors que la distance minimum entre le peigne et la face avant de la pince arrière de traction est de 12.5 mm (voir paragraphe E.5.1), il paraît évident que les résultats seront biaisés, sauf si le test se révèle impossible à réaliser. Par exemple, le lieu théorique de la casse étant autour de 9 mm (qui approche une SL 30 % du coton de UHML = 15 mm), la pince ne peut être placée qu'à 12.5 mm par limitation mécanique (Figure E-89). La casse concerne alors moins de fibres qu'espéré, la force est donc inférieure pour une masse de fibres estimée à une position de 9 mm ; la valeur de la ténacité devrait alors diminuer.

Il s'agit donc de vérifier le mode d'estimation de la ténacité quand l'appareil ne parvient plus à placer les fibres dans les pinces de traction grâce une gamme d'échantillons de longueurs différentes.

Les données de fibrogramme avant et après une casse de faisceau sont systématiquement relevées sous format fichier pendant les analyses RST, en plus de données importantes comme la UHML, les valeurs de BAMT des peignes. A partir des données du fibrogramme obtenues avant la casse, il est possible de calculer la distance à laquelle le test devrait se réaliser. A partir du fibrogramme du même faisceau mesuré juste après la casse des fibres, il est possible de vérifier le rapport de positionnement de la pince arrière de traction.

En comparant ces deux informations pour l'ensemble des cotons de cette expérimentation en fonction de leur longueur réelle de fibre initiale, il devrait être possible de vérifier si la casse se produit systématiquement au lieu désiré.

Les deux figures suivantes illustrent la relation qui existe entre la UHML mesurée par peigne individuels et la distance entre le peigne et la pince arrière (Figure E-90 et Figure E-91) la relation qui existe entre la UHML moyenne déterminée par HVI (paragraphe E.5.4.3) et la distance entre le peigne et la pince arrière.

Comme le suggèrent ces deux figures, quand les fibres sont trop courtes pour être placées de manière adéquate, les résultats sont logiquement faussés. Cet état ne semble se faire sentir que pour des fibres ayant une UHML inférieure à environ 25 mm. Cependant, la distance minimum entre le peigne et le lieu de rupture ne correspond pas à ce qui était attendu d'un système HVI (paragraphe E.5.1). Il semble que la distance minimale soit de l'ordre de 10.2 mm contre 12.5 mm attendue. Aucune explication n'a été trouvée pour expliquer cette donnée.

En conclusion, tout se passe comme si le HVI calcule la masse des fibres rompues et le lieu où aura lieu la rupture avant d'exécuter la casse de fibre. Ensuite :

- Quand les fibres sont longues, le chariot porte-peigne se déplace pour placer les fibres de manière à ce que le lieu de rupture coïncide avec l'avant de la pince arrière. Le test est effectué et l'enregistrement de la force est réalisé. Dans ce cas, hormis l'effet de la frisure naturelle des fibres, la *strength* est calculée sans intervention d'une erreur de positionnement des pinces de traction.
- Quand les fibres sont moyennes, la même procédure est utilisée.
- Quand les fibres sont courtes, le chariot porte-peigne se déplace pour placer les fibres de manière à ce que le lieu de rupture coïncide avec l'avant de la pince arrière. Mais comme les fibres sont trop courtes, le chariot porte-peigne s'avance jusqu'à la butée finale, sans réussir la mise en place effective des fibres dans les pinces. Le nombre de fibres à rompre est donc moindre que celui espéré. Le test est effectué et l'enregistrement de la force est réalisé. Cette force nécessaire de rupture est évidemment plus faible que celle normalement attendue au lieu théorique choisi (sous-entendu pour un nombre de fibres plus grand que celui observé dans les pinces au moment du test). La force étant plus faible pour une masse 'normale', la ténacité, rapport des deux grandeurs, est donc plus faible quand les fibres ont été raccourcies.

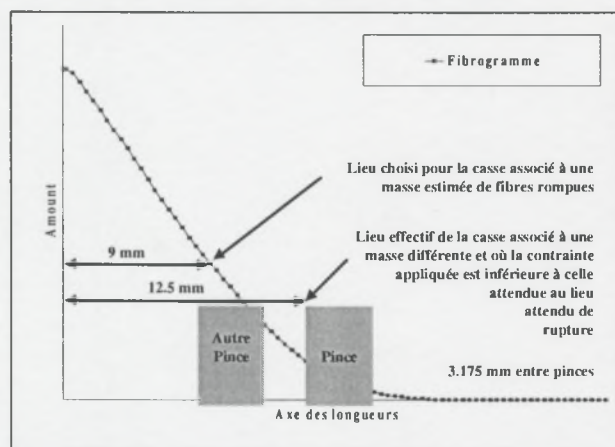


Figure E-89 : Illustration de l'erreur possible de positionnement des pinces de traction du HVI et/ou du RST quand les fibres sont trop courtes.

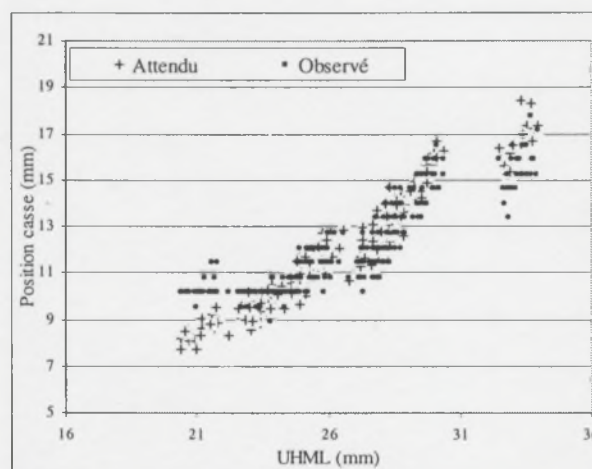
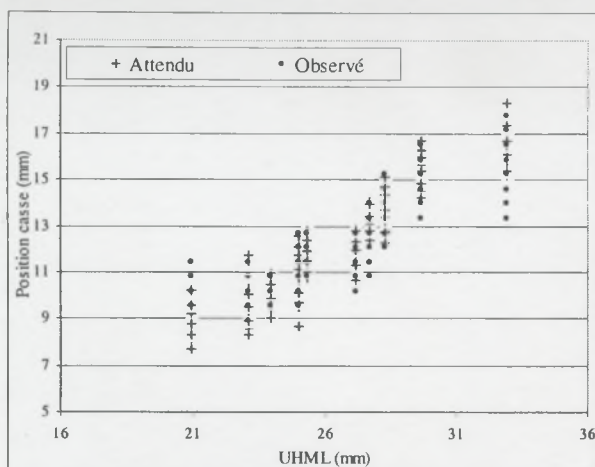


Figure E-90 : Relation entre la UHML mesurée par peignes individuels et la distance entre le peigne et la pince arrière.





**Figure E-91 : Relation entre la UHML moyenne déterminée par HVI et la distance entre le peigne et la pince arrière.**

### **E.5.5. Discussion - Conclusion**

Sur les cinq cotons étudiés dans cette expérimentation, un effet important de la coupe des fibres au long de leur axe longitudinal a été noté pour la plupart des critères impliqués dans le calcul de la ténacité des fibres sur faisceaux de fibres.

En d'autres termes, la longueur des fibres affecte, à divers degrés, les niveaux de lecture de ténacité sur les appareils HVI, RST04, RSTXX et Stéломètre.

Pour les systèmes de mesure à base de HVI (HVI et les systèmes RST), ce biais pourrait provenir du mode d'estimation de la quantité de fibres présentes dans le peigne par le capteur optique. Ce biais se produirait à la fois lors des mesures de longueur (au travers de la construction et de l'analyse du fibrogramme) et lors des estimations de masses de fibres rompues pendant le test de dynamométrie, estimations déduites du même fibrogramme.

Au Stéломètre, il s'agit d'un biais apporté par le mode de préparation des fibres pour le test de dynamométrie.

Dans le même temps, il a été vérifié que la coupe des fibres n'a pas modifié les résultats de mesure sur les fibres prises individuellement, même si des précautions doivent être prises dans l'interprétation de ces résultats.

En conclusion, les mesures de ténacité par HVI sont plus ou moins biaisées en fonction de la longueur des fibres alors qu'elles ne devraient pas l'être. Les mesures RST sont biaisées quand les fibres sont trop courtes pour être pincées au lieu défini, et il est probable que le même problème existe dans le cas des casses HVI selon le mode de sélection du point de pincage selon l'*amount*.

Cependant, il est utile de vérifier l'importance de ce biais selon la longueur des fibres en jouant sur le coefficient de coupe des fibres. C'est l'objectif du prochain paragraphe.

## **E.6. Effet de la distribution en longueur des fibres : expérience en quatre coupes**

### **E.6.1. Objectif :**

Alors qu'un différentiel de ténacité est observé quand les fibres sont coupées à 0.75 UHML, il faut maintenant vérifier l'ampleur du phénomène quand les fibres sont coupées à d'autres

coefficients de coupe ou en d'autres termes quand des fibres encore plus courtes sont analysées par HVI. Il est en effet possible qu'un plateau apparaisse dans la relation ténacité en fonction de la longueur de coupe, et cette information doit être vérifiée, en particulier pour ses implications dans les programmes d'amélioration variétale.

L'objectif de cette expérimentation est de vérifier la relation entre la *strength* du système en fonction de coton coupés à différentes longueurs.

### E.6.2. Matériels et méthodes

La même méthodologie que précédemment est appliquée à deux cotons indépendants comme illustré en Figure E-92.

Cinq échantillons de chacun des deux cotons sélectionnés (1243 et Pima L4) sont constitués pour subir une homogénéisation par ouvreuse de laboratoire. Les masses de fibres collectées sous forme de nappes sont étirées sur le banc d'étirage afin de paralléliser et allonger au mieux les fibres récupérées. Une demi-nappe A est collectée par échantillon et est enroulée dans un papier gradué de telle sorte que les longueurs de coupes suivantes soient réalisées : 0.5 UHML ; 0.62 UHML ; 0.75 UHML ; 0.87 UHML, le dernier échantillon étant la référence non coupé. Les autres demi-nappes B restantes sont conservées sans coupe.

Tous les échantillons ainsi constitués sont ensuite homogénéisés avec la même méthode de manière à ce que la coupe reste le seul facteur de variation de cette expérimentation.

Deux répétitions de l'ensemble des traitements par échantillons ont été réalisés pour vérifier la reproductibilité des opérations et des résultats.

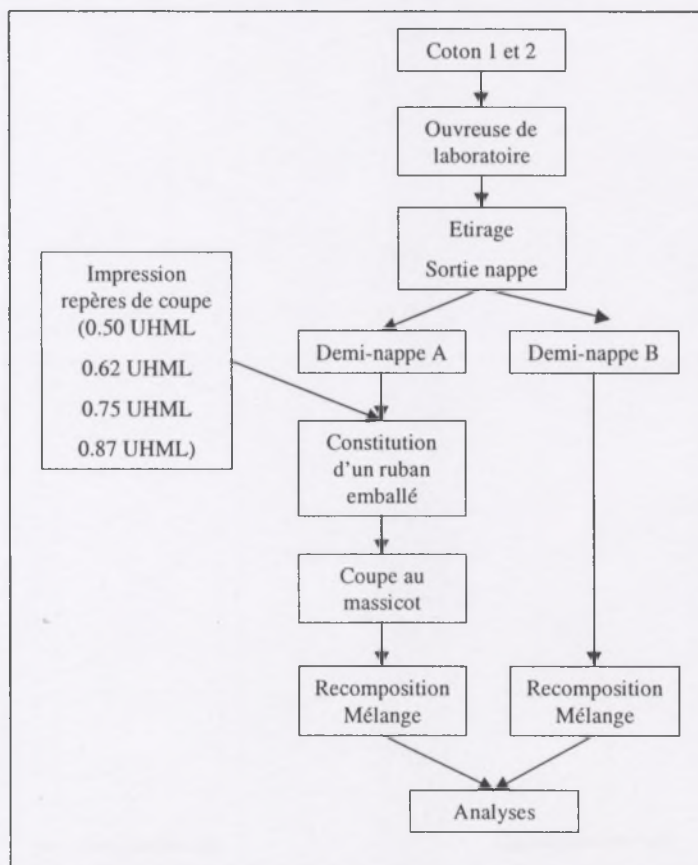


Figure E-92 : Expérimentation complémentaire de coupes de fibres.



### E.6.3. Résultats et discussion

Pour tous les appareils, nous utiliserons le dispositif factoriel en bloc à deux facteurs qui sont :

- 'variété' à deux niveaux (1243 et Pima L4) ;
- 'coupe' à 5 niveaux : non coupé (NC), coupe à 50% de UHML (C050), coupe à 62 % de UHML (C062), coupe à 75 % de UHML (C075) et coupe à 87 % de UHML (C087).

#### E.6.3.1. Mesure FMT3

Les variables analysées sont l'indice micronaire (IM, sans unité), le *Maturity Ratio* (MR, sans unité), le pourcentage de fibres mûres (PM en %), la finesse linéique (H, en mtex) et la finesse standard (Hs en mtex).

Au vu des résultats de l'analyse de variance (Tableau E-40), la coupe des fibres à différents coefficients de la UHML du coton brut a eu des effets significatifs sur certains critères technologiques.

**Tableau E-40 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de maturité / finesse mesurés par FMT3 ; résultats de l'analyse de variance.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
IM	0.0000	***	0.5926°	NS	0.5925	NS	NS	1.4
MR	0.0000	***	0.0007	***	0.0048	**	NS	0.8
PM	0.0000	***	0.0008	***	0.0048	**	NS	0.8
H	0.0000	***	0.3162°	NS	0.3432	NS	NS	1.9
Hs	0.3191°	NS	0.0239	*	0.0696	NS	NS	2.3

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Cependant, au regard des données moyennes par niveau de facteur (Tableau E-41), il apparaît que ces différences, mêmes statistiquement significatives, ne comportent pas d'importance pratique vu les écarts constatés. Pratiquement, on retiendra que la coupe n'a pas affecté les critères technologiques mesurés sur FMT3.

**Tableau E-41 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats FMT3.**

Variété Coupe	1243					Pima L4				
	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
IM	3.91	3.91	3.91	3.96	3.86	3.46	3.51	3.51	3.46	3.46
MR	0.88	0.89	0.87	0.86	0.84	0.79	0.83	0.80	0.80	0.81
PM	77.9	79.2	77.1	76.7	74.8	70.7	73.8	71.6	71.5	72.3
H	164.5	162	166	169	168	154	151	155	153	151
Hs	188	181	191	197	200	194	182	193	190	186

#### E.6.3.2. Mesures AFIS

Tous les échantillons ayant été analysés sur AFIS, nous pouvons évaluer l'impact de la coupe des fibres sur les distributions de longueur des échantillons.

Comme pour la première expérimentation, nous prenons comme hypothèse que la valeur UQLw de AFIS est celle qui correspond le mieux à la valeur UHML du HVI. Nous pouvons ainsi évaluer l'effet de la coupe sur la distribution des longueurs de fibre.

Nous constatons que les coefficients de coupe observé (rapport de UQLw mesuré sur UQL de la variété non coupée) ne sont pas tout à fait comparables à ceux qui devaient être appliqués, bien qu'une nette proportionnalité existe (Figure E-93). En conséquence, nous pouvons conduire la suite des analyses de données en prenant en compte les longueurs réelles des fibres et non pas les coefficients de coupe.

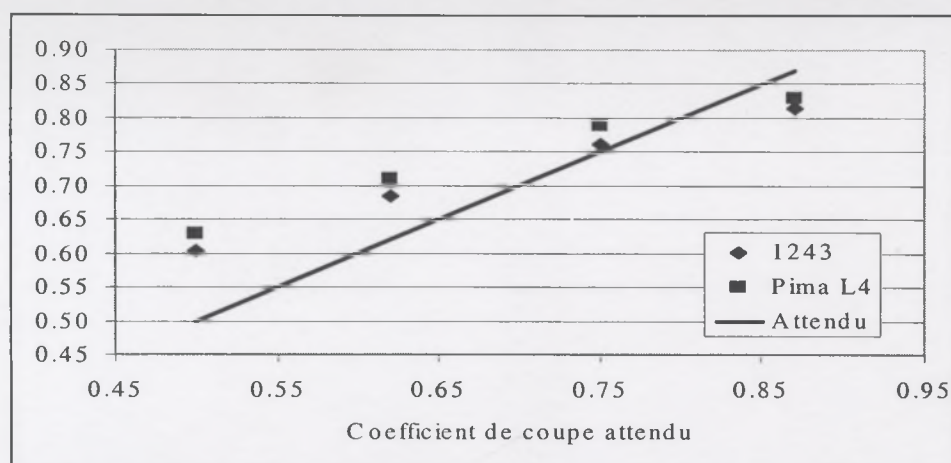


Figure E-93 : Effet de la coupe sur le coefficient de coupe des fibres observé (rapport de UQLw mesuré sur UQL de la variété non coupée).

Les résultats de l'analyse de variance confirment les attentes en terme de l'effet de la coupe sur les principaux critères de longueur de fibres tels que mesurés sur AFIS (Tableau E-42 et Tableau E-43).

Tableau E-42 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par AFIS ; résultats de l'analyse de variance.

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
Lw	0.0000	***	0.0000	***	0.9014	NS	NS	1.1
LwCV	0.3469	NS	0.0000	***	0.4858	NS	NS	2.2
UQLw	0.0000°	***	0.0000	***	0.7438	NS	NS	1.1
Ln	0.0000	***	0.0000	***	0.7029	NS	NS	1.9
LnCV	0.5809	NS	0.0000	***	0.4173	NS	NS	2.3

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Tableau E-43 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats AFIS.

Variété	1243					Pima L4				
	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
Lw	15.02	16.95	18.28	19.32	24.75	17.08	19.03	20.55	21.57	26.77
LwCV	45.70	42.80	42.53	42.73	34.28	44.75	42.83	42.57	41.07	34.80
UQLw	18.15	20.58	22.88	24.45	30.02	20.68	23.40	25.97	27.28	32.92
Ln	11.65	13.13	14.07	14.73	20.42	13.10	14.67	15.77	16.73	21.92
LnCV	53.97	53.92	54.83	55.78	46.07	55.23	54.72	55.08	53.95	47.15

Pour les deux variétés, la coupe a significativement affecté la longueur des fibres et les paramètres qui la représente. Nous pouvons donc évaluer l'effet de cette coupe sur les résultats de mesure réalisées sur d'autres appareils de caractérisation, en prenant soin, quand cela sera nécessaire, de porter la longueur réelle des fibres en axe Ox.

#### E.6.3.3. Mesure HVI

Après avoir vérifié que le micronaire n'a pas été affecté par la coupe, nous pouvons entreprendre l'analyse des autres critères mesurés par HVI : ML, UHML, UI%, *Strength*, *Elong*, *WorkPeak*, *WorkTotal*, *Crimp* et *Modulus*.

Comme pour les données AFIS, la première étape est de vérifier que l'application du coefficient de coupe sur les fibres se traduit bien par une baisse de la longueur de fibres telle que mesuré par HVI.

Nous observons (Figure E-94) que les coefficients de coupe observés (rapport de la UHML observée des cotons sur UHML du coton non-coupé) sont parfois très éloignés de ceux attendus, tout en respectant une proportionnalité. Les autres résultats de cette expérimentation



devront donc être analysés en fonction de la longueur réelle des fibres et non pas au regard du coefficient de coupe.

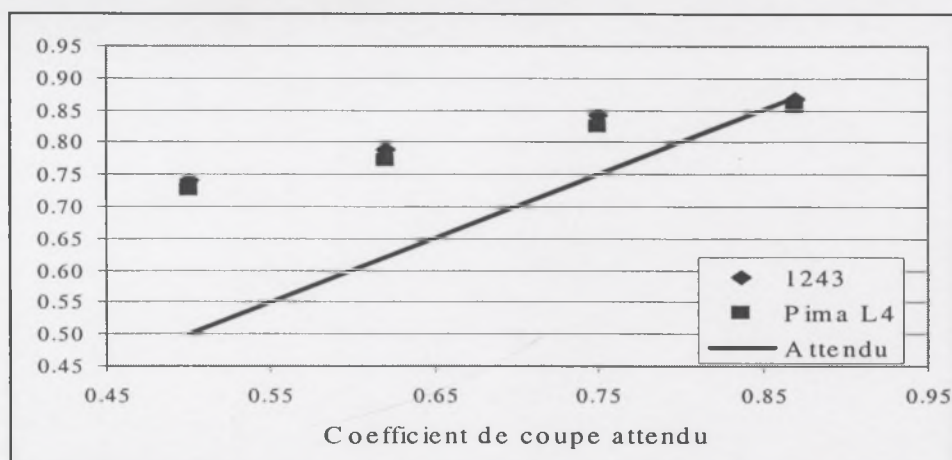


Figure E-94 : Effet de la coupe sur le coefficient de coupe des fibres observé (rapport de UHML mesuré sur UHML de la variété non coupée).

Les résultats et signification de l'analyse de variance sont donnés dans le Tableau E-44, alors que les moyennes par variété et traitement sont données en Tableau E-45.

Il existe un effet significatif de la coupe sur tous les critères mesurés par HVI (excepté pour *amount*), et une interaction significative entre la variété et le facteur coupe pour ML, *elong*, *amount*, *workpeak*, *crimp* et *modulus* représentées de la Figure E-95 à Figure E-100.

Tableau E-44 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres mesurés par HVI ; résultats de l'analyse de variance.

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
ML	0.0000	***	0.0000°	***	0.0167	*	NS	1.0
UHML	0.0000	***	0.0000	***	0.0675	NS	NS	1.1
UI	0.0002	***	0.0000	***	0.2189	NS	NS	0.4
Strength	0.0000°	***	0.0000°	***	0.0788	NS	NS	2.3
Elong	0.0037	***	0.0001	***	0.0002	***	NS	2.2
Amount	0.1044°	NS	0.3652	NS	0.0276	*	NS	5.1
WorkPeak	0.0000	***	0.0000	***	0.0029	**	NS	4.7
WorkTotal	0.0000	***	0.0000	***	0.0938	NS	NS	3.2
Crimp	0.0214	*	0.0012	**	0.0185	*	NS	19.2
Modulus	0.0000°	***	0.0255°	*	0.0030	*	NS	5.3

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Alors que l'effet de la coupe est attendu pour les paramètres liés à la longueur des fibres, cet effet hautement significatif n'était pas attendu sur les lectures de dynamométrie. La longueur des fibres aurait donc un effet significatif sur les mesures de résistance de rupture par HVI.

Tableau E-45 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats HVI.

Variété	1243					Pima L4				
	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
ML	14.72	16.65	18.44	19.30	23.32	16.28	18.27	20.14	21.19	26.02
UHML	21.04	22.41	23.90	24.65	28.40	22.80	24.27	25.92	26.90	31.40
UI	63.9	74.3	77.1	78.3	82.1	71.4	75.3	77.7	78.8	82.9
Strength	24.02	25.43	26.16	26.78	28.82	33.83	34.58	36.52	37.63	41.27
Elong	5.77	5.91	5.57	5.48	5.89	5.14	4.95	5.37	5.62	6.44
Amount	714	696	734	736	657	621	696	633	704	741
Work Peak	1.50	1.58	1.74	1.86	2.32	2.11	2.27	2.67	2.88	3.77
Work Total	2.65	2.91	2.98	3.13	3.42	3.56	3.75	3.94	4.03	4.73
Crimp	0.58	1.01	2.60	3.14	3.61	1.89	3.09	2.90	3.03	2.98
Modulus	1.81	1.66	2.03	2.23	2.41	2.84	3.26	3.20	3.11	2.87

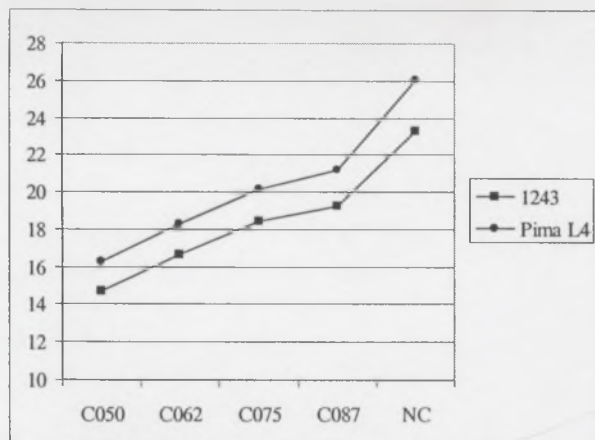


Figure E-95 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur la ML exprimée en mm.

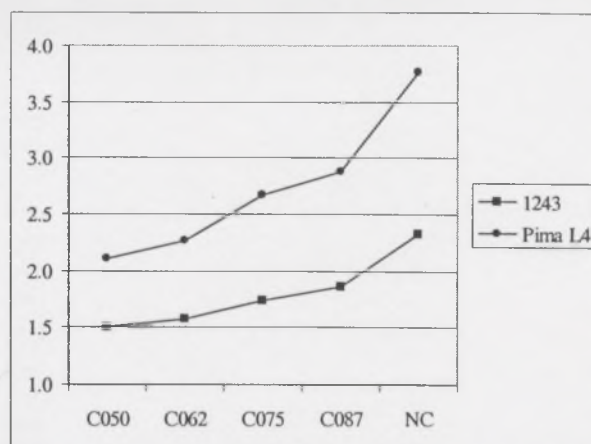


Figure E-98 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Workpeak.

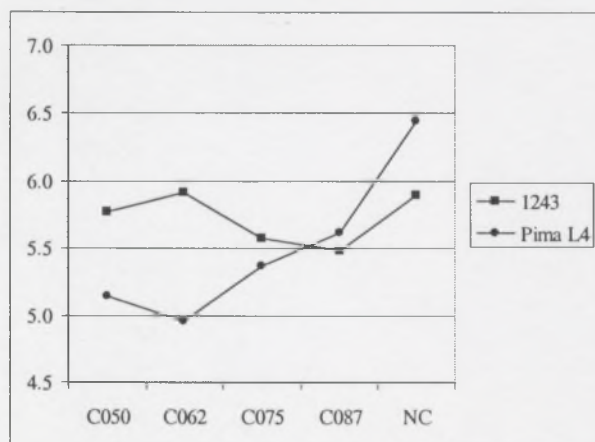


Figure E-96 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Elong exprimée en %.

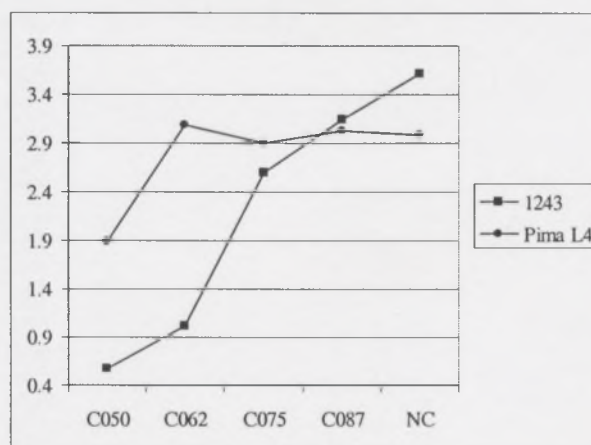


Figure E-99 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur le Crimp exprimée %.

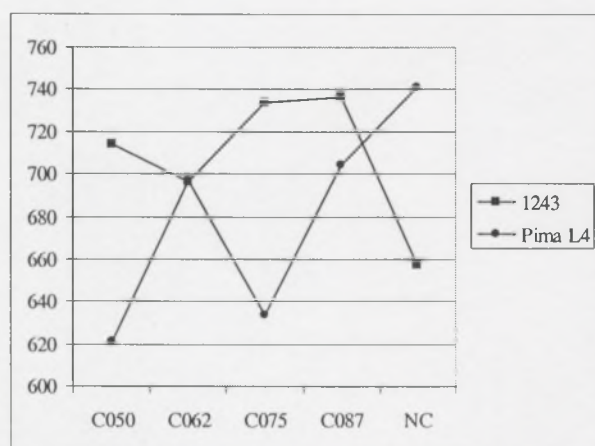


Figure E-97 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur Amount exprimée en unité de lecture.

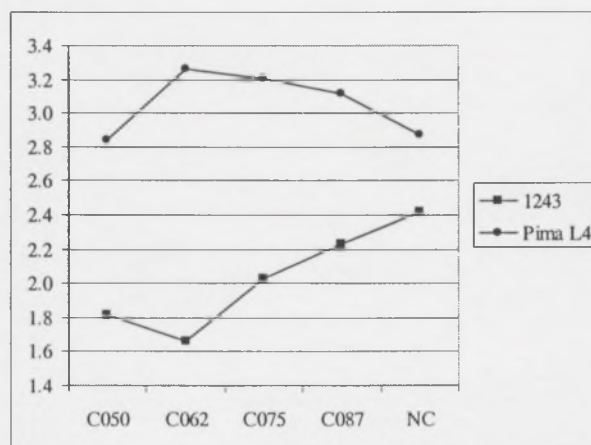


Figure E-100 : Représentation de l'interaction variété / état pour deux variétés sur le Modulus.



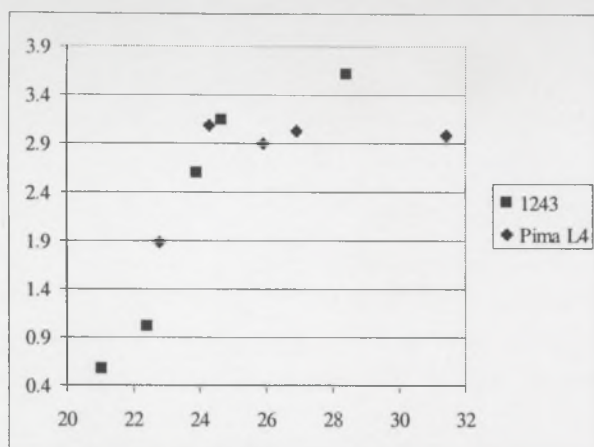


Figure E-101 : Relation entre le crimp (en %) et l'UHML pour les deux variétés.

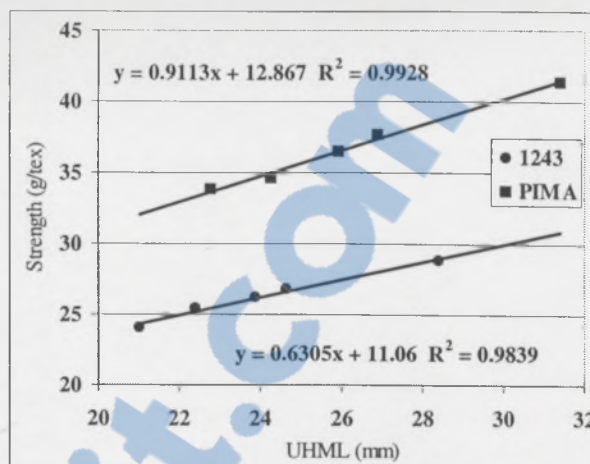


Figure E-102 : Relation entre Strength et UHML pour deux variétés.

Notons que le coton le plus long (Pima L4) semble moins affecté par la coupe que le coton plus court (*modulus* et *crimp* en particulier) comme illustré par la Figure E-101 du fait que la longueur UHML des échantillons est plus élevée pour le coton long, même quand les fibres sont coupées. Bien que l'interaction ne soit pas significative, un écart de 4.8 cN/tex est noté entre le coupe 50 % et le non-coupé pour la variété 1243, et un écart de 7.8 cN/tex pour la variété Pima L4 respectivement. Cet effet ne peut pas être négligé (Figure E-102).

#### E.6.3.4. Mesure Mantis

L'analyse de variance selon le dispositif habituel pour cette expérimentation a montré les significations indiquées au Tableau E-46 et les moyennes au Tableau E-47.

Comme dans l'expérience à un coefficient de coupe, aucune différence de moyenne n'apparaît sur les résultats Mantis pour F (en cN) et Dep (en pas) suite à un effet de la coupe des fibres et de la modification de la distribution de la longueur des fibres. Les mêmes limites de validité que pour l'expérience relatées dans l'expérimentation à une coupe sont également valables ici.

Ce résultat montre que l'hypothèse de départ de l'expérimentation – à savoir que la coupe de fibre ne modifie pas fondamentalement les caractéristiques dynamométriques des fibres – tend à être vérifiée. En conséquence, tout changement de niveau de lecture sur les autres dynamomètres avec les échantillons coupés pourra être considéré comme relatif à une interaction non désirée de la mesure de la longueur des fibres avec celle de la ténacité.

Tableau E-46 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de dynamométrie mesurés par Mantis; résultats de l'analyse de variance.

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
F	0.0000	***	0.5441	NS	0.4688	NS	NS	4.2
Dep	0.0102	*	0.8960°	NS	0.5673	NS	NS	4.9

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Tableau E-47 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Mantis.

Variété	1243					Pima L4				
	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
F	5.16	4.91	5.03	4.99	4.71	6.94	7.38	7.20	7.10	6.98
Dep	157	158	157	154	153	147	142	142	143	153

Un effet variétal attendu est noté pour les deux paramètres.

Notons cependant que les fibres prélevées dans les échantillons pour une analyse Mantis sont les fibres probablement les plus longues. Ainsi, la probabilité de prélever une fibre coupée

sont d'autant plus grandes que le facteur de coupe était faible en valeur (proche de 0.5), tandis que les chances de prélever une fibre 'naturellement' courte diminuent. Donc, dire que la coupe n'a pas affecté la lecture de résistance, c'est dire que c'est la résistance des fibres les plus longues qui n'est pas affectée. Il n'y a pas de possibilité pour l'instant de conclure pour les autres fibres.

#### E.6.3.5. Mesures au Stélomètre

Une longueur suffisante de fibre est nécessaire au Stélomètre pour réaliser les tests. Dans ces conditions, les tests sur la variété 1243 en coupe 0.5 \* UHML n'ont pas pu être réalisés, les fibres étant trop courtes pour être manipulées dans la phase de préparation au test de dynamométrie. Une analyse de variance selon le dispositif factoriel en bloc variété (2 niveaux), coupe (coefficients de coupe 0.62, 0.75, 0.87, NC) à deux répétitions de traitement a été réalisée (Tableau E-48).

**Tableau E-48 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de dynamométrie mesurés par Stélomètre ; résultats de l'analyse de variance.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
T1	0.0000	***	0.0174	*	0.6316	NS	NS	2.2
E1	0.0000°	***	0.0644	NS	0.1819	NS	NS	2.9
Force	0.0013	***	0.4417°	NS	0.6420	NS	0.0169*	6.1
Masse	0.0006	***	0.0434	*	0.4495	NS	0.0173*	5.5

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Seuls les facteurs variété et état se sont montrés significatifs sur le critère T1 et sur la masse de fibres rompues. Aucune interaction n'est significative.

De manière globale, il semble que plus les fibres sont écourtées, plus leur résistance apparente est diminuée (Tableau E-49).

Afin de comprendre cette variation de T1 en fonction de la longueur des fibres (Figure E-103), les résultats de masse de fibres rompues ont été analysés (Figure E-104). Comme dans l'expérimentation précédente, plus les fibres sont courtes, plus il est difficile de préparer les spécimens de tests, et plus la masse de fibres rompues augmente par 'réflexe' de l'opérateur et la proportionnalité entre force et masse n'est pas respectée, induisant une baisse de la ténacité T1 apparente pour les échantillons correspondants.

**Tableau E-49 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats Stélomètre.**

Stœchiométrie.										
Variété		1243					Pima L4			
Coupe	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
T1		21.01	21.66	22.12	23.08		29.60	30.70	30.88	31.08
E1		7.33	7.57	6.87	7.06		6.07	6.31	6.09	6.28
Force		5.11	4.84	4.74	4.68		5.70	5.81	5.88	5.39
Masse		3.54	3.27	3.13	2.96		2.81	2.76	2.77	2.54

Pour E1, seul l'effet variété est significatif. Contrairement à l'expérimentation précédente, l'augmentation de la masse de fibres rompues n'a pas influencé significativement la valeur d'allongement, bien qu'une tendance existe pour les deux variétés.

Dans cette expérimentation, la longueur de fibre a influencé significativement les lectures de ténacité T1 et la valeur de masse de fibres rompues, sans avoir d'influence sur l'allongement E1 et la force de rupture mesurée. Par ailleurs, contrairement à l'expérimentation à une coupe, aucune interaction n'est notée.



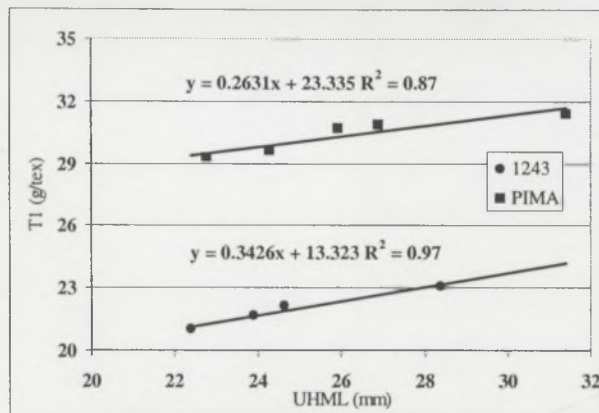


Figure E-103 : Relation entre la ténacité T1 et la longueur UHML pour deux cotons.

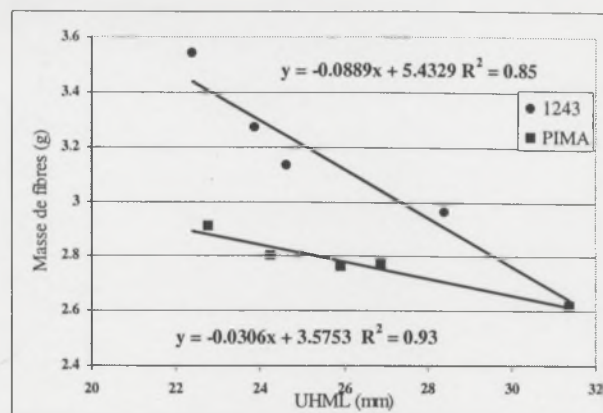


Figure E-104 : Relation entre la masse de fibres rompues et la longueur UHML pour deux cotons.

En conclusion, quand un effet de la longueur est noté sur la ténacité T1, il est principalement occasionné par une différence de masse de fibres rompues qui peut être occasionnée par un changement dans la préparation des fibres à la casse, lui-même lié à la longueur des fibres testées.

#### E.6.3.6. Mesure RST

##### RST04

Les significations des effets variété et coupe mises en évidence par l'analyse de variance selon le protocole habituel pour cette expérimentation sont données dans le Tableau E-50. Les résultats moyens par niveaux des facteurs sont donnés dans le Tableau E-51. Notons qu'il n'y a pas eu d'effet significatif des conditions ambiantes (température et humidité relative).

Tableau E-50 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par RST04 ; résultats de l'analyse de variance.

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
GPT	0.0000	***	0.0696	NS	0.3502	NS	0.0012**	4.0
PFc	0.0000	***	0.0003	***	0.3450	NS	0.4151	6.8
BKAMT	0.0549	NS	0.0000	***	0.3093	NS	NS	5.9
TAMT	0.0012	**	0.0000	***	0.0358	*	NS	6.4
EstWGT	0.3465	NS	0.0019	**	0.5042	NS	NS	7.9
Elg	0.0000	***	0.0008	***	0.1350	NS	NS	2.9

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

Le changement de longueur de fibre causé par la coupe des fibres a eu un effet significatif sur plusieurs paramètres qui permettent de régler le positionnement des pinces de traction (BKAMT, TAMT) ou des relevés d'informations (force PFc) qui permettent de calculer la ténacité. Cependant, la coupe des fibres n'a pas eu d'effet significatif sur la ténacité, ce qui indique que des effets significatifs se sont probablement compensés pendant cette expérimentation. En revanche, l'information d'allongement a été affectée par la longueur des fibres.

Tableau E-51 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RST04.

Variété	1243					Pima L4				
	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
GPT	34.49	39.47	38.81	38.76	40.80	51.78	53.49	51.07	51.28	53.89
PFc	6759	9495	11285	11733	11554	11755	14781	14611	17935	15763
BKAMT	69.47	91.49	111.25	116.08	121.49	84.53	104.40	111.96	115.06	124.29
TAMT	959	1106	1191	1222	1888	1023	1128	1298	1422	2377
EstWgt	0.61	0.75	0.90	0.95	0.88	0.70	0.85	0.89	0.90	0.90
Elg	12.55	11.58	11.10	10.65	10.88	9.65	9.36	9.26	8.87	8.67

Au vu des représentations graphiques des données (Figure E-105 et Figure E-106), il semble qu'en-dessous d'une certaine longueur de fibre, des problèmes commencent à apparaître dans le positionnement des pinces de traction. En effet, il semble que la variété 1243, coupé à 50 % indique le début d'un décrochement des valeurs de ténacité en fonction de la longueur.

Comme cela a été fait dans la première expérimentation sur l'étude de la longueur, une comparaison entre la distance choisie de positionnement de la pince de traction et celle réellement mesurée a été réalisée. Ainsi, en comparant ces deux distances pour l'ensemble des cotons, il devrait être possible de vérifier si la casse se produit systématiquement au lieu désiré.

Les deux figures illustrent la relation qui existe entre la UHML mesurée par peigne individuel et la distance entre le peigne et la pince arrière (Figure E-107), et la relation qui existe entre la UHML moyenne déterminée par HVI (paragraphe E.6.3.3) et la distance entre le peigne et la pince arrière (Figure E-108).

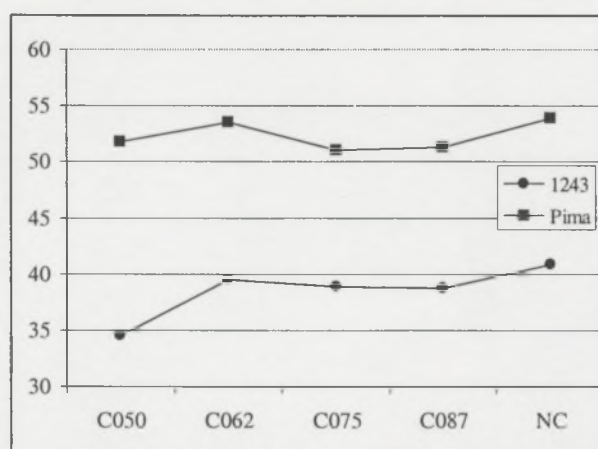


Figure E-105 : Représentation des résultats GPT en fonction de la coupe et de la variété pour RST04.

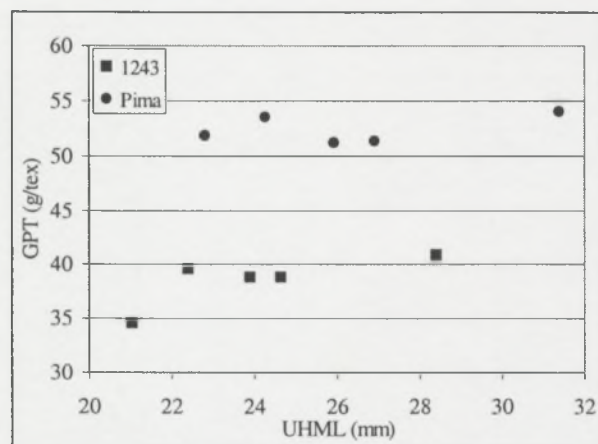


Figure E-106 : Relation entre les résultats GPT en fonction de UHML pour les deux variétés.

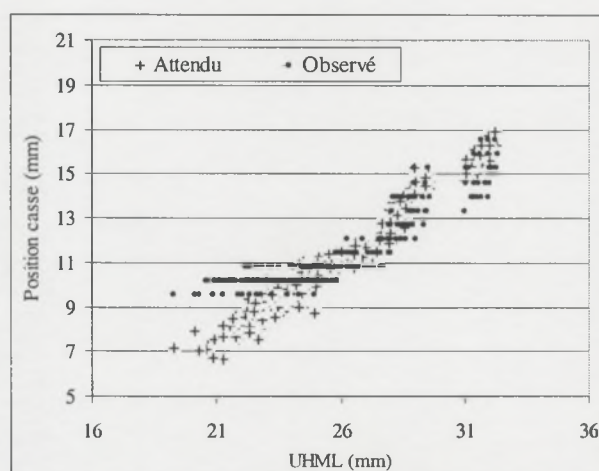


Figure E-107 : Relation entre la UHML mesurée par peigne individuel et la distance entre le peigne et la pince arrière.

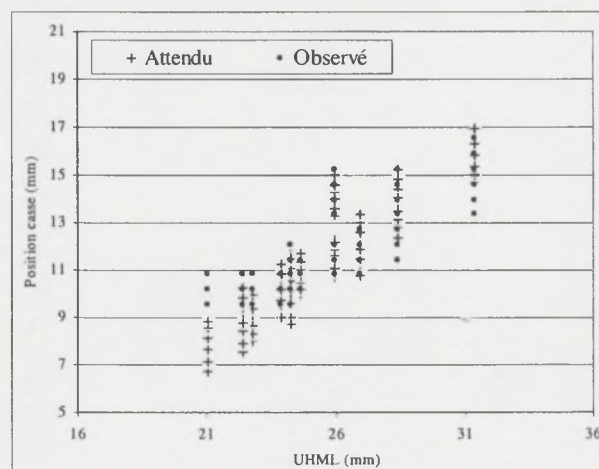


Figure E-108 : Relation entre la UHML moyenne déterminée par HVI et la distance entre le peigne et la pince arrière.

Ces deux figures suggèrent que les résultats sont logiquement faussés quand les fibres sont trop courtes pour être placées de manière adéquate. Cet état ne semble se faire sentir que pour des fibres ayant une UHML de l'ordre de 25 mm ou moins. Cependant, la distance minimum



entre le peigne et le lieu de rupture ne correspond pas à ce qui était attendu d'un système HVI et confirme la conclusion du paragraphe E.5.4.7.

### RSTXX

En respectant un dispositif comparable et en utilisant les mêmes données brutes que pour le RST04, les ténacités ont été calculées avec RSTXX. Les significations des effets sont données dans le Tableau E-52 et les moyennes par traitement dans le Tableau E-53.

**Tableau E-52 : Effet de la coupe des fibres sur les principaux paramètres de longueur mesurés par RSTXX ; résultats de l'analyse de variance.**

Critère	Variété		Coupe		Interaction		Répétition	CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Signif.	
GPT	0.0000	***	0.0213°	*	0.1511	NS	0.0010**	5.2
EstWGT	0.6698	NS	0.0062	**	0.5279	NS	0.0349*	7.0

° : certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

**Tableau E-53 : Relevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RSTXX.**

Tableau E 50 : Rélevé des moyennes par variété et par niveau du facteur coupe pour les résultats RSTPA.											
Variété	1243					Pima L4					
	Coupe	C050	C062	C075	C087	NC	C050	C062	C075	C087	NC
GPT		31.22	37.29	39.60	40.04	42.60	53.75	53.96	53.67	54.59	57.10
EstWGT		0.66	0.76	0.87	0.89	0.82	0.67	0.81	0.82	0.82	0.83

Afin de comprendre la réaction du capteur optique aux échantillons qui lui ont été présentés, les relations entre les TAMT de chaque échantillon et les masses correspondantes ont été étudiées. Le Tableau E-54 résume les coefficients de régression obtenus pour la variété 1243 à deux longueurs différentes selon l'Équation E-14 :

$$\text{WGT} = a.\text{TAMT}^2 + b.\text{TAMT} + c$$

Équation E-14

**Tableau E-54 : Coefficients des relations entre TAMT et la masse par variété et par classe de maturité.**

Variété	Coupe	Constante	a	b	R <sup>2</sup>
1243	NC	-0.8241	0.00751	7.47 10 <sup>-8</sup>	0.989
1243	C050	-0.2308	0.00885	1.91 10 <sup>-7</sup>	0.991

Ces relations, représentées sous forme de graphe (Figure E-109), nous indique que pour une même surface sous le fibrogramme, des masses supérieures sont observées quand les fibres sont coupées.

Pour expliquer cette observation assez surprenante, quatre points ont été isolés de cette relation pour une étude plus approfondie.

Les deux premiers résultats discutés ont été choisis pour représenter des surfaces sous fibrogramme TAMT voisines pour les deux échantillons NC et C050. L'exemple choisi indique que TAMT du coton NC est de 1682 pour une masse de 10.92 mg, et TAMT = 1665 pour l'échantillon C050 pour une masse de 15.39 mg. Les données brutes et normalisées des fibrogrammes produits par RST ont été représentés (Figure E-110 et Figure E-111). On constate que, pour une même valeur de TAMT, le coton C050 possède une quantité de fibres apparaissant plus courtes bien supérieure à celle du coton NC (qui ne compense pas cette différence de surface par une longueur supérieure). Cette tendance est due à une quantité supérieure de fibres (BAMT) dans le peigne. Quand on compare les fibrogrammes de peignes où les masses de fibres sont voisines (BAMT=1259 pour NC et 1267 pour C050), les fibrogrammes bruts et normalisés montrent la même tendance (Figure E-112 et Figure E-113) et le coton NC, cette fois, montre une surface TAMT supérieure (2325 pour une masse de 17.46 mg) à celle relevée pour le coton coupé C050 (1167 pour une masse 10.83 mg).

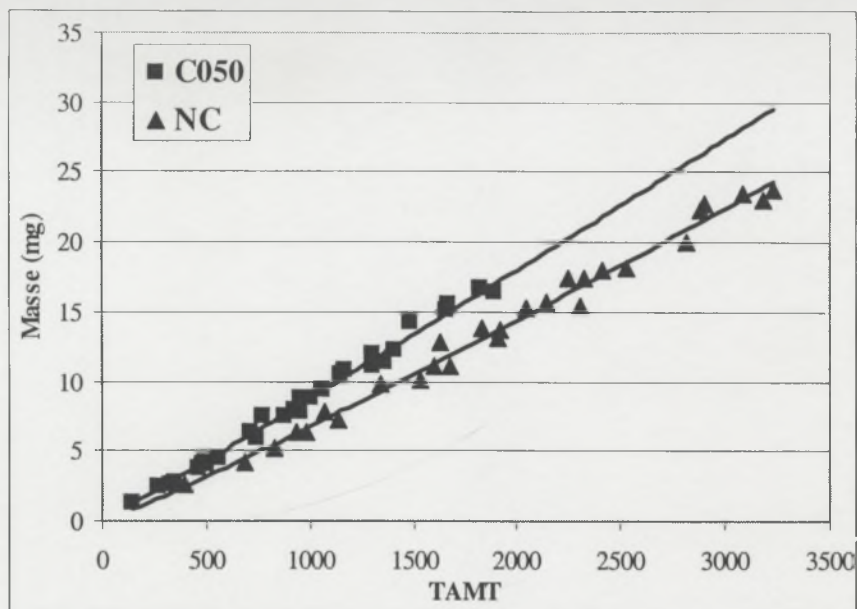


Figure E-109 : Relation entre la masse et TAMT sur les échantillons NC et C050 de la variété 1243.

Les mêmes conclusions peuvent être tirées de l'expérience à une coupe des fibres.

Ainsi, pour des mêmes surfaces sous les fibrogrammes obtenus à partir d'un seul coton (mêmes micronaire, finesse, maturité, couleur), la masse correspondante à ce fibrogramme pour un coton court est supérieure à celle d'un coton long (15.39 mg pour C050 contre 10.92 mg pour NC), et les contenus dans les peignes sont différents (BAMT = 1703 pour C050 et 895 pour NC).

Inversément, quand les valeurs BAMT sont proches (1267 pour C050 et 1259 pour NC), la masse de l'échantillon C050 (10.83 mg) est inférieure à celle de NC (17.46 mg) pour des TAMT classées dans le même ordre (1167 pour C050 et 2325 pour NC).

Une explication possible à ces deux résultats apparemment contradictoires est qu'une partie des fibres des cotons courts ne sont pas 'vues' par le capteur optique car elles semblent se superposer. Une autre explication serait qu'en dessous d'une certaine longueur de fibres et pour des lectures proches du peignes, le capteur peut être saturé rapidement, et quelle que soit la quantité de fibres présentes à ces endroits, le capteur n'est plus capable de détecter des différences de quantités de fibres présentes.

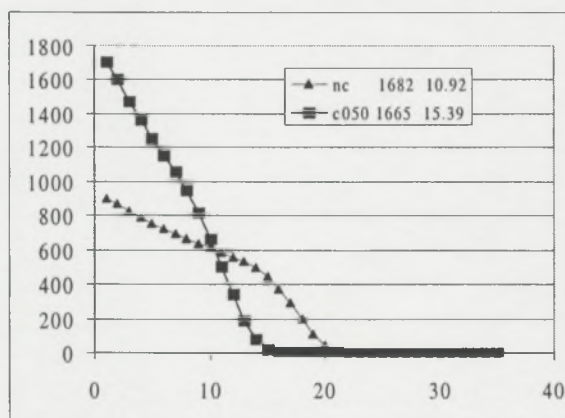


Figure E-110 : Comparaison des fibrogrammes bruts pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de TAMT voisines.

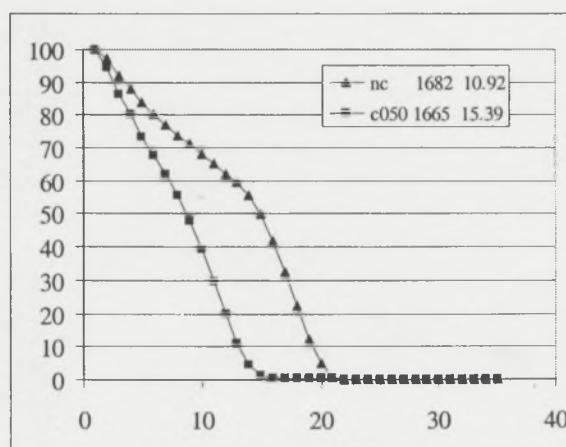
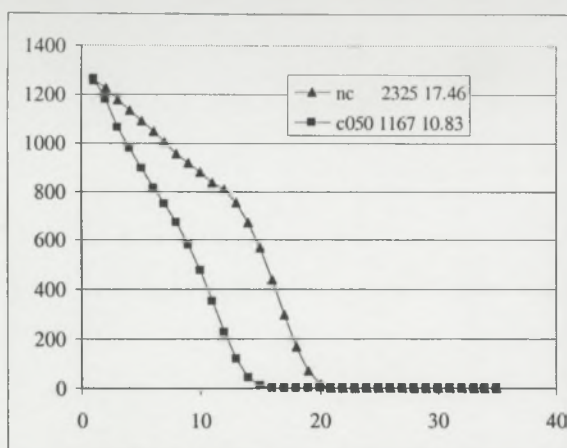
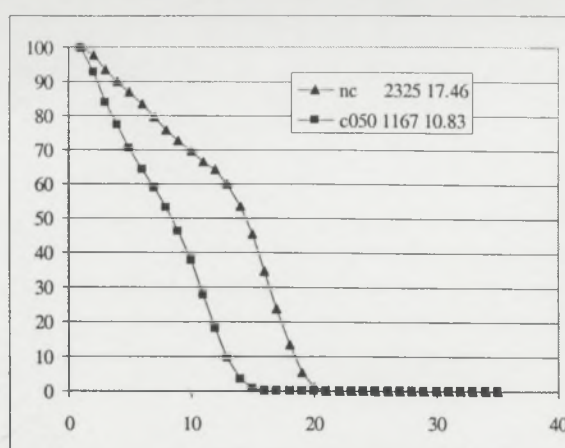


Figure E-111 : Comparaison des fibrogrammes normalisés pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de TAMT voisines.





**Figure E-112 : Comparaison de fibrogrammes bruts pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de quantités comparables de fibres dans le peigne voisines.**



**Figure E-113 : Comparaison de fibrogrammes normalisés pour les cotons NC et C050 de la variété 1243, cas de quantités comparables de fibres dans le peigne voisines.**

On pourrait également suspecter le mode d'échantillonnage par peigne : pour que les fibres se maintiennent dans le peigne, elles forment des V, W, M (ou autres) dans les dents du peigne. En fonction de la forme des fibres, elles risquent d'apparaître deux ou plusieurs fois dans le capteur optique (c'est la raison pour laquelle la première lecture de quantité de fibre est éloignée du peigne). Cela va dans le sens de la saturation du capteur optique.

Ces informations vont dans le sens d'une recommandation de la réduction de la quantité de fibres dans les peignes pour réussir à ne pas affecter les mesures de ténacité par celles de la longueur des fibres. Cela aurait également l'avantage de réduire l'interaction de la lumière avec les fibres et limiter l'effet de la couleur des fibres sur les mêmes résultats. Cependant, la gamme acceptable de quantités de fibres dans les peignes ne devra pas descendre trop bas pour éviter que l'erreur de mesure ne devienne trop grande par rapport aux valeurs lues.

#### **E.6.4. Conclusion**

Les instruments de mesure de la résistance de rupture des fibres de coton testés ici semblent affectés à divers degrés par le changement de longueur des fibres. Les résultats des deux expérimentations sur l'effet de la longueur sont comparables.

Nous avons pu mettre en avant une possible saturation du capteur optique dans la mesure des longueurs, surtout quand les fibres sont nombreuses dans son champ de mesure près du peigne. Ainsi, des masses de fibres différentes sont relevées alors que les fibres sont plus courtes et qu'il y a la même quantité optique à la fois à la première lecture et sous l'intégralité du fibrogramme.

Une solution pour éviter cette saturation serait de réduire la valeur des bornes de la plage acceptable de masses dans les peignes, et au besoin de la valider en fonction des longueurs des fibres. Cela aurait également l'avantage de diminuer l'interaction de la couleur déjà relevée plus tôt. Cependant, les limites de validité ne devront pas être trop basses pour assurer des variabilités acceptables dans les résultats HVI sans avoir à multiplier les mesures (compromis entre les coûts et les précisions à assurer).

## **E.7. Effet de la quantité de fibres dans les peignes et de la position de réalisation du test de dynamométrie sur la ténacité**

### **E.7.1. Objectifs**

Trois objectifs sont assignés à cette expérimentation :

- Il est nécessaire de vérifier que la quantité de fibres initialement présente dans les peignes n'influe pas sur les résultats de mesure. Parallèlement, en collaboration avec la société Zellweger Uster de Knoxville (Tennessee, USA), nous avons voulu vérifier les résultats de l'expérience précédente présentée durant les *Cotton Beltwide Conferences 2002* (Gurlot et al., 2002).
- Pour compléter le dispositif, le système RST permet de sélectionner l'emplacement théorique où doit être positionnée la face avant de la pince arrière de traction. Dans les expérimentations précédentes, ce lieu était la SL 30 %. Dans cette expérimentation, nous avons changé le pourcentage de fibres à rompre durant le test de dynamométrie pour voir son influence sur les résultats.
- Dans une expérimentation préliminaire, Riley a suggéré que la distance entre le système optique et la face avant de la pince arrière du HVI (dite *Lens to Break*, LtoB) et du RST pourrait avoir une incidence sur tous les résultats montrés précédemment, en particulier dans les paragraphes relatifs à l'effet de la longueur des fibres sur les mesures de ténacité. Une étude complémentaire tente de vérifier cette hypothèse.

### **E.7.2. Matériels et méthode**

Dans cette expérimentation, la même organisation pratique que l'expérimentation précédente a été utilisée. Ainsi, le coton Pima L4 a été homogénéisé en grande quantité afin d'y prélever 20 échantillons indépendants. Ces échantillons ont tous subi les mêmes opérations jusqu'à la sortie de l'étrépage sans condenseur de fibres pour obtenir 20 nappes de fibres parallélisées. Cinq échantillons ont été coupés à un coefficient de coupe de 0.50 (C050) par rapport à l'UHML du coton brut, cinq autres ont été coupés à un coefficient de 0.62 (C062), cinq autres à 0.87 (C087), et les cinq derniers échantillons n'ont pas été coupés (NC). Zellweger a reçu trois échantillons de fibres non coupées et trois échantillons de fibres coupées au coefficient 0.62 (C062).

Pour cette expérimentation, le lieu de casse par la méthode RST a évolué entre les *Span Lengths* 5, 10, 20, 30 et 40 % (respectivement SL5, SL10, SL20, SL30, SL40) afin de mieux comprendre ce qui se passe lors de la mesure quand les fibres sont trop courtes pour atteindre le lieu géographique où la casse doit être réalisée.

Toutes les analyses ont été réalisées selon un dispositif en randomisation totale sans répétition. Au HVI, dix mesures ont été réalisées alors qu'il y en a eu quinze au RST. Cependant, comme il n'est pas possible de changer l'emplacement de la casse sur le HVI, les échantillons prévus à cet effet sont considérés comme des répétitions des coupes dans les analyses de variance.

### **E.7.3. Résultats et discussion**

Les vérifications déjà effectuées dans les deux expérimentations précédentes ont été reconduites et n'ont pas montré de différence d'interprétation avec celles-ci. Nous passons donc directement aux résultats liés aux objectifs fixés.



### E.7.3.1. Effet de la quantité de fibres dans les peignes

Deux cotons HVICC particuliers ont été utilisés ici : 29445 et 28173 (Tableau E-55).

**Tableau E-55 : Description des cotons utilisés.**

Coton	IM	ML	UHML	UI	Strength
28173	4.0	19.76	24.77	79.8	23.2
29445	4.3	24.90	29.64	84.0	33.9

Quatre répétitions de 10 peignes ont été réalisées uniquement sur HVI. Pour cette expérimentation, les valeurs limites d'acceptation ou de rejet des peignes en fonction de la masse de fibres présentes ont été modifiées pour permettre de couvrir la gamme maximale permise par le matériel (dans le *Status*, les valeurs de *Min Amount* et *Max amount* ont été fixées respectivement à 1 et 1000). Pour les autres analyses, les valeurs utilisées pour toutes les expérimentations relatées dans cet ouvrage ont été maintenues (respectivement 500 et 1000).

L'analyse de données est réalisée par peigne pour donner de l'importance à la quantité de fibres (BAMT) et par régression (Tableau E-56). Cette analyse indique que les résultats peuvent être affectés quand une vaste gamme de quantités de fibres dans le peigne est utilisée. En réduisant cette gamme aux valeurs traditionnelles, il n'existe plus aucune relation significative entre les caractéristiques mesurées et les valeurs de BAMT.

**Tableau E-56 : Effet de BAMT sur les critères technologiques mesurés sur HVI.**

Critère	Coton	Equation	R <sup>2</sup>	Signification
ML	28173	20.77 - 0.00128 BAMT	0.35	***
	29445	25.75 - 0.00127 BAMT	0.18	***
UHML	28173			NS
	29445			NS
UI	28173	82.89 - 0.00463 BAMT	0.65	***
	29445	85.73 - 0.00266 BAMT	0.28	***
Strength	28173			NS
	29445	32.36 + 0.00251 BAMT	0.14	*
Elong	28173			NS
	29445	5.22 + 0.00089 BAMT	0.29	***
WorkPeak	28173			NS
	29445	2.06 + 0.00133 BAMT	0.52	***
Work total	28173			
	29445	3.54 + 0.00064 BAMT	0.18	**
Crimp	28173	0.90 + 0.00156 BAMT	0.28	***
	29445	1.23 + 0.00354 BAMT	0.58	***
Modulus	28173			NS
	29445			NS

### E.7.3.2. Effet de la position de la casse

#### Résultats HVI

Les conclusions de l'effet de la longueur sur les lectures de ténacité montrées précédemment sont confirmées : tous les paramètres mesurés par HVI sont affectés de manière très hautement significative (au seuil 0.1 %) par la coupe (Tableau E-57). Comme précisé plus haut, les échantillons supplémentaires prévus pour étudier la position de la casse sur RST ont servi à tester un effet répétition du traitement. Comme dans les expérimentations précédentes, il n'y a pas d'effet de ce facteur de variation sur les résultats. En conséquence, les échantillons envoyés à Zellweger peuvent donc être considérés comme comparables à ceux utilisés au Cirad. Les résultats moyens montrent un écart de 5.9 cN/tex entre l'échantillon le plus court (C050) et le plus long (NC, Tableau E-58).

**Tableau E-57 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI.**

Critère	Utilisation des échantillons prévus pour changer la position de la casse et pour tester l'effet répétition		Coupe		CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	
ML	0.9585	NS	0.0000	***	1.4
UHML	0.8185	NS	0.0000	***	1.0
UI	0.8712	NS	0.0000	***	0.6
Strength	0.4691	NS	0.0000	***	1.9
Elong	0.7076	NS	0.0000	***	2.8
Work Peak	0.7313	NS	0.0000	***	4.4
Work Total	0.4161	NS	0.0000	***	2.6
Crimp	0.4268	NS	0.0123	*	7.0
Modulus	0.5205	NS	0.0000	***	2.4

**Tableau E-58 : Relevé des moyennes observées sur HVI par type d'échantillon.**

Critère	C050	C062	C087	NC
ML	17.32	19.52	22.70	27.29
UHML	24.29	25.92	28.45	32.34
UI	71.31	75.31	79.78	84.36
Strength	40.41	41.78	45.10	46.27
Elong	5.16	5.46	6.13	6.66
Work Peak	2.71	3.07	3.83	4.26
Work Total	4.27	4.39	4.96	5.38
Crimp	3.09	3.35	3.37	2.88
Modulus	3.54	3.50	3.31	2.97

La comparaison de ces résultats à ceux exposés dans l'expérimentation à quatre coupes montre des écarts importants. Une explication possible est que les deux expérimentations ont été réalisées à un an d'intervalle avec deux jeux différents de standards HVICC d'étalonnage. Notons que dans les deux expérimentations, l'étalonnage HVI a été réalisé avec deux cotons de type Upland (Tableau E-55). Quand il n'est pas coupé, l'échantillon de Pima testé dans cette expérimentation a des propriétés nettement en dehors de la gamme d'étalonnage, et la moindre erreur d'étalonnage ou d'échantillonnage dans ces standards conduit à des erreurs importantes par extrapolation.

#### Résultats de la méthode RST

Au RST04, il n'y a pas d'effet de la position de la casse sur les ténacités, mais cela cache un phénomène de compensation (Tableau E-59). En effet, à la fois la force maximale PFC enregistrée et la masse de fibres rompues sont affectées par la coupe des fibres et par l'emplacement de casse, mais ces critères évoluent dans la même direction (Tableau E-60).

**Tableau E-59 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par RST04.**

Critère	Position de la casse		Coupe		CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	
GPT	0.7058	NS	0.0170	*	6.0
PFc	0.0000	***	0.5850	NS	18.6
BKAMT	0.0000	***	0.5278	NS	19.1
TAMT	0.0001	***	0.0000	***	11.9
EstWGT	0.0000	***	0.7407	NS	18.7
Elg	0.0001	***	0.6471	NS	10.2

L'effet de la coupe observé dans les expérimentations précédentes est confirmé.



**Tableau E-60 : Relevé des moyennes observées sur RST04 par type d'échantillon.**

Critère	Par coefficient de coupe					Par proportion de fibres rompues			
	C050	C062	C087	NC	5	10	20	30	40
GPT	51.05	54.75	54.47	59.17	56.83	53.85	53.92	54.53	55.18
PFc	9194	10810	10438	10338	2105	4428	9634	16016	18796
BKAMT	64.07	73.56	75.98	74.81	16.97	36.11	72.18	109.45	125.83
TAMT	1392	1651	2006	2747	2506	2371	1926	1560	1383
EstWGT	8.84	8.70	8.22	7.33	8.01	8.11	8.05	8.56	8.47
Elg	10.83	11.08	10.52	10.23	14.58	11.06	9.81	8.57	9.01

**E.7.3.3. Effet de la distance entre le système optique et la pince arrière**

A la suite de l'expérimentation décrite dans le paragraphe précédent, il nous a été conseillé de vérifier la distance entre le système optique et la face avant de la pince arrière du système de traction. Un étalonnage, qui ne doit normalement être réalisé que si des modifications techniques sont apportées sur la machine, a été réalisé et a changé la distance en pas d'une valeur de 282 à une valeur de 274 pas.

Trois des échantillons précédents (facteur coton) ont été réutilisés ici (C050, C062 et NC) en une expérimentation selon un dispositif en blocs de Fisher à deux répétitions avec deux niveaux de réglage de la distance *Lens to break* (facteur LtoB, niveau 274 obtenu après ré-étalonnage et 282 la valeur initiale).

**Résultats HVI**

Parmi toutes les caractéristiques mesurées, seules la ténacité HVI et deux caractéristiques apparentées (*work total* et *modulus*) sont affectées par la distance entre les éléments constituant le HVI (Tableau E-61).

Cependant, l'écart constaté (1.45 cN / tex) dû à cet effet ne pourrait pas être détecté dans les pratiques commerciales où la tolérance normalement utilisée est de  $\pm 1.5$  cN/tex.

**Tableau E-61 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par HVI.**

Critère	Effet distance LtoB		Effet coupe		Interaction		CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	
ML°	0.3179	NS	0.0000	***	0.5117	NS	1.3
UHML°	0.2055	NS	0.0000	***	0.4458	NS	0.8
UI°	0.5916	NS	0.0000	***	0.5313	NS	0.6
Strength	0.0122	*	0.0002	***	0.6549	NS	1.5
Elong	0.3915	NS	0.0001	***	0.3163	NS	1.3
Work Peak	0.0661	NS	0.0001	***	0.4127	NS	2.6
Work Total	0.0241	*	0.0001	***	0.4880	NS	2.1
Crimp°	0.6491	NS	0.0913	NS	0.5722	NS	7.2
Modulus	0.0029	**	0.0002	***	0.1340	NS	1.3

°: certaines conditions de l'analyse de variance ne sont pas respectées.

L'effet de la coupe est comparable aux autres expérimentations déjà réalisées (Tableau E-62).

**Tableau E-62 : Relevé des moyennes observées sur HVI par type d'échantillon.**

Critère	Par distance LtoB			Par coefficient de coupe		
	274	282	C050	C062	NC	
ML	22.07	21.89	18.48	19.95	27.52	
UHML	28.11	27.92	25.27	26.39	32.39	
UI	77.95	77.80	73.10	75.60	84.93	
Strength	43.64	45.09	41.74	42.71	48.64	
Elong	6.20	6.16	5.57	5.82	7.15	
Work Peak	3.84	3.98	3.20	3.47	5.07	
Work Total	4.68	4.87	4.20	4.31	5.81	
Crimp	2.73	2.79	2.94	2.91	2.53	
Modulus	3.28	3.43	3.55	3.48	3.04	

**Résultats de la méthode RST04**

Dans cette expérimentation peu puissante, il n'y a pas d'effet significatif de la distance entre le capteur optique et la pince de traction pour la ténacité (GPT, Tableau E-63).

**Tableau E-63 : Significations relevées lors de l'analyse de variance à partir des résultats d'analyse par RST04.**

Critère	Effet distance LtoB		Effet coupe		Interaction		CV% résiduel
	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	Proba>F	Signif.	
GPT	0.0812	NS	0.0513	NS	0.7879	NS	3.1
PFc	0.7374	NS	0.3826	NS	0.9191	NS	9.5
BKAMT	0.7388	NS	0.5410	NS	0.9447	NS	6.2
TAMT	0.4469	NS	0.0004	***	0.6290	NS	8.5
EstWGT	0.7967	NS	0.0213	*	0.9457	NS	6.3
Elg	0.7813	NS	0.3773	NS	0.6864	NS	4.0

L'effet de la coupe est identique à celui observé dans les autres expérimentations (Tableau E-64).

**Tableau E-64 : Relevé des moyennes observées sur RST04 par type d'échantillon.**

Critère	Par distance LtoB		Par coefficient de coupe		
	274	282	C050	C062	NC
GPT	53.46	55.56	52.21	55.35	55.96
PFc	14724	15016	15668	14796	14145
BKAMT	105.65	104.33	107.22	101.92	105.83
TAMT	1558	1495	1133	1223	2224
EstWGT	0.854	0.845	0.934	0.830	0.784
Elg	8.85	8.91	9.06	8.90	8.68

#### **E.7.4. Conclusion**

Si un effet de la masse de fibres dans les peignes est démontré quand une large gamme de valeurs est utilisée, il ne semble pas avoir de portée pratique dans les gammes normales de *base amount* (BAMT) généralement utilisées.

Pour ce qui concerne la position de la casse au RST04, elle n'a pas d'effet sur la ténacité calculée bien que cela masque un phénomène de compensation significatif sur la force et la masse de fibre estimée. Son impact est donc assez limité en termes pratiques.

La distance entre le capteur optique et la pince arrière du HVI a un effet significatif sur la ténacité mesurée au HVI, mais l'écart constaté reste dans les tolérances généralement admises. Une étude complémentaire apporterait peut-être un autre éclairage sur l'importance de ce réglage qui ne devrait être réalisé que par un technicien de maintenance averti. La portée pratique devra être réévaluée.

Une information importante est tout de même dégagée de cette série d'expérimentations : il est possible que la dérive déjà constatée dans l'établissement des valeurs des standards continue avec les nouvelles générations de standards HVICC.

De manière générale, les résultats et conclusions des expérimentations décrites dans cet ouvrage ne sont pas fondamentalement remis en cause par ces résultats.

### **E.8. Effet de la température et de l'humidité relative pendant les mesures**

#### **E.8.1. Objectif**

En premier lieu, il s'agit de vérifier les conditions atmosphériques dans le périmètre des appareils HVI pour voir dans quelle mesure ceux-ci affectent ces conditions par la présence des cartes électroniques, des moteurs ...

Le deuxième objectif consiste à vérifier l'impact de ces conditions atmosphériques sur les résultats d'analyses technologiques réalisées sur des fibres de coton.



### E.8.2. Matériels et méthodes

Pour le premier objectif, nous disposons d'une sonde intégrée au RST pour la mesure des conditions d'ambiance, et d'une sonde externe pour obtenir une mesure indépendante. Les deux sondes ont été vérifiées avant leur utilisation par des mesures d'humidité relative de solutions salines. Les conditions ambiantes ont été mesurées en diverses positions de l'environnement de l'appareil HVI.

Pour ce qui concerne le deuxième objectif – vérifier l'effet des modifications des conditions d'ambiance sur les résultats de ténacité – les données Mantis obtenues à différentes conditions d'ambiance sont utilisées. Pour les acquérir, les cotons de la thèse de Kaewprasit (Kaewprasit, 1997) ont été testés dans différentes ambiances non contrôlées résultantes d'une intervention de maintenance sur le système de conditionnement du laboratoire pendant lesquels quelques tests ont été réalisés.

### E.8.3. Résultats et discussion



#### E.8.3.1. Conditions d'ambiance réelles observées

Le système de conditionnement est réglé pour obtenir des conditions de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  et  $65\% \pm 2\%$  d'humidité relative dans le laboratoire. En fait, ces conditions sont généralement observées dans les environs très proches de la sonde de contrôle et de pilotage des systèmes de conditionnement d'air.

Des relevés ont été réalisés alors que les conditions d'ambiance étaient stables depuis plusieurs semaines (aux petites variations quotidiennes et instantanées près).

Pour maintenir les fibres 'parallèles' après le brossage et pendant la mesure de la distribution de longueur des fibres, un système d'aspiration prélève de l'air du laboratoire au travers du capteur optique qui constitue une bouche d'aspiration. Cette dépression récupère également la part des fibres rompues pendant le test de dynamométrie dans un bac à déchets pour le rejeter après filtration par une bouche d'éjection.

Les relevés sont réalisés à diverses positions de l'appareil HVI / RST pour connaître l'évolution des conditions d'ambiance directement en contact avec les fibres testées : au niveau du système de contrôle du laboratoire, au niveau du *Fibrosampler*, au niveau du système de brossage du HVI, de la sonde interne du système RST, du chariot porte-peigne et du capteur optique de mesure des longueurs de fibres, et enfin au niveau de la bouche d'éjection de l'air aspiré au niveau du capteur optique (Figure E-114).

Si des dispositifs puissants et coûteux sont installés pour conditionner l'air dans un laboratoire, on en attend qu'ils régulent les conditions atmosphériques aux conditions requises de manière identique en tout point de relevés dans la salle d'analyse. Grâce à des relevés de température et d'humidité relative, nous allons tester l'hypothèse émise ci-dessus.

Quand le HVI est en veille, le système d'aspiration ne fonctionne pas. A ce moment-là, qui peut correspondre au moment choisi pour démarrer des analyses en début de journée, des écarts importants de température et d'humidité sont relevés (Figure E-115 et Figure E-116) selon l'endroit où les mesures sont réalisées. Ces écarts de conditions sont dus à l'échauffement des cartes électroniques en veille qui réchauffent l'air aux alentours. Cet air monte au travers de la machine en passant dans la zone située entre le chariot porte-peigne, la brosse et le capteur optique.





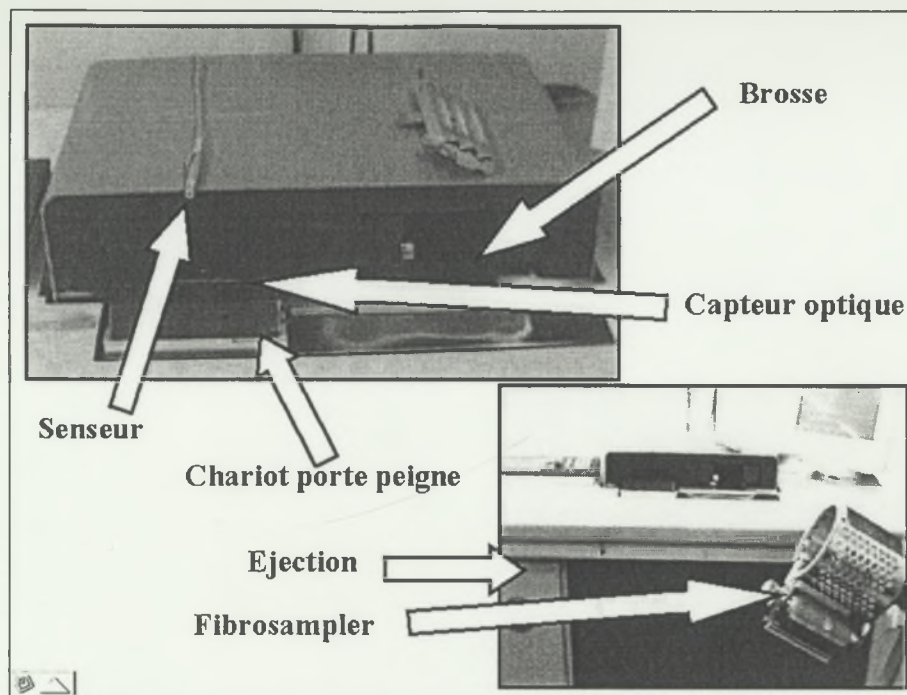


Figure E-114 : Positions des relevés de température et d'humidité relative.

Dès l'instant où un peigne est alimenté dans le HVI, le système d'aspiration se met en fonctionnement et les conditions d'ambiance changent puis se stabilisent à des niveaux différents de précédemment (Figure E-117 et Figure E-118). Dans les graphes de ce paragraphe, les écarts aux conditions normales d'ambiance sont indiqués. Une partie de la chaleur dissipée par les cartes électroniques est évacuée par le système d'aspiration. Il s'y ajoute la chaleur dissipée par les différents moteurs de commande du HVI, le tout étant évacué à des conditions fortement différentes des conditions normales du laboratoire. Le capteur intégré au système RST montre des résultats très différents de ceux enregistrés par le senseur externe : du fait de son contact direct avec le capot du HVI induisant probablement une conduction thermique.

Rappelons que quand le manomètre intégré dans le système de filtration de l'air indique 11, la vitesse de l'air est de l'ordre de 10 m/s pendant les 6-8 secondes que dure la caractérisation des fibres du peigne. Pendant ce laps de temps, environ 14 dm<sup>3</sup> d'air ont circulé. Dans un tel environnement, les fibres ne peuvent qu'être déconditionnées.

De telles observations sont également courantes dans d'autres laboratoires du monde. Aussi, des précautions devraient être prises par les constructeurs de matériel pour dissiper la chaleur des composants matériels des HVI vers d'autres endroits que celui empruntés par les fibres. Celles-ci seraient alors moins déconditionnées qu'elles ne le sont actuellement avec ce que cela implique en terme de modifications des résultats produits. Notons également que c'est plus particulièrement au démarrage des tests que se font les vérifications d'étalonnage de l'appareil et que le risque de biais est alors reporté sur toute la série d'échantillons analysés dans cet étalonnage. C'est sans doute la raison pour laquelle le constructeur corrige les résultats produits en fonction des conditions d'ambiance mesurées simultanément sur les derniers modèles fabriqués de HVI.

Des tests à grande vitesse d'application de contrainte ont montré un effet décroissant des conditions d'ambiance atmosphérique sur les résultats de ténacité (Bragg et al., 1998). Cependant, les grandes vitesses d'application de contrainte peuvent impliquer des phénomènes rhéologiques différents en comparaison avec ce qui est observé à faible vitesse. La signification de la mesure de ténacité en serait changée.



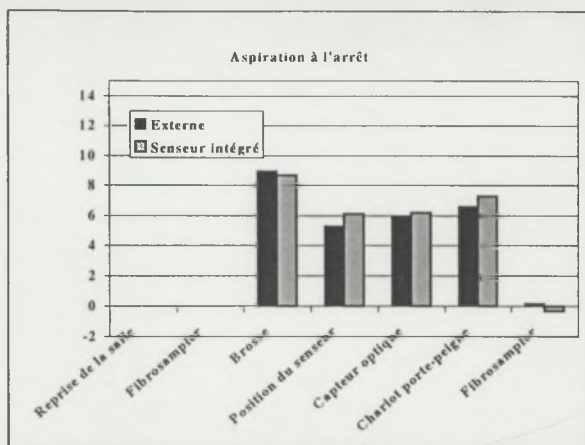


Figure E-115 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts de température relevés quand l'aspiration est arrêtée.

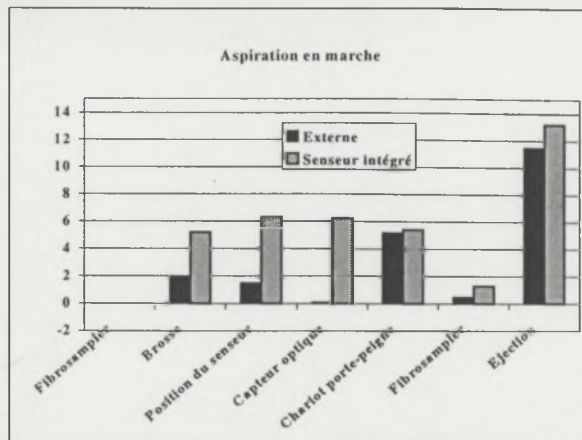


Figure E-117 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts de température relevés quand l'aspiration est en marche.

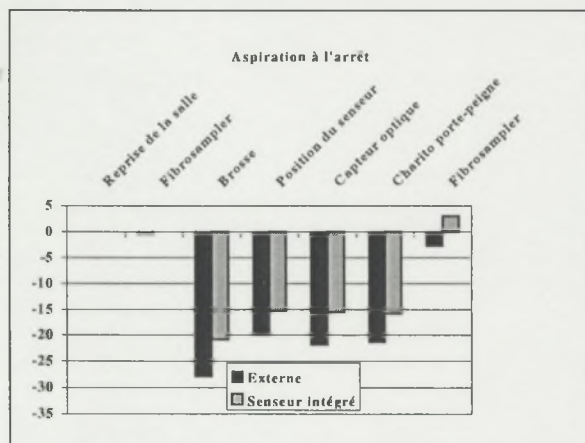


Figure E-116 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts d'humidité relative relevés quand l'aspiration est arrêtée.

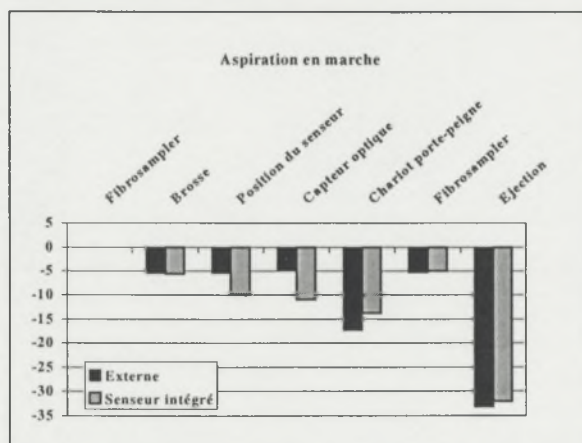


Figure E-118 : Résultats de mesure des conditions atmosphériques par deux capteurs indépendants à diverses positions près du HVI / RST : écarts d'humidité relative relevés quand l'aspiration est en marche.

#### E.8.3.2. Effet des conditions atmosphériques sur les résultats Mantis

Pour vérifier l'effet de ces changements à long terme des conditions d'ambiance sur les résultats des tests de dynamométrie, j'ai saisi l'opportunité d'une opération de maintenance du système de conditionnement d'air pour réaliser quelques mesures sur Mantis.

Les données ont été regroupées par classe d'humidité relative relevée au moment de chaque casse de fibre, et l'analyse porte sur les valeurs de force de rupture et allongement de rupture.

Une petite parenthèse est ouverte ici pour montrer également que d'autres conditions de tests peuvent modifier les résultats observés : quelques mesures de *Ribbon width* (RW, en microns) ont également été réalisées sur ces cotons. Thibodeaux a réalisé une comparaison avec les résultats AFIS (Thibodeaux et al., 1998). Après avoir positionné la fibre dans les pinces du Mantis, celui-ci ouvre une pince de traction, accroît l'écart entre les pinces pour le fixer à 10 mm au lieu de 3.175 mm, puis referme la pince et, grâce à un capteur optique, mesure la largeur de la fibre (Figure E-119). Après cette mesure, l'appareil repositionne les pinces à l'écartement initial de 3.175 mm avant d'appliquer la contrainte de traction. Pendant les

opérations de positionnement des pinces à la bonne distance, la fibre est en permanence maintenue par une pince et aspirée, et donc prétendue à son autre extrémité.

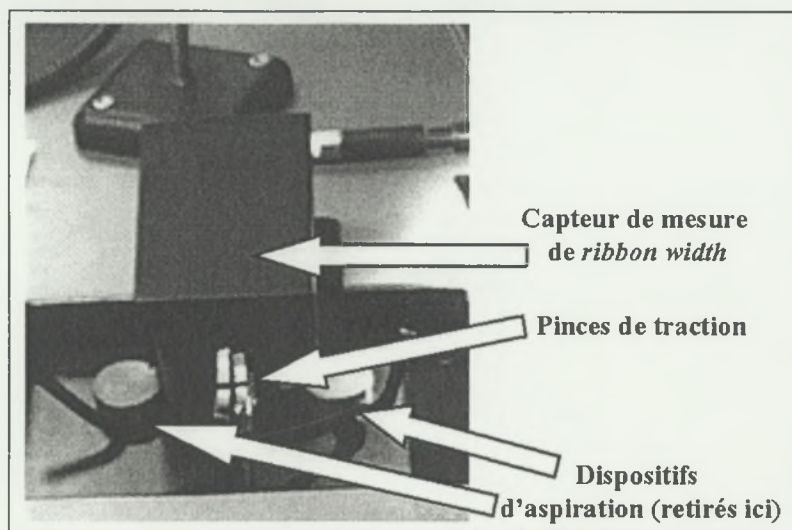


Figure E-119 : Zone de test sur Mantis avec capteur de mesure de RW.

Pour résumer les conditions de mesures, les tests ont été répartis dans trois classes d'humidités relatives (HR) différentes, ainsi que des mesures de RW dans des conditions comparables (Tableau E-65).

Tableau E-65 : Conditions des analyses Mantis.

Coton	Classe HR	Nombre	Classe HR	Nombre	Classe HR	Nombre	Classe HR	Nombre
B26	35	50	60RW	47	63	50	64	53
C36	61	51	62RW	53	64	52	65	49
D5	34	52	61	53	62RW	52	64	52
E4	33	51	60	52	62RW	52	63	51
G17	40	45	65	52	66	51	66RW	49
I26	41	58	61	57	61RW	54	66	53

Les résultats de cette expérimentation indiquent que dès qu'un écart d'humidité relative enregistré dépasse 3 à 5 % en valeur, des effets significatifs se font sentir sur les deux critères les plus importants mesurés par Mantis (Tb et Dep, Figure E-120 à Figure E-131). Notons que ces effets sont déjà perçus avec seulement 50 fibres rompues par coton.

Pour revenir sur le commentaire fait un peu plus haut, le fait de mesurer RW modifie très souvent les mesures de *slack* (non montré ici), et affecte les mesures de Dep et Tb. En effet, à condition hygrométriques comparables, une tendance existe (non significative avec un faible nombre d'observations) pour que les valeurs enregistrées soient inférieures pour Tb et plus élevées pour Dep.



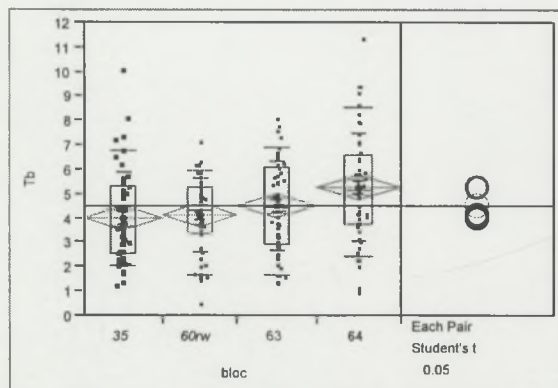


Figure E-120 : Comparaison des résultats  
Mantis : Tb pour coton B26.

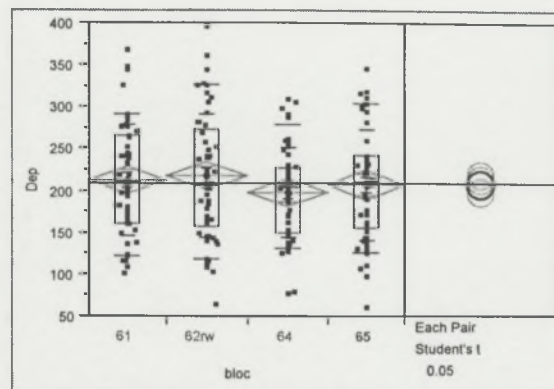


Figure E-123 : Effet de HR : C36 Dep

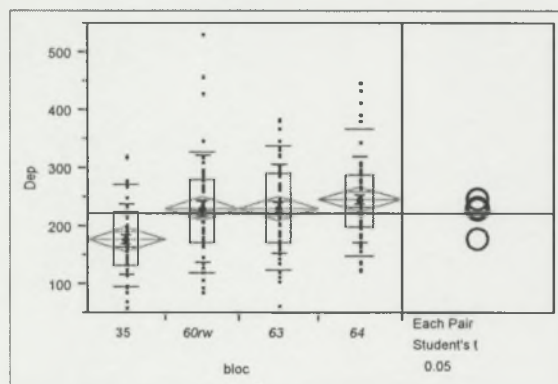


Figure E-121 : Comparaison des résultats  
Mantis : Dep pour coton B26.

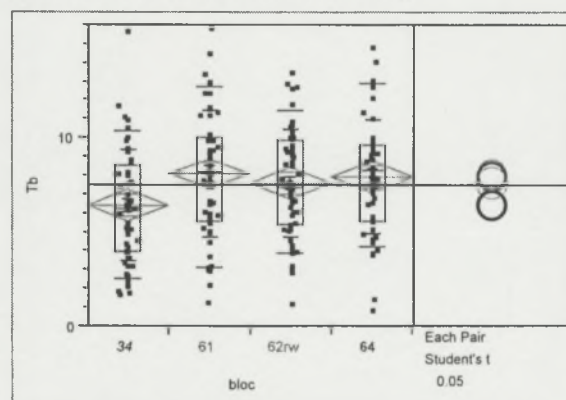


Figure E-124 : Effet de HR : D5, Tb.

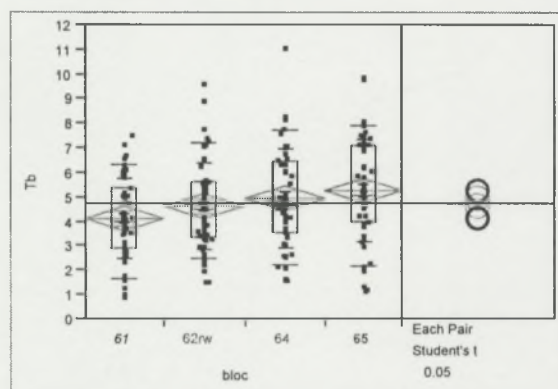


Figure E-122 : Effet de HR : C36, Tb.

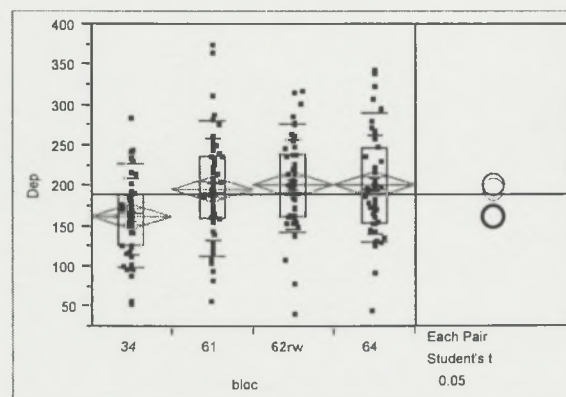


Figure E-125 : Effet de HR : D5, Dep.

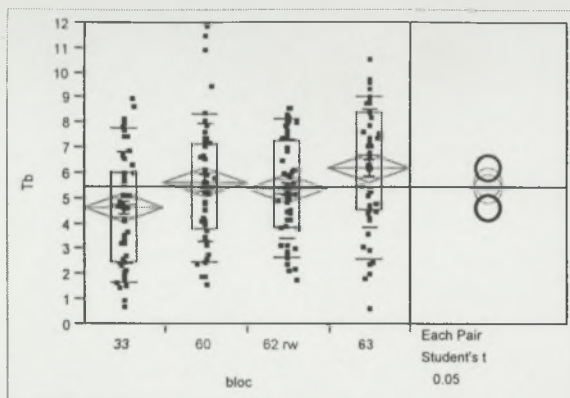


Figure E-126 : Effet de HR : E4, Tb

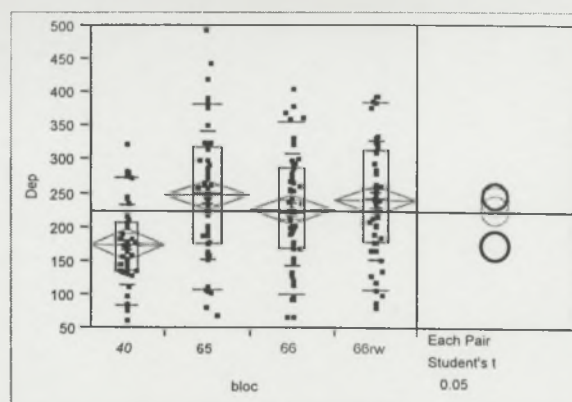


Figure E-129 : Effet de HR : G17, Dep.

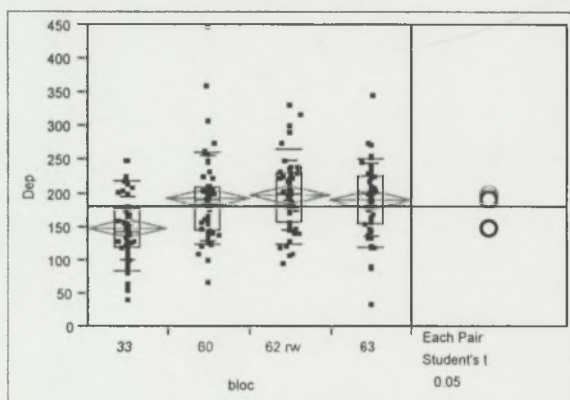


Figure E-127 : Effet de HR : E4, Dep.

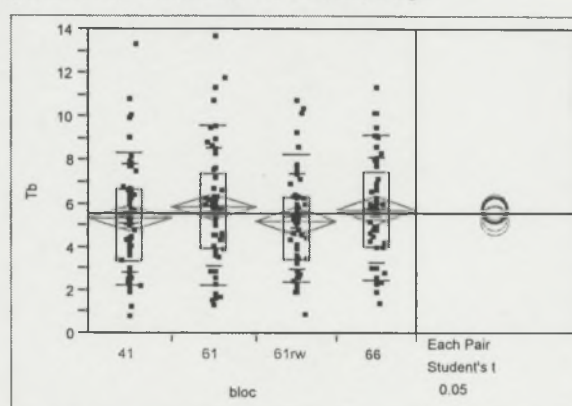


Figure E-130 : Effet de HR : I26, Tb

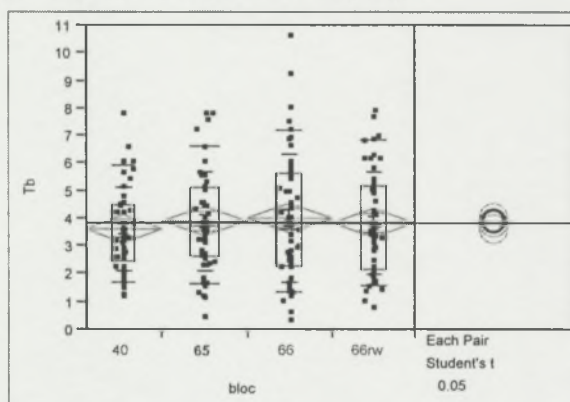


Figure E-128 : Effet de HR : G17, Tb.

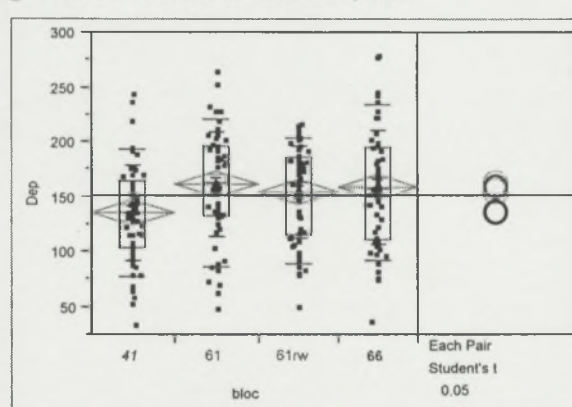


Figure E-131 : Effet de HR : I26, Dep.

#### E.8.4. Conclusion

Dans cette expérimentation, nous avons vu que des écarts importants de température et d'humidité sont enregistrés en fonction de l'endroit où les mesures sont prises dans la proximité immédiate du passage des fibres en cours de tests.

Dans le même temps, il a été montré que de faibles différences d'humidité relative peuvent occasionner des écarts de force et d'allongement de rupture sur fibres individuelles telles que mesurées par Mantis.

Les critères de conditions atmosphériques du laboratoire sont probablement intervenus sans cesse lors des différentes expérimentations exposées dans cet ouvrage, mais il est difficile d'en évaluer l'impact quand tous les facteurs de variation sont concomitants. En conséquence, nous avons été obligés de le négliger.



## ***CHAPITRE F***

### ***VERIFICATION DES EFFETS AVEC DES COTONS GENERAUX***

## Chapitre F : Vérification des effets avec des cotons généraux

### F.1. Objectif

Cette expérimentation tente de vérifier si les effets séparés des différentes propriétés étudiées sont perceptibles quand des cotons de provenances différentes sont analysés sur les différents appareils de mesure.

En outre, grâce à quelques résultats de filature, nous allons tenter de vérifier si les biais constatés dans les mesures affectent la qualité de prévision de la ténacité du fil.

Avant de répondre à ces deux objectifs, il est nécessaire de souligner que les relations qui seront discutées ici sont limitées au jeu d'échantillons considéré. En conséquence, il ne sera pas systématiquement possible d'isoler et de quantifier l'effet dû aux possibles biais de mesure des autres effets et facteurs d'explication. Par exemple, la capacité des variétés à fournir des fibres spécifiques, sous dépendance des conditions de culture, des conditions de transformations etc., peuvent interagir dans les relations mises en évidence.

Pour contourner cet écueil, une solution consisterait à comparer les corrélations obtenues entre critères mesurés à celles qui sont attendues théoriquement entre les propriétés mesurées de manière idéale, c'est-à-dire où chacun des critères est mesuré indépendamment de tous les autres, autrement dit une 'référence'. Or cette 'référence' n'est acquise ou connue actuellement que grâce à des caractérisations par des appareils de mesure où les critères ne sont pas forcément mesurés de manière indépendante. Par exemple, s'il ne doit pas théoriquement exister de corrélation entre un paramètre de couleur et la résistance de rupture, et qu'une corrélation significative est observée dans cette expérimentation, on pourra suspecter un biais de mesure, ou un biais dû aux variétés utilisées, ou bien une combinaison des deux, ou une ou plusieurs autres causes. En effet, les variétés ont pu être sélectionnées pour répondre à cette combinaison de caractéristiques afin de fabriquer des produits particuliers. En outre, cette combinaison peut être masquée ou être implicite à cause des (ou grâce aux) procédés de mesure utilisés par les appareils.

On ne retiendra donc de cette expérimentation que des informations générales dont les conclusions auront une portée limitée et qui correspondront à un domaine de validité restreint à l'échantillonnage présenté.

### F.2. Matériels et méthodes

#### F.2.1. Les cotons

Dix-sept cotons de différentes provenances (Tableau F-1) sont utilisés ici sur tous les appareils décrits au chapitre D. Des gammes larges sont couvertes pour chacune de leurs caractéristiques. On note en particulier les gammes étendues de longueur, de maturité, de finesse, et de couleurs.



**Tableau F-1 : Descriptif des 16 cotons utilisés et leurs caractéristiques HVI, et FMT.**

Coton	Type	ML mm	UHML mm	UI %	Strength cN/tex	Elong %	IM	MR	PM %	H mtex	Hs mtex	Rd %	+b
27742	HVICC	22.6	27.4	82.3	27.5	5.9	5.27	0.99	86.5	216	219	74.3	10.5
27992	HVICC	18.7	23.6	79.1	21.5	5.4	3.86	0.80	71.4	175	218	71.6	14.1
28020	HVICC	22.1	27.2	81.2	28.8	5.6	2.84	0.56	47.2	163	290	73.3	13.3
28463	HVICC	24.7	29.2	84.4	31.3	6.0	4.06	0.90	80.0	168	186	73.9	12.5
28671	HVICC	21.2	25.9	81.7	24.3	5.4	4.87	0.91	80.7	210	231	74.4	11.8
28764	HVICC	27.4	32.9	83.2	39.4	6.0	3.02	0.69	60.6	147	214	75.3	11.2
B26	ICCS	20.0	24.9	80.3	22.2	5.9	4.46	0.82	73.3	205	249	75.1	13.1
C38	ICCS	24.1	29.4	82.1	29.9	5.9	3.65	0.78	69.1	168	217	77.5	12.7
D05	ICCS	28.9	34.0	84.9	45.0	6.9	3.75	0.81	71.9	168	208	74.5	11.0
E04	ICCS	28.0	33.4	83.8	38.0	6.2	3.15	0.74	66.2	145	195	68.9	13.9
G17	ICCS	19.9	25.1	79.0	23.6	5.8	2.84	0.56	47.2	163	290	73.5	14.3
Gua2	Cirad	23.4	28.2	83.0	28.6	5.4	4.16	0.86	76.6	181	210	73.9	10.6
I26	ICCS	22.6	27.5	82.0	24.1	5.2	4.97	0.88	78.1	222	253	74.2	13.2
Irma 1243	Cirad	24.0	28.8	83.4	29.8	6.4	3.96	0.88	77.9	167	191	75.5	9.7
Irma BLT	Cirad	26.5	31.5	84.3	31.2	5.7	3.55	0.86	76.8	148	172	75.6	9.5
P288	Cirad	24.4	28.9	84.5	30.8	5.7	3.65	0.87	77.2	153	176	73.9	9.8
Stam	Cirad	24.4	29.3	83.4	31.6	5.7	3.75	0.82	73.0	166	203	73.9	11.6

Les cotons de type 'Cirad' sont des cotons commerciaux obtenus dans le cadre de partenariats de recherche.

### F.2.2. Opérations de filature

Les échantillons de 120 grammes de coton brut ont été ouverts à la main puis avec l'ouvreuse de laboratoire avant d'être cardés (avec un nettoyage des chapeaux fixes de la carde au milieu et à la fin du temps de cardage de chaque échantillon). La matière est collectée sous forme de nappe par accumulation des voiles sur un grand tambour. Ces nappes sont étirées avec une récupération de la matière dans 5 pots. Le deuxième passage d'étirage est réalisé en doublage de 5 avec récupération dans 10 pots. Le troisième passage est réalisé avec un doublage de 10, et la matière est récupérée à raison d'un pot pour la filature à bouts libérés (Open end, OE) et de deux pots pour la filature conventionnelle à anneaux et curseurs (RS).

Les machines de filature sont réglées pour fabriquer du fil OE de 27 tex sur une broche de filature, alors que deux broches de continu à filer classique sont utilisées pour fabriquer du fil de 25 tex.

Les réglages usuels de la fabrication et de l'analyse du fil sont maintenus, à savoir qu'ils sont optimisés en fonction de la longueur et de la finesse des cotons selon le protocole habituel. Un standard interne au laboratoire a été filé et analysé en plusieurs répétitions pour vérifier l'absence de dérive ou de dérèglement des machines de filature pendant cette expérimentation.

Les analyses technologiques réalisées sur les fibres / fils sont les suivantes :

- Trashcam sur nappe (100 dpi) pour s'assurer que des SCF ne perturbent pas les relations à calculer entre caractéristiques de fibres et celles du fil (Krifa et al., 2001) ;
- HVI avec 10 peignes par échantillon pour les caractérisations des longueurs et de la dynamométrie ;
- FMT avec 2 mesures par échantillon ;
- Colorimétrie avec 4 mesures par échantillon ;
- Trashcam sur plaquette de fil (200 dpi) pour s'assurer que des SCF ne perturbent pas les relations à calculer entre caractéristiques de fibres et celles du fil ;
- Tensorapid 20 secondes, 160 casses par échantillon ;

- Tensorapid 0.3 secondes, 160 casses par échantillon ;
- UT 3 selon méthode habituelle du laboratoire pour vérifier que les imperfections présentes ne modifient pas les relations fibre – fil.

Par ailleurs, nous nous sommes assurés que les cotons ne portaient pas de point collant susceptible de perturber la fabrication des filés et de détériorer les relations qui pourraient exister entre la qualité du fil et celle des fibres (Gurlot et al., 2001a, Gurlot et al., 2001b).

### F.3. Résultats et discussion

Environ 127 caractéristiques technologiques ont été mesurées sur les fibres utilisées et les filés fabriqués dans cette expérimentation.

Comme l'objectif premier est de vérifier l'impact de certaines caractéristiques de fibres sur les mesures HVI ou RST, nous allons tout d'abord étudier les relations entre les résultats des caractérisations des fibres.

Par la suite, nous étudierons succinctement les relations qui existent entre mesures des critères de fibres et la force de rupture enregistrée sur les filés pour comparer les résultats de cette expérimentation à ceux déjà publiés.

#### F.3.1. Relations entre résultats des caractérisations des fibres

En premier lieu, l'effet des propriétés de surface des fibres, de leur maturité et de leur finesse est étudié. Peu de paramètres sont corrélés avec ceux mesurés au FMT et donc on ne peut pas déduire un quelconque effet sur la ténacité HVI de cette expérimentation.

En revanche, pour ce qui concerne l'effet des longueurs (au travers de l'examen des corrélations des critères ML, UHML, UI) sur les mesures de ténacité, de nombreuses corrélations sont significatives (au seuil 5 %), voire très significatives (au seuil 1 %). Comme indiqué dans le paragraphe des objectifs de cette expérimentation, il est probable que l'effet de la longueur constaté provienne à la fois d'un biais de mesure (démontré par ailleurs) et d'une combinaison d'autres facteurs comme le choix des cotons et leurs modes de production.

Au vu des niveaux élevés des corrélations relevés sur les résultats sur faisceaux, un effet du biais de mesure de la ténacité en raison des longueurs de fibres semble assez probable sur les mesures sur faisceaux de fibres, en particulier pour les cotons les plus courts. Il apparaît que la ténacité est plus forte quand les fibres sont longues (T1/UHML :  $r = 0.96$  ; HVI/ UHML :  $r=0.986$ , Tableau F-2, Figure F-1).

Cette figure indique un lien très fort entre la longueur et les ténacités mesurées sur faisceaux de fibres (plat ou en pointe) confirmant ainsi l'adage selon lequel plus les fibres sont longues, plus elles sont fines et plus elles sont tenaces. Pour ce qui concerne la finesse, elle est corrélée de manière significative (au seuil 5 %) dans cette expérimentation avec les ténacités. On peut expliquer cette relation comme suit : pour un même *amount* ou une même masse de fibres rompues, il y a un plus grand nombre de fibres présentes et la force de rupture a tendance à augmenter, accroissant ainsi artificiellement leur ténacité.

Dans le même temps, les résultats de force de rupture du Mantis, obtenus à partir de tests sur fibres individuelles, sont corrélés à des niveaux inférieurs (Tb / UHML :  $r = 0.59$ , significatif au seuil 5%) aux longueurs de fibres (Figure F-2). En isolant les fibres de *G. Hisutum*, cette corrélation devient non significative ( $r=0.22$ , ns), alors qu'elle continue de l'être dans les mesures sur faisceaux de fibres ( $r=0.915$ , hautement significatif). Cela est conforme à



l'expérimentation des coupes de fibres. Il semble que le Mantis mesure bien des résistances de structures des fibres.

La relation discutée ci-dessus serait alors très dépendante des conditions de mesure des critères technologiques des fibres de coton. Cela peut être confirmé par tous les biais démontrés dans cet ouvrage.

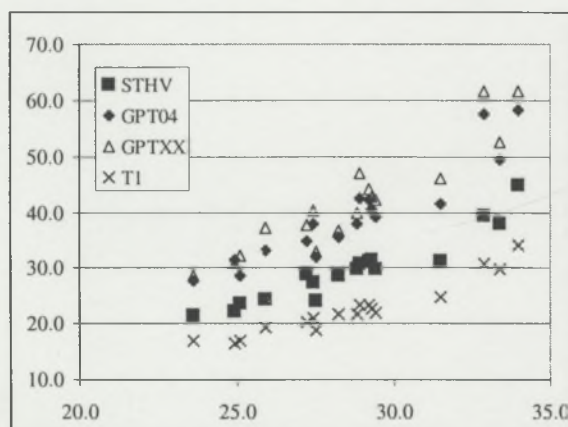


Figure F-1 : Relations entre les résultats de ténacités (cN/tex) mesurées sur faisceaux de fibres et la longueur UHML (mm).

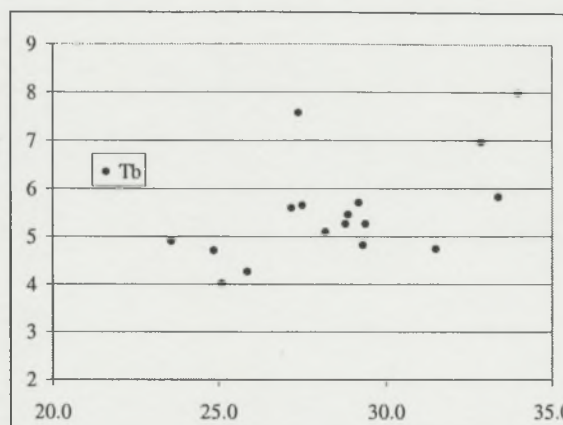


Figure F-2 : Relations entre les résultats de forces de rupture (cN) mesurées sur Mantis et la longueur UHML (mm).

Ainsi, l'arrangement structural de ces fibres longues serait meilleur que pour les fibres courtes. Cette hypothèse est particulièrement confirmée pour les cotons longue soie (E04, D05, 28764, les trois cotons les plus longs dans les deux figures ci-dessus).

La couleur ne joue pas sur la ténacité T1 du Stéломètre car aucune corrélation apparaît significative. En revanche, le degré de jaune est corrélé négativement et significativement au seuil 5% avec UI. Cela est probablement lié à une quantité et la qualité de la lumière qui atteint le capteur optique du HVI. Notons qu'une corrélation positive existe entre UI et la ténacité HVI et Stéломètre sur ces cotons et sur des jeux indépendants d'échantillons ( $r \approx 0.75$ , HS dans cette expérimentation). Les raisons de cette relation ont été expliquées au chapitre E.

Une tentative d'explication de la ténacité HVI a été réalisée par régression polynomiale à partir de données indépendantes mesurées sur les fibres (Tableau F-4). En considérant qu'une variable retenue dans la régression polynomiale (réalisée pas à pas) d'explication de la ténacité HVI interagit dans sa mesure, alors on confirme que les caractéristiques de longueur et de finesse affectent la mesure de la ténacité au HVI.

**Tableau F-2 : Corrélations simples significatives au seuil 5 % entre résultats de caractérisation des fibres.**

Critères	ML	UHM	UI	STH	EL	IM	MR	PM	H	Hs	Rd	+b	Tb	Dep	WP	WT	Crimp	Mod	GPT 04	Force 04	Bkamt	Tamt	WGT	EL04	Tex	GPT XX	T1	
ML	1																											
UHML	0.996	1																										
UI	0.873	0.828	1																									
STHV	0.944	0.948	0.758	1																								
EL	0.617	0.621		0.730	1																							
IM						1																						
MR						0.840	1																					
PM						0.823	0.998	1																				
H						0.888	0.497		1																			
Hs										1																		
Rd											1																	
B										0.645		1																
Tb	0.585	0.582		0.679	0.569								1															
Dep														1														
WPHV	0.872	0.859	0.778	0.921	0.806								0.780		1													
WTHV	0.759	0.748	0.665	0.845	0.877								0.778		0.969	1												
CRIMPHV																	1											
MODHV	0.824	0.797	0.854	0.782									0.708		0.855	0.767		1										
GPT04	0.931	0.934	0.757	0.973	0.692								0.709		0.901	0.836		0.798	1									
FORCE	0.866	0.861	0.740	0.887	0.595								0.805		0.899	0.835		0.858	0.933	1								
BKAMT	0.582	0.604																		0.505	1							
TMT	0.961	0.948	0.892	0.888	0.512								0.534		0.805	0.680		0.822	0.913	0.881	0.613	1						
WGT	0.833	0.804	0.866	0.745									0.622		0.776	0.664		0.904	0.807	0.908		0.912	1					
ELG										0.628				0.670										1				
TEXXX						0.709			0.751																1			
GPTXX	0.929	0.932	0.756	0.964	0.662								0.672		0.875	0.805		0.779	0.991	0.921		0.917	0.799			1		
T1	0.955	0.959	0.766	0.986	0.680								0.679		0.909	0.826		0.788	0.979	0.915	0.497	0.906	0.785			0.974	1	
E1										0.594				0.847										0.672				

Pour être significatives au seuil 1 %, les corrélations simples doivent être supérieures à 0.623.

ML : Mean Length HVI

UHML : Upper Half ML HVI

UI : Uniformity Index HVI

STHV : Strength HVI

EL : Allongement HVI

IM : Indice micronaire

MR : Maturity Ratio

PM : Pourcentage de fibres mûres

H : Finesse linéique

Hs : Finesse standard

Rd : Réflectance

B : Degré de jaune

Tb : Force moyenne de rupture Mantis

Dep : Allongement moyen de rupture Mantis

WPHV : Work Peak HVI

WTHV : Work total HVI

CRIMPHV : Frisure des fibre

MODHV : Module

GPT04 : Ténacité selon le système RST 04

FORCE : Force de rupture selon RSTR04 et RSTXX

BKAMT04 : 'Masse' optique des fibres rompus par RST04 et RSTXX

TMT : Surface sous fibrogramme seon RST04 et RSTXX

WGT : Masse de fibre correspondante à TMT04

ELG : Allongement des fibres selon RST04 et RSTXX

TEXXX : Tex selon RSTXX

GPTXX : Ténacité selon RSTXX

T1 : Ténacité au Stéломètre

E1 : Allongement des fibres au Stéломètre



Tableau F-3 : Corrélations simples significatives au seuil 0.5 % entre les critères de fibres et ceux des filés.

	Critère	T1	E1	IM	MR	H	Hs	Rd	+b	Tb	Dep	GPT04	GPTXX	ML	UHML	UI	Strength	Elong
Filature classique	FmaxV	0.96								0.58		0.94	0.94	0.96	0.95	0.87	0.95	0.61
	AllongV		0.68								0.62							
	TenaciteV	0.97								0.59		0.96	0.96	0.97	0.96	0.84	0.96	0.62
	CVTenV		0.5				0.55											
	FMaxL	0.95								0.61		0.94	0.94	0.96	0.95	0.88	0.95	0.63
	AllongL		0.65								0.69							
	TenL	0.96								0.62		0.96	0.96	0.96	0.96	0.86	0.97	0.64
	CVTenL					0.50	0.60											
	TravMaxL	0.83										0.84	0.84	0.86	0.85	0.80	0.87	0.68
	TitreTensoL															0.59		
	Thin						0.59		0.59									
	Thick						0.56											
	Neps																	
	CV		0.50				0.64		0.52									
	titreUT3																0.56	
	Pilosite						0.81		0.63									
Filature open-end	ForMaxV	0.9								0.54		0.91	0.90	0.89	0.87	0.81	0.91	0.65
	AllongV		0.84				0.59				0.75							
	tenV	0.88								0.50		0.88	0.87	0.89	0.87	0.84	0.88	0.61
	CvTenV																	
	TexV		0.60								0.65							
	ForceMaxL	0.94								0.59		0.94	0.94	0.90	0.90	0.75	0.94	0.61
	AllongL		0.78				0.57				0.70							
	tenL	0.95								0.56		0.93	0.93	0.92	0.92	0.79	0.94	0.59
	CvTenL																	
	TexL		0.6								0.65							
	CVm			0.55		0.75	0.51											
	Thin			0.79		0.88												
	thick			0.74	0.52	0.74												
	Neps280																	
	TrFib																	
	TrOE																	
	TrRS																	

Pour être significatives au seuil 1 %, les corrélations simples doivent être supérieures à 0.623.

Pour filature classique (RS) et open-end (OE) :

FmaxV : Force maximale avec tests à 0.3 secondes

AllongV : Allongement avec tests à 0.3 secondes

TenaciteV : Ténacité avec tests à 0.3 secondes

CVTenV : CV% des forces de rupture avec tests à 0.3 secondes

FmaxL : Force maximale avec tests à 20 secondes

AllongL : Allongement avec tests à 20 secondes

TenL : Ténacité avec tests à 20 secondes

CVTenL : CV % des forces de rupture avec tests à 20 secondes

TravMaxL : Travail avec tests à 20 secondes

TitreTensoL : Titre du fil mesuré lors des tests à 20 secondes

Thin : Finesses UT3

Thick : Grosseurs UT3

Neps (200%) : Neps UT3

CV : Régularité UT3 du fil

titreUT3 : Titre du fil UT3

Pilosite : Pilosité

Décompte des débris de coques des graines par Trashcam :

Fib : sur nappes de fibres

OE : sur plaquette de fil OE

RS : sur plaquette de fil RS.

**Tableau F-4 : Liste des principales relations explicatives de la ténacité HVI à partir des critères de fibres.**

Critères / variables proposé(e)s												Equation (avec les paramètres affichés dans l'ordre de leur entrée dans l'équation régressive)	R <sup>2</sup>	
IM	FMT				ML	HVI		UI	Tb	Dep	Couleur			
	MR	H	Hs			UHML					Rd	+b		
X	X	X	X			X					X	X	2.00 UHML – 27.47	0.90
X	X	X	X						X	X	X	X	3.95 Tb – 0.15 H + 34.05	0.79

Probabilité d'entrée d'un critère dans l'équation : 5 %, probabilité de rejet d'un critère dans l'équation : 1 %.

**Tableau F-5 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil RS 25 tex à partir des critères de fibres.**

Tableau 1.0.4. Liste des principales relations expliquées de la force de l'upaire du m. RS 25 tex à partir des entrées de fibres.																	Equation (avec les paramètres affichés dans l'ordre de leur entrée dans l'équation régressive)	R <sup>2</sup>
Critères / variables proposé(e)s																		
IM	FMT				HVI				Mantis		Couleur		Stélomètre					
	MR	H	Hs	ML	UHM L	UI	St	EL	Tb	Dep	Var Tb	Var Dep	Rd	+b	T1	E1		
X	X	X	X		X		X						X	X			29.38 UHML – 447.4	0.90
X	X	X	X				X						X	X			12.21 St – 0.69 Hs + 182.4	0.96
X	X	X	X										X	X	X		15.80 T1 – 0.55 Hs + 157.47	0.95
X	X	X	X						X	X			X	X			-2.34 Hs + 42.13 Tb – 444.06 MR + 1035.05**	0.80

Probabilité d'entrée d'un critère dans l'équation : 5 %, probabilité de rejet d'un critère dans l'équation : 1 % ;

\*\* peu recommandable car Mr intervient dans Hs et sont des paramètres non- indépendants.

**Tableau F-6 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil RS 25 tex à partir des critères de fibres (14 cotons, 3 cotons longue fibre non retenus).**

Critères / variables proposé(e)s																Equation (avec les paramètres affichés dans l'ordre de leur entrée dans l'équation régressive)		R <sup>2</sup>
IM	FMT		Hs	ML	HVI				Mantis		Couleur		Stélomètre					
	MR	H			UHM	UI	St	EL	Tb	Dep	Rd	+b	T1	E1				
					L													
X	X	X	X		X		X				X	X				14.65 St – 0.54 Hs + 80.62	0.94	
X	X	X	X				X				X	X				14.65 St – 0.54 Hs + 80.62	0.94	
X	X	X	X								X	X	X			25.06 T1 – 154.36	0.94	
X	X	X	X						X	X	X	X				1.39 Hs + 673.49	0.57	

Probabilité d'entrée d'un critère dans l'équation : 5 %, probabilité de rejet d'un critère dans l'équation : 1 %.



**Tableau F-7 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil OE 27 tex à partir des critères de fibres.**

Critères / variables proposé(e)s																	Equation (avec les paramètres affichés dans l'ordre de leur entrée dans l'équation régressive)			R <sup>2</sup>
IM	FMT		Hs	ML	HVI		St	EL	Tb	Mantis Dep	Var Tb	Var Dep	Couleur		Stélomètre					
	MR	H			UHM L	UI							Rd	+b	T1	E1				
X	X	X	X		X		X						X	X			10.64 St + 16.41	0.82		
X	X	X	X				X						X	X			10.64 St + 16.41	0.82		
X	X	X	X										X	X	X		13.37 T1 + 31.35	0.81		
X	X	X	X						X	X			X	X			-1.82 H + 37.2 Tb + 446.75			

Probabilité d'entrée d'un critère dans l'équation : 5 %.

Probabilité de rejet d'un critère dans l'équation : 1 %.

**Tableau F-8 : Liste des principales relations explicatives de la force de rupture du fil OE 27 tex à partir des critères de fibres (14 cotons, 3 cotons longue fibre non retenus).**

Critères / variables proposé(e)s															Equation (avec les paramètres affichés dans l'ordre de leur entrée dans l'équation régressive)			R <sup>2</sup>
IM	FMT		Hs	ML	HVI				Mantis		Couleur		Stélomètre					
	MR	H			UHM L	UI	St	EL	Tb	Dep	Rd	+b	T1	E1				
X	X	X	X		X		X				X	X			13.26 St – 54.80	0.71		
X	X	X	X				X				X	X			13.26 St – 54.80	0.71		
X	X	X	X								X	X	X		17.56 T1 – 53.34	0.68		
X	X	X	X						X	X	X	X			-1.02 Hs + 536.79	0.45		

Probabilité d'entrée d'un critère dans l'équation : 5 %.

Probabilité de rejet d'un critère dans l'équation : 1 %.

### F.3.2. Relations entre résultats des caractérisations des fibres et celles des filés

Les corrélations simples significatives au seuil 5 % indiquent que toutes les mesures de ténacité sur faisceaux de fibres (HVI, Stéломètre, RST 04 et RSTXX) sont nettement liées aux informations de ténacité des filés OE et RS (Tableau F-2). Notons que ces corrélations simples ont le même niveau que ceux observés dans l'expérimentation en trois titres illustrées par la Figure D-41. Il serait intéressant de mettre en place une expérimentation pour mettre en évidence les raisons de ces niveaux de corrélation si élevés en comparaison aux résultats des autres équipes de recherche.

Comme il n'y a pas de différence dans les comptages des débris de coque dans la fibre (TrFib) entre les différentes variétés testées et qu'il n'existe pas de corrélation entre les comptages sur filés (TrOE, TrRS) avec tous les critères de qualité, on peut penser que les débris de coque n'ont pas apporté de biais significatif dans l'expression de la ténacité des filés.

Le fait de mesurer la ténacité en mesurant la masse de fibres rompues dans les méthodes RST n'apporte pas d'amélioration dans la corrélation avec la ténacité des filés.

L'explication des ténacités des fils par la seule ténacité HVI explique environ 92 % des variabilités observées sur les résistances des fils RS et environ 81 % de celles des filés OE (Figure F-3).

Les corrélations entre les forces de rupture mesurées sur Mantis et les informations de dynamométrie sur les filés sont en revanche nettement moins élevées tout en restant significatives au seuil de 5% (Figure F-4).

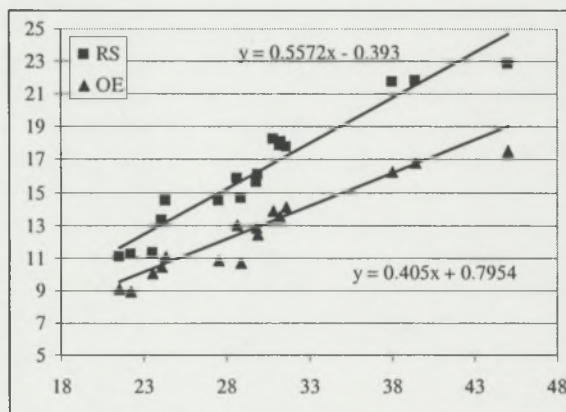


Figure F-3 : Relation entre la ténacité HVI et les ténacités des filés OE et RS.

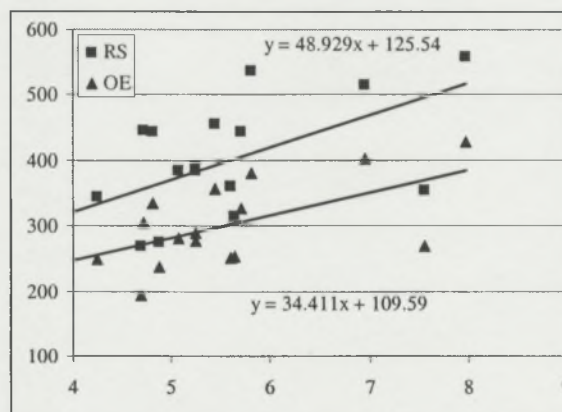


Figure F-4 : Relations entre les forces de rupture Mantis (cN) et les forces de rupture des filés OE et RS (cN).

Les relations entre qualité des fibres et la force de rupture des fils OE et RS montrent que :

- La micro-filature du Cirad n'est pas complètement adaptée pour filer des fibres longues soies comme les cotons D04, E05, et 28764 (Tableau F-5 à Tableau F-8). En effet, ces cotons 'tirent' les relations indiquées et font intervenir des critères différents selon qu'on considère 14 cotons ou 17 cotons. On peut aussi penser que ces cotons pourraient être transformés avantageusement en fil plus fins.
- La ténacité HVI seule et/ou la ténacité mesurée au Stéломètre parviennent à expliquer une grande part de la variabilité des résultats de force de rupture des filés observés.



- La force de rupture Mantis, en association avec d'autres critères, parvient à expliquer cette variabilité dès lors que la gamme de longueur des fibres est élargie aux cotons longue soie.

Une contribution particulière peut être apportée par les simulations de casses en faisceaux de fibres. Des séries de cent simulations ont été réalisées par coton en tirant 100 fibres dans les populations (décrites dans le Tableau F-9). Les mêmes sélections de fibres ont été utilisées dans des simulations avec et sans *crimp*.

**Tableau F-9 : Nombre de fibres dans les populations d'origine (17 cotons).**

Coton	Nombre de fibres dans la population
27742	1033
27992	1133
28020	1037
28463	1335
28671	1178
28764	946
B26	200
C36	205
C38	167
Dd5	110
E4	206
G17	197
Gua2	159
I26	222
Irma 1243	151
Irma Blt	152
P288	159
Stam	159

Les corrélations entre les différentes mesures de ténacité avec la force moyenne Tb au Mantis sont relativement faibles en comparaison avec celles qui existent avec les résultats de simulation, qu'elles soient réalisées avec ou sans *crimp* (Tableau F-10).

**Tableau F-10 : Corrélations entre ténacités calculées par simulations et les résultats obtenus par appareil (17 cotons).**

	Tb	Force maximale simulée		Ténacité calculée par simulation	
		sans crimp	avec crimp	sans crimp	Avec crimp
T1	0.6789	0.7575	0.7288	0.9526	0.9397
Ténacité HVI	0.6810	0.7408	0.7151	0.9452	0.9351
GPT04	0.7096	0.7642	0.7514	0.9444	0.9424
GPTXX	0.6734	0.7302	0.7128	0.9388	0.9349
RS ténacité L	0.5905	0.7029	0.6752	0.9141	0.9032
OE ténacité L	0.5629	0.6661	0.6234	0.9003	0.8802

Sans *crimp*, les simulations font intervenir les allongements des fibres individuelles, ce qui améliore nettement les relations observées avec les ténacité des fibres et du fil pour la force maximale, mais encore davantage quand la finesse H des fibres est utilisée pour calculer la ténacité résultante des simulations. Avec *crimp*, les simulations font intervenir une frisure des fibres en plus des allongements des fibres individuelles. Dans ce cas, il n'y a pas de dégradation sensible des corrélations observées. On peut ainsi constater que la mesure de ténacité sur fibres est très légèrement dépendante de l'allongement des fibres et est dépendante de la finesse.

Par ailleurs, la qualité de préparation des fibres pour les tests de dynamométrie a eu peu d'impact sur les résultats de cette expérimentation, probablement parce que le HVI utilisé est 'bien' réglé. On peut le montrer en montrant l'évolution des coefficients de corrélation entre les résultats de simulations (force maximale en Figure F-5 et ténacité en Figure F-6) et les différents résultats de mesure de la ténacité sur fibre et sur fil. Si la préparation des fibres est mal réalisée (mauvais brossage, mauvaise aspiration ...), alors la frisure des fibres est mal contrôlée. Les simulations prennent ce facteur en compte en modifiant la valeur moyenne et la variance du *crimp* introduit dans les calculs. Dans ces figures, nous avons comparé les simulations réalisées sans *crimp*, avec un *crimp* moyen de 0.4 et une variance de 0.01, et une

moyenne de 0.5 et une variance de 0.04. Les forces maximales simulées sont affectées au même titre que les ténacités correspondantes, et les valeurs des coefficients de corrélations avec les ténacités mesurées diminuent. Cet outil de simulation pourrait donc servir à établir les meilleures conditions de réglage des HVI par exemple de manière à optimiser la corrélation observée entre les forces maximales simulées et les valeurs de ténacité HVI. Notons qu'une mesure fiable de la finesse est nécessaire pour calculer la ténacité.

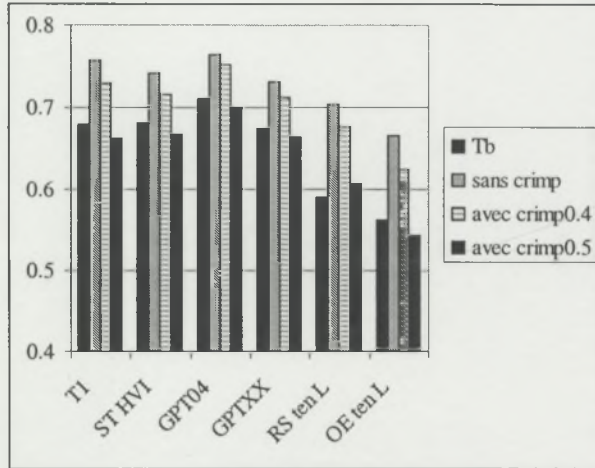


Figure F-5 : Evolution des coefficients de corrélation entre les forces maximales déduites des simulations et les ténacités mesurées sur fibre et sur fil en fonction des paramètres choisis pour définir le *crimp*.

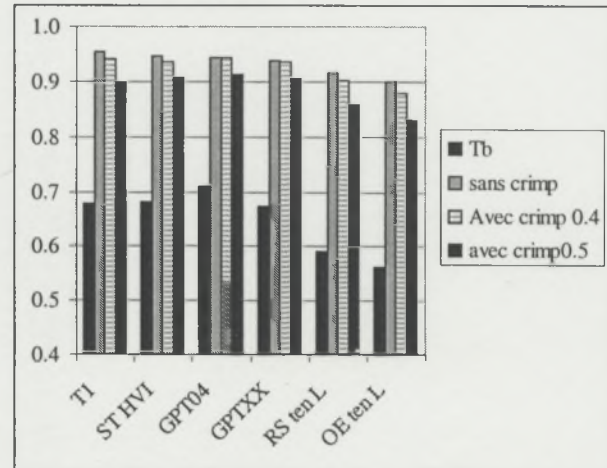


Figure F-6 : Evolution des coefficients de corrélation entre les ténacités calculées à partir des simulations et les ténacités mesurées sur fibre et sur fil en fonction des paramètres choisis pour définir le *crimp*.

#### F.4. Conclusion

Par cette expérimentation utilisant des cotons de toutes provenances, il n'a pas été possible de montrer certains effets avérés des critères étudiés dans le chapitre E sur les mesures de ténacité par système HVI.

Ainsi, l'effet de la longueur, de la couleur, de la finesse semble confirmé avec la réserve mentionnée en introduction selon laquelle l'effet constaté peut être lié à d'autres sources complémentaires d'altération des résultats.

Les relations avec la ténacité des fils obtenus par procédé *open-end* et classique à anneau et curseur sont conformes à celles déjà observées par ailleurs. En complément, nous avons pu voir que mesurer les masses réelles de fibres rompues par les pesées n'apporte pas d'amélioration dans la corrélation entre ténacité des fibres et celles des filés.

La réalisation de simulations à partir des données Mantis pourrait permettre de diagnostiquer la qualité de la préparation des échantillons pour les test de dynamométrie par l'optimisation de la corrélation qui existe entre la force de rupture maximale ou de ténacité simulée et les valeurs effectivement mesurées sur les échantillons par HVI par exemple. Il faut cependant obtenir une mesure fiable de la finesse pour calculer la ténacité.

Les études mentionnées ici ne parviennent pas à définir les raisons qui font que les corrélations observées sont si élevées entre les ténacités HVI et les forces de rupture des filés en comparaison à ce qui cité dans la littérature.



## *CHAPITRE G*

### *CONCLUSIONS – PERSPECTIVES*

## Chapitre G : Conclusions – Perspectives

Les résultats de mesure des propriétés technologiques des fibres de coton sont utilisés dans le monde entier pour décider de leur valeur marchande et définir leurs utilisations possibles dans la filière textile.

Des usages, des agréments nationaux et internationaux et des normes régissent les modes de caractérisation des différentes propriétés ainsi que l'utilisation des différents appareils de mesure qui sont apparus au fil des développements technologiques. Afin de gérer au mieux les livraisons ou les approvisionnements de fibres, on mobilise des appareils permettant la caractérisation des critères de fibres les plus importants comme le micronaire, les informations relatives aux longueurs des fibres, la colorimétrie, l'estimation du taux de charge en matière étrangère et leur ténacité. Ces critères peuvent être mesurés sur des équipements indépendants ou regroupés au sein d'appareils automatisés appelé HVI (*High Volume Instrument*).

Dans le cas des appareils HVI, les agréments prévoient l'utilisation de cotons de référence pour l'étalonnage des appareils (HVICC) afin de rendre tous les résultats de mesures comparables dans le monde. Ces cotons de référence sont issus de balles homogènes de fibres pour lesquels des valeurs caractéristiques sont assignées à la suite d'une campagne de tests sur des appareils HVI 'maîtres' répartis dans différents laboratoires dans le monde. L'expérience montre que les valeurs de référence – en particulier celles de la ténacité des fibres – semblent dériver au fil du temps, ce qui peut occasionner des problèmes lors de la mesure des caractéristiques des fibres mises sur le marché et l'assignation de primes et de décotes financières en fonction de leur qualité.

La ténacité, exprimée en cN/tex, représente, à la masse volumique du matériau près, une contrainte de traction par le quotient d'une force de rupture (en cN) sur une masse linéique des fibres (en tex, la masse en gramme de 1000 mètres de fibres). Ce rapport s'apparente à une contrainte (Pa) en supposant que la densité des fibres est comparable en tout point de la fibre.

Pratiquement, le spécimen analysé sur les HVI est issu d'un prélèvement d'une quantité de fibres grâce à un peigne dans la masse de l'échantillon pour constituer un faisceau en forme de pointe (*tapered bundle*). Après un brossage chargé d'éliminer les fibres non maintenues et de paralléliser les fibres maintenues, le peigne est transporté vers un capteur optique. Celui-ci a la charge de déterminer la quantité de fibres (traduite en voltage ou *amount*) présente à diverses positions de ce faisceau afin de déterminer la distribution des longueurs de fibres. A partir de cette information, le système sélectionne une quantité de fibres sur laquelle il convient de pratiquer un test de dynamométrie. La force de rupture enregistrée est divisée par une estimation de la masse linéique des fibres en présence pour déterminer la ténacité.

Au vu de la dérive probable des résultats de mesure constatés, la communauté scientifique s'est attachée à mettre au point des mesures plus fiables de la ténacité qui seraient moins sujettes à des modifications de résultats au fil du temps.

La dernière proposition de méthode de référence a consisté à utiliser le module principal du HVI – le module de mesure de la distribution des longueurs de fibre et de dynamométrie intégré – et de le compléter par des dispositifs de mesure de la masse réelle des fibres rompues afin de déterminer une ténacité basée sur des grandeurs physiques vérifiables (masse, signal en volts, force ...). Cette méthode est appelée *Reference Strength Tester* (RST).



Aussi je me suis attaché à vérifier la justesse des mesures produites par les appareils HVI, et en particulier de celles enregistrées par le dispositif de mesure de la longueur des fibres et par le dynamomètre intégré.

La stratégie que j'ai mise en place a consisté à utiliser des appareils de mesure indépendants pour compléter la caractérisation de fibres de coton par HVI. L'originalité du dispositif a consisté à modifier les propriétés intrinsèques des fibres ou leur(s) distribution(s) (par voie chimique, mécanique ou par sélection de cotons spécifiques) afin de définir la sensibilité des appareils de mesure à de telles modifications. Nous avons relevé un nombre important de biais d'échantillonnage malgré toutes les précautions prises dans la réalisation des expérimentations. Les biais relevés sont inhérents aux méthodes de mesure utilisées et ne peuvent en conséquence pas être évités. Ils ont été explicités et pris en compte dans les analyses et les conclusions qui en découlent.

L'effet des principales propriétés des fibres (couleur, caractéristiques de surface, maturité, finesse et distribution des longueurs de fibres) sur les mesures de ténacité a été étudié. En complément, l'effet des conditions atmosphériques et de la quantité de fibres dans les échantillons a été investigué.

- Le premier résultat concerne la relation entre les mesures de voltages et les masses réelles de fibres relevées : cette relation est curvilinéaire et non pas linéaire comme cela était admis jusqu'alors. Une équation du second degré parvient à modéliser correctement les données expérimentales. Au vu de nos observations, une équation du second degré par coton est nécessaire. Comme une même quantité de fibres ajoutée ne produit pas la même réponse du capteur, le taux de fibres courtes ne pourra être évalué qu'en prenant ces relations en compte.
- Les relations entre le signal de mesure optique (voltage) et la masse des fibres dans les faisceaux peuvent être rangées par micronaire croissant. Cela justifie l'utilisation de cet indice dans la correction généralement utilisée par les HVI pour l'estimation de la masse des fibres rompues. Cependant, nous ne pouvons pas déduire de cette expérimentation laquelle de la finesse et de la maturité – les deux composantes du micronaire – a le plus d'influence.
- La modification des caractéristiques de surface des fibres par retrait des cires et par gonflement à la soude a tout d'abord montré que le capteur optique est sensible à la forme des fibres. En effet, alors que la masse linéique reste inchangée par le retrait des cires et/ou le gonflement à la soude, la réponse du capteur optique est affectée.
- L'analyse de capsules de maturités variées de trois variétés ayant des finesses différentes a mis en évidence une certaine prépondérance de la finesse sur la maturité dans le classement des relations entre les mesures du capteur optique et les masses relevées bien que les deux paramètres affectent les résultats de ténacité.
- Quand les cires sont retirées, un changement de la couleur des fibres est observé ainsi qu'un changement dans les coefficients des équations polynomiales expliquant les relations entre les lectures optiques et les masses relevées. Une expérimentation particulière a montré la sensibilité du capteur optique à la couleur (dans une gamme de couleurs présentes dans un graphe des couleurs de l'USDA) qui peut induire des écarts importants de ténacité.
- Quand les distributions des longueurs de fibres sont affectées par une coupe des fibres, les ténacités sont affectées principalement par un biais dans l'estimation des masses de fibres



rompues par le capteur optique. L'expérimentation conduite à trois reprises avec des répétitions confirme l'effet de la longueur des fibres sur les résultats de ténacité.

- L'effet des conditions atmosphériques est difficile à étudier tant il interagit à tous les niveaux des expérimentations. Cependant, les résultats de dynamométrie obtenus sur des fibres individuelles confirment un effet important sur l'allongement des fibres. L'architecture du HVI utilisé dans ce travail favorise un assèchement des conditions atmosphériques dans la périphérie des fibres en cours de caractérisation. Des erreurs d'estimation de la ténacité peuvent alors être constatées.

Lors de ces expérimentations, les effets des propriétés étudiées peuvent modifier les résultats de ténacité mesurée d'un ordre de grandeur allant jusqu'à 25 % dans les conditions extrêmes.

Les résultats de mesure de ténacité d'autres appareils indépendants de mesure (Stélomètre, Mantis) sont également affectés à cause de conditions de tests ou de paramètres mesurés spécifiques aux méthodes utilisées.

Malgré les progrès réalisés dans la prise en compte de la masse réelle des fibres rompues par la méthode RST, des biais de mesure importants sont démontrés.

Dans le cadre de la recherche d'une méthode de référence pour établir les niveaux de lecture de ténacité, il ne me semble pas possible d'utiliser un HVI ou une de ses composantes pour établir des cotons de référence si les biais constatés ne sont pas corrigés ou pris en compte et contrôlés.

J'ai vérifié que l'importance de ces biais constatés n'altèrent pas de manière irrévocable les déterminations faites quotidiennement dans la filière cotonnière ; des cotons indépendants ont été caractérisés avec les mêmes méthodes et ont été filés grâce aux deux principes de filature à anneaux et curseur et à bouts libérés. Seuls les effets de certaines des propriétés des fibres sont perceptibles dans ces conditions. Par ailleurs, les explications de la variabilité des résultats de mesure de résistance de rupture des filés par ceux des différentes méthodes sur fibres restent comparables. Cela semble indiquer que les HVI, dans leur conception actuelle, satisfont les objectifs liés à la gestion des lots de fibres mis en fabrication.

Les paramètres de ténacité et de longueur sont très liés avec les méthodes utilisées dans les programmes d'amélioration variétale. Pour améliorer les variétés pour ces deux critères, il suffirait donc de sélectionner sur la base de l'un des deux paramètres. Cependant, nous avons pu voir que cette liaison très forte cache une certaine diversité de qualités de fibre, en particulier pour ce qui concerne la résistance de rupture des fibres individuelles pour chaque longueur donnée. Cette variabilité, source de progrès génétique, offre une potentialité pour les sélectionneurs de variétés de cotonnier.

Suite à ces conclusions, nous pouvons relever plusieurs pistes de recherche qui permettraient d'approcher une mesure objective et non biaisée de la ténacité des fibres de coton et éclaircir certaines observations pas encore expliquées.

Le premier point serait de comprendre pourquoi une des trois variétés utilisées dans l'expérimentation sur l'effet de la maturité et de la finesse ne montre pas de différence de force moyenne de rupture quand la maturité des fibres évolue. Pour cela, il est nécessaire de :

- Caractériser la structure microscopique des différentes parois de fibre ;
- Mesurer l'aire de la section des fibres rompues afin d'obtenir une image plus fine de la contrainte appliquée ;



- Améliorer la connaissance de la structure macroscopique des fibres, en particulier celle de la mesure de tous les paramètres démontrés comme interagissant dans la mesure de la ténacité par HVI. Ainsi, l'idéal serait de déterminer la couleur, la longueur, le taux de frisure, le périmètre externe et interne de la fibre, les convolutions, etc, simultanément et de manière indépendante au test de dynamométrie ;
- Améliorer la définition des lois statistiques qui régissent les distributions des forces de rupture et d'allongement des fibres testées sur Mantis ;
- Améliorer le logiciel de simulation des casses sur faisceaux de fibres (actuellement au stade de premier prototype) afin de prendre en compte un nombre plus important de critères de modélisation. Ainsi les résultats des simulations et leur comparaison pourraient expliquer davantage de cas de l'utilisation quotidienne des HVI, comme, par exemple, quand des fibres de différentes caractéristiques sont mélangées ensemble (IM, MR, H, longueur, ténacités, allongement, etc) ;
- Toute cette recherche devra prendre en compte l'effet de la vitesse d'application des contraintes de traction ainsi que l'effet des conditions atmosphériques sur les résultats.

En fait, toutes ces caractérisations devraient utiliser des principes de mesure qui rendent indépendantes les mesures réalisées pour éviter les interactions entre mesures. Par ailleurs, les autres propriétés des fibres ne devraient pas avoir d'effet sur les caractérisations. Cela devrait conduire à la création de cotons de référence pour la ténacité avec des interactions limitées des autres propriétés des fibres. Un travail exploratoire avec peu de moyens a déjà été conduit pour mesurer les critères dans l'optique définie ci-dessus. Quelques résultats concluants ont été obtenus à ce stade (Robert, 1999).

En outre, ces recherches devraient permettre d'améliorer le logiciel RST pour mieux prendre en compte les observations faites (en particulier le mode d'estimation de la masse des fibres rompues) et comprendre encore mieux la signification des tests HVI.

Rappelons néanmoins que les HVI, dans leur conception actuelle, semblent apporter des informations cohérentes dans l'utilisation quotidienne des résultats produits car les interactions observées semblent se compenser dans la majorité des cas, si on en croit les résultats de l'expérimentation sur les quelques cotons testés en filature.

Cependant, il devient important de limiter les risques d'interaction et d'erreur en limitant l'utilisation de variables dépendantes dans l'estimation par régression polynomiale de nouveaux critères technologiques comme la maturité ou le taux de fibres courtes sur les modèles récents de HVI. La même limitation devrait être de mise dans l'explication des caractéristiques des filés à partir des résultats de caractérisation des fibres.

Cette remarque est particulièrement vraie pour les programmes d'amélioration variétale où une dizaine d'années est nécessaire avant la culture d'une nouvelle variété. En conséquence, les sélectionneurs doivent donc prévoir les besoins en termes de qualité de fibre, mais également en ce qui concerne les méthodes de caractérisation de la qualité des fibres qui seront utilisées au moment où la variété sera divulguée.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***



## Chapitre H : Références bibliographiques

- Abidi, N., Kaewprasit, C. and Gourlot, J.-P. (1999), "Effect of absorbed water on the specific surface area of some cotton standards", Cotton Beltwide Conferences, 3 au 10 janvier 1999, Orlando (FL), pp. 710-712.
- Adams, D. L. (1994), "Why we need a standard method for strength testing, and what it will take to get one ?", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1437-1441.
- AFNOR (1975)a, "Méthode de détermination de la force de rupture et de l'allongement de rupture des fibres chimiques", Recueil de normes des textiles, terminologie et méthodes d'essais, France:pp. 255-260.
- AFNOR (1975)b, "Méthode de détermination de la ténacité de rupture des faisceaux plats de fibres de coton", Recueil de normes des textiles, terminologie et méthodes d'essais, France:pp. 336-342.
- AFNOR (1980)a, "Atmosphère normale de référence et atmosphère normale de conditionnement et d'essais des textiles", Recueil de normes des textiles, terminologie et méthodes d'essais, France:pp. 5-6.
- AFNOR (1980)b, "Textiles fibres et fils. Recueil de normes françaises."
- Aggarwal, S. K. (1989)a, "A model to estimate the breaking elongation of high twist ring spun cotton yarns. Part I : Derivation of the model for yarns from single cotton varieties", Textile Research Journal 59(11): 691-695.
- Aggarwal, S. K. (1989)b, "A model to estimate the breaking elongation of high twist ring spun cotton yarns. Part II : Applicability to yarns from mixtures of cottons", Textile Research Journal 59(12): 717-720.
- Anonyme (1965), "The classification of cotton", Washington (USA), United State Department of Agriculture publication n°310, pp. .54.
- Anonyme (1986), "Instruction for the use of the International Calibration Cotton Standards", United States Department of Agriculture:pp. 6.
- Anonyme (1993), "The classification of cotton", Révision 04/1993, Washington (USA), USDA:pp. 26.
- Anonyme (1998), "ICCS Program, Organization and Operating Procedures", International Calibration Cotton Standards Committee, Memphis, TN., United States Department of Agriculture, Standardization and Quality Assurance, Agricultural Marketing Services, Cotton Program, pp.17.
- Anonyme (2001), "Cotton classification : Understanding the data, explanation of High Volume Instrument (HVI) measurements", United States Department of Agriculture, pp. 25..
- Anthony, W. S., Baker, R. V. and Hughs, S. E. (1986), "Ginning for maximum grade without excessive short fibers, neps, and trash", Beltwide Cotton Conferences, January 4-9, 1986, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America, pp. 413-416.
- ASTM (1982), "Standard test method for maturity index and linear density of cotton fibers by the caustiquaire method", American Society for Testing and Materials:pp. 535-540.
- ASTM (1986), "Standard practice for standardizing cotton fiber test results by use of Calibration Cotton Standards", American Society for Testing and Materials, USA, 7.01:pp. 805-807.
- ASTM (1987), "Standard test method for color of raw cotton using the Nickerson-Hunter cotton colorimeter", American Society for Testing and Materials, USA, 7.02:pp. 535-541.
- ASTM (1990), "Standard practice for conditioning textiles for testing", American Society for Testing and Materials, USA, 7.01:pp. 486-488.
- ASTM (1996)a, "Standard test method for breaking strength and elongation of cotton fibers (flat bundle method)", American Society for Testing and Materials, USA, 7.01:pp. 406-412.
- ASTM (1996)b, "Standard test method for extractable matter in textiles", American Society for Testing and Materials, 7.01:pp. 610-613.

- ASTM (1996)c, "Standard test method for measurement of physical properties of cotton fibers by High Volume Instruments", American Society for Testing and Materials, USA, 7.02:pp. 886-893.
- Aubry, E. and Renner, M. (1996), "Le point sur la filature à rotor", *L'industrie textile* 1280: 28-34.
- Bachelier, B. (1992), "Etude des seed coat fragments : présentation des travaux réalisés au Cameroun et au Tchad", Journées de technologie et génétique du CIRAD CA, Montpellier (FRA).
- Backe, E. E. (1993), "Module/trailer averaging of HVI properties, a spinners point of view", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 571-572.
- Baldwin, J. C., Qaud, M. and Schleth, A. C. (1995), "AFIS seed coat nep measurement", Beltwide Cotton Conferences, January 4-7, 1995, San Anotnio, Texas, National Cotton Council of America, pp. 1-15.
- Bargeron, J. D. (1996), "HVI measurements : length and short fiber", Engineered Fiber Selection System, 7-8 novembre 1996, Raleigh (NC), USA, pp. 107-113.
- Bargeron, J. D. and Garner, T. H. (1988), "The role of seed-coat fragment and mote-fragment neps in yarn and fabric imperfections : a survey", Beltwide Cotton Conferences, January 3-8, 1988, New Orleans, Louisiana, National Cotton Council of America, pp. 586-591.
- Bargeron, J. D. and Sasser, P. E. (1993), "Cotton short fiber from fibrogram and regression analysis", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1142-1145.
- Beasley, C. A. (1975), "Developmental morphology of cotton flowers and seed as seen with the scanning electron microscope", *American Journal of Botany* 62(6): 584-592.
- Billmeyer, F. W. J. and Saltzman, M. (1981), "Principles of color technology", New York, Wiley Inter-Science Publication.
- Boulanger, J. and Gutknecht, J. (1955), "Influences variétales et climatiques sur le rythme de floraison du cotonnier (*G. hirsutum*)", *Coton et Fibres Tropicales* 10(1): 26-34.
- Bourély, J. (1987), "Le cotonnier sans gossypol, une source de protéines alimentaires. Situation actuelle et perspectives d'avenir, après le colloque d'Abidjan", *Coton et Fibres Tropicales* 42(1): 55-63.
- Boyd, J. (1993), "USDA report on module averaging -1992-", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1085-1086.
- Boylston, E. K., Thibodeaux, D. P. and Evans, J. P. (1993), "Image analysis and AFIS F&M evaluation of HVI calibration cottons", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1171-1173.
- Bragg, C. K. and Gourlot, J. P. (1997), "Feasability studies for an international agreement about cotton fiber strength measurement: Universal Strength Tester", *Fiber Society*, Mulhouse:pp. 1-4.
- Bragg, C. K. and Wessinger, J. D. (1993)a, "Cotton fiber diameter distribution as measured by AFIS", Beltwide Cotton Conferences, pp. 1125 - 1128.
- Bragg, C. K. and Wessinger, J. D. (1993)b, "Cotton fiber diameter distribution as measured by AFIS", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1125-1128.
- Bragg, C. K., Wessinger, J. D., Godbey, L. C., Gourlot, J.-P. and Drieling, A. (1998), "A reference test for HVI strength measurements - Implications for HVI testing", Beltwide Cotton Conference, 5-9/01/98, San Diego, pp. 1599 - 1608.
- Braud, M. and Richez, F. (1963), "L'importance de la date de semis pour la culture cotonnière de l'Ouest et du Nord de la Centrefrique", *Coton et fibres Tropicales* 18(3): 265-272.
- Britt, D. W. and Paxton, K. W. (1995), "Module averaging versus individual bale classification : some evidence from Louisiana", Beltwide Cotton Conferences, January 4-7, 1995, San Anotnio, Texas, National Cotton Council of America, pp.
- Brown, M., Hugh (1950), "Correlation of yarn strength with fiber strength measured at different gauge length", *National Agricultural Library*: 25-31.



- Brown, M., Hugh (1958), "A pneumatic method of measuring cotton fiber staple length", *Textile Research Journal* 06: 516-520.
- Brown, R. S. (1987), "Rapidly conditioning laboratory samples of cotton", *Textile Research Journal* 57(12): 731-735.
- Brown, R. S., Taylor, R. A. and Godbey, L. C. (1990), "Strength of cotton fiber bundles at different extension rates", *Textile Research Journal* 06: 581-585.
- Buffet, M. (1979), "La graine du cotonnier, sources importante de matières grasses et de protéines utilisables dans l'alimentation de l'homme et des animaux", *Coton et Fibres Tropicales* 34(2): 191-204.
- Calamari, T., A., Jr., Cui, X. and Robert, K. Q. (1998), "A critical look at cotton fiber length measurement by AFIS", *Beltwide Cotton Conference*, pp. 822-823.
- Calhoun, D. S., Barger, J. D. and Anthony, W. S. (1997), "An introduction to AFIS for cotton breeders", *Beltwide Cotton Conferences*, January 6-10, New Orleans, La (USA), National Cotton Council, Memphis, Tn (USA), pp. 418-424.
- Cauquil, J. and Vaissayre, M. (1971), "La "maladie bleue" du cotonnier en Afrique : transmission de cotonnier à cotonnier par *Aphis gossypii* Glover", *Coton et Fibres Tropicales* 26(4): 463-466.
- Chanselme, J.-L., Gourlot, J.-P. and Tamime, O. (1996), "Improvement of HVI measurement precision. Part 2: Use of HVI for breeding programs, MCI sampling device improvement", *Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, pp. 1323-1329.
- Chanselme, J.-L., Gozé, E. and Hequet, E. (1997), "Poster 'Characterization of individual cotton fibers : precision of AFIS L and F&M measurement'", *Cirad, France*.
- Chu, Y. T. and Shofner, F. M. (1992), "Progress report on fineness and maturity distributions by AFIS", *Beltwide Cotton Conferences*, pp. 1017-1019.
- Cowden, G. and Knowlton, J. (1993), "Recommendation for improving relative humidity and temperature monitoring in classing offices", *Cotton Division Engineers*:pp. 18.
- Cowden, G. K., Knowlton, J. L., Alldredge, R. K. and Grantham, S. L. (1994), "Automated monitoring of temperature and relative humidity in classing offices", *Beltwide Cotton Conferences*, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 575-578.
- Crompton, R. J. (1989), "Integration of the IIC-Shirley FMT3 with HVI and its effects on strength calculations", *Beltwide Cotton Conferences*, January 2-7, 1989, Nashville, Tennessee, National Cotton Council of America, pp. 577-579.
- Dagnélie, P. (1975), "Théorie et méthodes statistiques". Les presses agronomiques de Gembloux, pp. 450. .
- Deguine, J.-P. (1995), "Etude bioécologique et épidémiologique du puceron *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptéra, Aphididae) sur cotonnier en Afrique Centrale. Vers une évolution de la protection phytosanitaire", *Sciences agronomiques*, Montpellier (FR), Ecole Nationale Supérieure Agronomique:pp. 138.
- Delattre, R. (1973), "Parasites et maladies en culture cotonnière", Montpellier.
- Desplans, J. (1996), "Etude histologique des Seed Coat Fragments et de la chalaze des graines de dix variétés de coton (*Gossypium hirsutum* L.)", *Cirad - Biotrop*, Montpellier (FRA):pp. 34.
- Dever, J. K. and Gannaway, J. R. (1987), "Breeding for fiber quality on the Texas high plains", *Beltwide Cotton Conferences*, January 4-8, 1987, Dallas, Texas, National Cotton Council of America, pp. 111-112.
- Drieling, A., Bragg, C. K. and Gourlot, J.-P. (1998), "The effect of color on the optical mass measurement of cotton beards", *Beltwide Cotton Conference*, 5-9/01/98, San Diego (CA), pp. 1609.
- Duckett, K. E., Cain, J., Krowicki, R. S. and Thibodeaux, D. P. (1990), "A comparison of computer instrumented cotton fineness/immaturity measurements with those from the Arealometer", *Beltwide Cotton Conferences*, January 9-14, 1990, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America, pp. 617-621.
- Duckett, K. E., Krowicki, R. S. and Thibodeaux, D. P. (1991), "Some Optical Response Characteristics of the Spinlab HVI System to Cotton Fiber Fineness", *Beltwide Cotton Conferences*, January 8-13, 1991, San Antonio, Texas, National Cotton Council of America, pp. 4.

- Duckett, K. E., Zhou, Z., Krowicki, R. S. and Sasser, P. E. (1993), "Comparison of micronaire and sutter-webb array fineness as correction factors in HVI optical mass measurement", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1071-1073.
- Farr, W. K. (1931), "Cotton fibers. I. Origin and early stages of elongation", Contributions from Boyce Thompson Institute 3: 441-458.
- Fritz, A. and Vallerie, M. (1971), "Contriburion à l'étude des déficiences minérales des sols sous culture cotonnière au Nord-Cameroun", Coton et fibres Tropicales 26(3): 273-301.
- Frydrych, I. (1995), "Relation of single fiber and bundle strengths of cotton", Textile Research Journal 65(9): 513-521.
- Frydrych, I. (1997)a, "The coefficient of cotton fibre strength efficiency. Part I : Theoretical assumption of the universal Gamma distribution of fibre breaking strain", Fibres & Textiles April/June: 31-33.
- Frydrych, I. (1997)b, "The coefficient of cotton fibre strength efficiency. Part II : Determination of the mean value of a single fibre breaking force on the basis of maximal bundle load", Fibres & Textiles July/September: 32-34.
- Frydrych, R. (1996), "Contribution à l'étude du collage du coton au moyen de méthodes méccaniques et thermomécaniques", Laboratoire de Physique et Mécaniques Textiles de l'ENSITM, Mulhouse, Haute Alsace:pp. 199.
- Frydrych, R. and Gourlot, J.-P. (1993), "Evaluation de la résistance du fil à partir des caractéristiques de la fibre obtenues sur HVI", Coton et Fibres Tropicales 48 (3): 201-206.
- Frydrych, R. and Gutknecht, J. (1989), "Identification et comptage des diverses imperfections rencontrées sur le fil de coton", COTON ET FIBRES TROPICALES XLIV(1): 59-65.
- Frydrych, R. and Hequet, E. (1994), "A Zellweger-Uster research contract on neps counting : rotor spinning on 30 cottons", Montpellier, Cirad TCOT:pp. 200.
- Frydrych, R., Hequet, E. and Dréan, J. Y. (1998), Poster "A methodology for short staple fibre microspinning : evaluation of the method on 30 cotton varieties.", Cirad, France.
- Frydrych, R., Hequet, E. and Gourlot, J.-P. (1995), "A Zellweger-Uster research contract on neps counting : ring-spinning on 30 cottons", Montpellier, Cirad TCOT:pp. 200.
- Gannaway, J. R. (1982), "Breeding for high strength cotton", Textile Research Journal 01: 31-35.
- Gannaway, J. R. (1991), "Varietal selection", Beltwide Cotton Conferences, January 8-13, 1991, San Antonio, Texas, National Cotton Council of America, pp. 48-49.
- Gautier, J. (1947)a, "Essais d'extraction d'huile de coton au Tchad", Coton et fibres Tropicales 2(3): 90-96.
- Gautier, J. (1947)b, "Les sous produits du coton : les linters", Coton et fibres Tropicales 2(1): 34-35.
- Gautier, J. (1949), "L'utilisation comme combustible de la graine de coton au Tchad", Coton et fibres Tropicales 4(2): 53-56.
- Gawrysiak, G., Bachelier, B., Gourlot, J.-P., Orssaud, V. and S., D. (2002), "Effect of different cotton sample preparation methods on the measurement of fiber characteristics by two generations of HVI", Beltwide Cotton Conferences, 7-12 janvier 2002, Atlanta (GA), pp.
- Gawrysiak, G., Brunissen, C., Duplan, S., Vialle, M. and Gourlot, J.-P. (1999), "Le check test des caractéristiques technologiques de la fibre de coton du CIRAD-CA", Actes des Journées Coton du Cirad, 19 au 23 juillet 1999, Montpellier, pp. 152.
- Giner, M., Gourlot, J.-P., B., B., E., A., M., H. and G., D. (1998), "Latest Developments and results in automatic SCF counting. Part I: development of algorithms and preliminary results", Beltwide Conference, 6-10/01/97, New Orleans, USA, National Cotton Council, pp. 1522-1525.
- Godbey, L. C., Taylor, R. A. and Brown, R. S. (1990), "Development of a computerized cotton strength/elongation measurement to evaluate bundle extension speed", Beltwide Cotton Conferences, January 9-14, 1990, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America, pp. 574-581.
- Godbey, L. C., Taylor, R. A. and Brown, R. S. (1991), "Development of a computerized method to measure cotton tenacity at different extension rates", Textile Research Journal 68(8): 452-460.



- Godbey, L. C., Taylor, R. A. and Brown, R. S. (1991), "Development of a computerized method to measure cotton tenacity at different extension rates", *Textile Research Journal* 61(8): 452-460.
- Gorashi, H. M., Baldwin, J. C. and Khan, M. A. (1994), "AFIS advancement in neps and length measurements", *Beltwide Cotton Conferences*, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1433-1435.
- Gorashi, M., Hossein (2000), "Developments in cotton fibre quality measurement", 25th International Cotton Conference Bremen, March 1-4, 2000, Bremen, pp. 237-244.
- Gourlot, J. P. (1991), "Caractérisation des fibres de coton", *Journ.e des filateurs*, Montpellier (FRA).
- Gourlot, J.-P. (1993), "Expérimentation sur la dérive des standard ICCS (confidentiel)", IRCT.
- Gourlot, J.-P. (1994), "Check test Cirad-ca". Rapport interne Cirad, France.
- Gourlot, J.-P. and Hequet, E. (1994), "Recherche cotonnière : comment utiliser les chaînes HVI (High Volume Instrument) en amélioration variétale ?", *Agriculture et Développement* (2): 39-43.
- Gourlot, J.-P., Vialle, M., Lassus, S., Duplan, S., Brunissen, C. and Fallet, V. (1996), "Improvement of HVI measurement precision. Part 1 : Use of HVI for breeding programs: MCI sampling device effect", *Beltwide Cotton Conferences*, National Cotton Council, pp. 1317-1322.
- Gourlot, J.-P. (1997)a, "Expérimentation sur la dérive des standard HVICC (confidentiel)", Cirad-ca.
- Gourlot, J.-P. (1997)b, "Réalisation des analyses pour établir les valeurs des cotons du check test organisé par le Laboratoire de Technologie Cotonnière". Rapport interne Cirad, France
- Gourlot, J.-P., Giner, M., Hequet, E., Ahronowitz, E., Hugon, M. and Damiand, G. (1997)c, "Latest Developments and results in automatic SCF counting. Part II: Improved image acquisition and results obtained", *Beltwide Conference*, 6-10/01/97, New Orleans, USA, National Cotton Council, pp. 1522-1524.
- Gourlot, J.-P. (1998)a, "Bilan de l'enquête auprès des filateurs ITMF", *Journées Coton du Cirad CA*, 20-24 juillet 1998, Montpellier, pp. 36-44.
- Gourlot, J.-P., Drieling, A. and Bragg, C. K. (1998)b, "The effect of fiber surface irregularities on the optical mass measurement of cotton beards", *Beltwide Cotton Conference*, 5-9/01/98, San Diego (CA), pp. 1598.
- Gourlot, J.-P., Giner, M. and Bragg, C. K. (1998)c, "Cotton fiber bundle strength measurement : simulations of force / elongation curves using Mantis single fiber strength data".
- Gourlot, J.-P. (1999)a, "Les tendances dans la standardisation du coton sur le marché mondial.", *Journées de Septembre 1999 au Cirad*, pp. 113-116.
- Gourlot, J.-P. (1999)b, Recherche et développement en technologie : mesurer et améliorer la qualité des produits du cotonnier, créer de nouveaux débouchés. A. e. développement. Montpellier, Cirad. 22, Juin 1999: 90-113.
- Gourlot, J.-P. e. A. (2000), "Effet de la variabilité des critères de qualité des fibres de coton sur leur aptitude à la filature et la qualité des fils produits", *Actes des Journées Coton du Cirad*, 17 au 21 juillet 2000, Montpellier, pp. 305-319.
- Gourlot, J.-P. and Frydrych, R. (2001)a, "Improvement of the Marketability of Cotton Produced in Zones Affected by Stickiness. CFC Rapport Technique No 17, version française.", *Common Fund for Commodities*.
- Gourlot, J.-P. and Frydrych, R. (2001)b, "Improvement of the Marketability of Cotton Produced in Zones Affected by Stickiness. Technical report on research activities", *Common Fund for Commodities*.
- Gourlot, J.-P., Lassus, S., Gawrysiak, G., Vialle, M., Francalanci, P. and Brunissen, C. (2002), "Are fiber strength measurements affected by cotton fiber length distribution ?", *Beltwide Cotton Conferences*, Atlanta (GA), to be published.
- Guérinot, S. (2000), "Contribution à l'exploration de la qualité des mesures de résistance à la rupture des fibres de coton", Montpellier, Université Montpellier II Sciences et techniques du Langudoc, IUP, Génie mathématique et informatique:pp. 41.
- Gutknecht, J. (1960), "L'égrenage du coton aux Etats Unis", *Coton et fibres Tropicales* 15(1): 81-130.

- Gutknecht, J. (1977), "Etude préliminaire de l'influence de l'égreneuse à rouleau de laboratoire sur le pourcentage à l'égrenage et la longueur de la fibre", *Coton et fibres Tropicales* 32(3): 279-284.
- Gutknecht, J. (1984), "Prédiction de la résistance du fil en fonction de la longueur de la fibre", *Coton et Fibres Tropicales* XXXIX(2): 25-29.
- Gutknecht, J. and Roehrich, N. (1963), "Etude de l'influence du mode d'égrenage sur les caractéristiques technologiques du coton", *COTON ET FIBRES TROPICALES* 18(2): 271-284.
- Harig, H. and Baumer, R. (1994), "A reference method to measure bundle strength - problems with its development", *Beltwide Cotton Conferences*, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1385-1386.
- Hebert, J. J., Thibodeaux, D. P., Shofner, F. M. and Singletary, J. K. (1995), "A new single tensile tester", *Textile Research Journal* 65(8): 440-444.
- Hequet, E. (1999), "Application of the AFIS Multidata", *Beltwide Cotton Conference*, pp. 666-670.
- Hequet, E. and Gurlot, J.-P. (1994), "The future of calibration standards", *Porto, International Textile Manufacturers Federation*; pp. 14.
- Hertel, K. L. (1940), "A method of fibre-length analysis using the fibrograph", *Textile Research Journal* 10/1940 10(12): 510-525.
- Hertel, K. L. (1953). Fiber strength and extensibility as measured by the Stelometer. Cotton Research Clinic report, National Cotton Council: 18-25.
- Hertel, K. L. and Lawson, R. (1964), "Factors affecting fiber length-scanning measurement", *Textile Research Journal*: 866-879.
- Hinojosa, O., Chu, Y.-T., Thibodeaux, D., P. and M., S. F. (1991), "Comparison of fineness and maturity distributions produced by AFIS and image analysis methods", *Beltwide Cotton Conferences*, Inconnue, pp. No.
- Hsieh, Y. L. (1997), "Strength and structure of cotton fiber during development", *Beltwide Cotton Conferences*, January 7-10, 1997, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 505-507.
- Hunter, L. (1998), "Chairman's report, meeting of the ITMF Working Group High Volume Instrument and ITMF HVI user guide", *International Committee on Cotton Testing Methods*, March 10-11, 1998, Bremen, International Textile Manufacturers Federation, pp. 171-184.
- Hunter, L. (2000), "Chairman's report, meeting of the ITMF Working Group High Volume Instrument and ITMF HVI user guide", *International Committee on Cotton Testing Methods*, February 29 - March 1, 2000, Bremen, International Textile Manufacturers Federation, pp. 14-17.
- ICAC (1994). L'égrenage du coton : de nouvelles techniques s'imposent. ICAC Recorder. I. C. A. Committee. Washington DC (USA), ICAC: 21-24.
- ICAC, Ed. (1999). Coton : Examen de la situation mondiale. Washington DC (USA).
- ICAC (1999), "Cotton: World statistics", Washington DC (USA), International Cotton Advisory Committee; pp. 112.
- ICAC (1999), "The outlook for cotton supply in 1999/00", Washington DC (USA), International Cotton Advisory Committee; pp. 24.
- ICAC (1999), "World cotton trade 1999/00", Washington DC (USA), International Cotton Advisory Committee; pp. 99.
- Jacquemart, J.-A. (1953), "Contribution à l'étude de la structure du coton", *Coton et Fibres Tropicales* 8(2): 161-168.
- Jaeger, B. (1998), "Etude de la mesure de longueur des fibres de coton.", *Mémoire de deuxième année d'ESA*; pp. 23.
- Joshi, P. C., Wadhwani, A. M. and Johri, B. M. (1967), "Morphological and embryological studies of *Gossypium* L.", *Indian Journal of Agricultural Research* 33(B): 37-93.
- Kaewprasit, C. (1997), "Contribution à l'estimation de la surface spécifique des fibres de coton ; relations entre surface et propriétés physiques", *Polymères, Interfaces et états amorphes, matières condensées*, Montpellier, Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc; pp. 181.



- Kaewprasisit, C., Abidi, N., Gourlot, J.-P. and Douillard, J.-M. (1999), "Specific surface area of some standard cotton fiber and its relation to physical properties", Cotton Beltwide Conferences, 3 au 10 janvier 1999, Orlando (FL), pp. 718-720.
- Kaewprasisit, C., Hequet, E., Abidi, N. and Gourlot, J.-P. (1998), "Application of methylene blue adsorption to cotton fiber specific surface area measurement : Part I Methodology.", J. Cotton Science 2: 164-173.
- Kerguignas, M. and Caignaert, G. (1977), "Résistance des matériaux", Dunod, Quatrième édition.
- Knowlton, J., L. (1996), "Experience with Rapid Conditioning of HVI samples", Engineered Fiber Selection System, 7-8 novembre 1996, Raleigh (NC), USA, pp. 223-235.
- Knowlton, J., L. (2000), "Establishing HVI calibration standards", International Committee on Cotton Testing Methods, February 29 - March 1, 2000, Bremen, International Textile Manufacturers Federation, pp. 45-49.
- Kompella, M. K. and Lambros, J. (2002), "Micromechanical characterization of cellulose fibers", Polymer Testing(21): 523-530.
- Krifa, M. (2001)a, "Etude des fragments de coque de graines de coton : détection, caractérisation, interaction avec les processus de filature et influence sur la qualité du fil", Laboratoire de Physique et Mécaniques Textiles de l'ENSITM, Mulhouse, Haute Alsace:pp. 266.
- Krifa, M., Bachelier, B., Frydrych, R., Gourlot, J.-P. and Giner, M. (2001)b, "Relationship between seed coat fragment content and yarn strength depending on the range of fiber quality", Actes des Journées Coton du Cirad, 23 au 24 juillet 2001, Montpellier, pp. 63-66.
- Krifa, M., Gourlot, J.-P. and Drean, J.-Y. (2001)c, "Effect of seed-coat fragments on cotton yarn strength: its dependence on fiber quality", Textile Research Journal 71(11): 981-986.
- Krowicki, R., S. and Duckett, K., E. (1996)a, "Another look at the micronaire measurement of cotton", 9<sup>o</sup> Engineered Fiber Selection System, 7-8 Novembre 1996, Raleigh (NC), USA, pp. 216-225.
- Krowicki, R. S., Hinojosa, O., Thibodeaux, D. P. and Duckett, K. E. (1996)b, "An AFIS parameter for correcting mass measures on the Spinlab HVI", Textile Research Journal 66(2): 70-72.
- Krowicki, R. S., Thibodeaux, D. P. and Duckett, K. E. (1996)c, "Generating fiber length distribution from the fibrogram", Textile Research Journal 66(5): 306-310.
- Kunzek, H., Kabbert, R. and Gloyna, D. (1999), "Aspects of material science in food processing: changes in plant cell walls of fruits and vegetables", Z. Lebensm Unters Forsch A 208: 233-250.
- Lagière, R. (1966), "Le Cotonnier", Paris.
- Landstreet, C. B., Waggoner, C. M. and Guggenheim, G. N. (1989), "The mass fibrogram : a method for increased precision in measuring short fiber content and uniformity ratios with scanning instruments", Beltwide Cotton Conferences, January 2-7, 1989, Nashville, Tennessee, National Cotton Council of America, pp. 610-612.
- Lawson, R., Ramey, H. H. and Krowicki, R. S. (1976), "Cotton fiber tenacity and elongation in rapidly changing relative humidity", Textile Research Journal 46(10): 715-719.
- Le Magnen, J.-F. (2000), "Cours sur la mesure des longueurs de fibres : extraits de la thèse de M. Kirschner".
- Lemaitre, J. and Chaboche, J.-L. (1998), "Mécanique des matériaux solides", Dunod.
- Lord, E. (1955), "Air flow through plugs of textile fibres", Journal of the Textile Institute 46(3): 191-213.
- Lord, E. (1956)a, "Air flow through plugs of textile fibres", Journal Of The Textile Institute 47: 17-47.
- Lord, E. (1956)b, "Air flow through plugs of textile fibres", Journal of the Textile Institute 47: 635-649.
- Lord, E. (1956)c, "Relations between different measures of maturity and fineness of cotton", Journal Of The Textile Institute 47: 209-221.
- Lord, E. (1961), "Manual of cotton spinning", The Textile Institute, Butterworths. pp. 333.
- Lord, E. and Heap, S., A. (1988), "The origin and assesement of cotton fibre maturity", International Institute for Cotton. pp. 39.
- Mangialardi, G. J. and Anthony, W. S. (1999), "Evaluation of a mill-type lint cleaner", The Cotton Gin and Oil Mill Press(September 99): 6-10.

- Mangialardi, G. J. J. (1992), "Lint cleaning effect on seed-coat fragment size distribution in cotton", Textile Research Journal 62(6): 335-340.
- Marquié, C. (1996), "Mise au point et étude de films biodégradables réalisés avec des farines de graines de cotonniers", Biochimie et Technologies Alimentaires, Montpellier (FR), Université de Montpellier:pp. 193.
- Matthews, G. A. (1989), "Cotton insect pests and their management.", Essex (G.B.).
- Mayfield, W. (1994), "Decoupled color and trash grade - ginning for maximum value", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 163-165.
- Mc Nabb, D. F. (1995), "Establishment of HVI Calibration Cotton Values", Beltwide Cotton Conferences, 1995/1, San Antonio, pp. 6.
- Mergeai, G., Noel, J.-M., Louwagie, J. and Baudoin, J. (1993), "Utilisation du cotonnier sauvage *Gossypium areysianum* pour l'amélioration de l'espèce cultivée *G. hirsutum* L. Description de deux nouvelles lignées d'addition monosomiques", Coton et Fibres Tropicales 48(4): 231-251.
- Montalvo, J., Faught, S., Grimball, R., Stark, E. and Luchter, K. (1994), "Measurement of cotton maturity and fineness by a VIS/NIR reflectance HVI. Part I : Instrumentation", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1473-1475.
- Montalvo, J. G. and Faught, S. E. (1997), "Fast Determination of Maturity and Fineness by Nir With a Diode-Array HVI part 2 Reference Method", Beltwide Cotton Conferences, January 7-10, 1997, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 554-555.
- Montalvo, J. G., Thibodeaux, D. P., Faught, S. and Buco, S. M. (1987), "Prediction of cotton maturity by near infrared reflectance analysis : Part 1: underlying cause of relationship", Beltwide Cotton Conferences, January 4-8, 1987, Dallas, Texas, National Cotton Council of America, pp. 155-161.
- Moore, J. F. (1987), "Use of computers and computer telecommunications in the classification of cotton", Beltwide Cotton Conferences, January 4-8, 1987, Dallas, Texas, National Cotton Council of America, pp. 515-515.
- Moore, J. F. (1988), "The impact of high volume instrument classification on the cotton industry", ICAC, Lima (PER).
- Moore, J. F. (1992), "HVI's contribution to cotton quality improvement in the United States", ICAC:pp. 1-9.
- Moore, J. F. (1994), "1993 module averaging", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 53-54.
- Mor, U. (2000), "Fibro-Lab FQT (Fiber Quality Tester)", 25th International Cotton Conference Bremen, March 1-4, 2000, Bremen, pp. 245-256.
- Morris, D. A. (1962), "Effects of temperature and relative humidity on fibre bundle strength measurements", The empire cotton growing review 39(4): 262-269.
- Morton, W. E. and Hearle, J. W. S. (1975), "Physical properties of textile fibres", London, The Textile Institute and Heinemann. pp. 660.
- Nickerson, D. (1953), "Color measurement : A handbook on the method of disk colorimetry", U.S Department of Agriculture, Miscellaneous publication 580.
- Palmer, A. W. (1960), "The Growth of Cotton Fiber Science in the United States", Annual Report Smithsonian Institution: 47-513.
- Parry, G. (1982), "Le cotonnier et ses produits : origine et constitution", Paris (V°).
- Petkar, B. M., Oka, P. G. and Sundaram, V. (1980), "The cross-sectional shapes of a cotton fiber along its length", Textile Research Journal: 541-543.
- Pressley, E. H. (1942), "A cotton fiber strength tester", ASTM bulletin 10/1942: 0013-17.
- Raingard, J. (1968), "Note sur l'influence du mode et de la date de la récolte sur la technologie de la fibre", Coton et Fibres Tropicales 23(3): 363-364.
- Ramey, H. H. (1992), "Separation of cotton grade into color grade and leaf grade", EFS conference, Memphis Tn (USA).



- Ramey, H. H., Lawson, R. and Worley, S. (1977), "Relationship of cotton properties to yarn tenacity", Textile Research Journal: 685-691.
- Ramey, H. H. J. (1989), "Evaluation of trashmeters in cotton classing", Beltwide Cotton Conferences, January 2-7, 1989, Nashville, Tennessee, National Cotton Council of America, pp. 585-591.
- Raymond, G. and Marquié, C. (1995), "La graine de cotonnier et ses produits", OCL 2(6): 422-424.
- Riley, R., C. (1996), "HVI elongation measurement", Engineered Fiber Selection System, 7-8 novembre 1996, Raleigh (NC), USA, pp. 27-70.
- Robert, R. (1999), "Mesure de la longueur et du diamètre d'une fibre de coton", Toulouse, INP, ENSEIHT:pp. 120.
- Roberty, G. (1949), "Variation de longueur dans les poils d'une même graine de coton", Coton et Fibres Tropicales 4(1): 25-32.
- Roch, J. (1975), "Récolte mécanique de 3 variétés de cotonniers en Côte d'Ivoire", Coton et Fibres Tropicales 30(4): 475-479.
- Roch, J. (1976)a, "Influence de la température et de l'humidité relative de l'air sur les caractéristiques technologiques de la fibre. Conséquences pratiques pour le contrôle du conditionnement d'air au laboratoire", Coton et Fibres Tropicales XXXI(Fasc. 3): 289-295.
- Roch, J. (1976)b, "Manuel de technologie cotonnière, document de formation IRCT".
- Roehrich, O. (1947)a, "Méthode générale d'étude des caractères technologiques des fibres textiles végétales (1<sup>ère</sup> partie)", Coton et fibres Tropicales 2(2): 37-50.
- Roehrich, O. (1947)b, "Méthode générale d'étude des caractères technologiques des fibres textiles végétales (2<sup>ème</sup> partie) : Les caractères technologiques de la fibre de coton", Coton et fibres Tropicales 2(3): 81-89.
- Roehrich, O. (1961), "Appréciation de la maturité du coton au moyen d'appareils air-flow", ITF Bulletin 61(93): 44-49.
- Rowland, J. D. (1995), "Module averaging : a mill view", EFS conference, Memphis Tn (USA):pp. 1-17.
- Sasser, P. E., Hurst, I., Hinkle, D. and Shofner, F. (1987), "An objective measurement of neps in raw cotton", International Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, 1987/06/28-01, Baltimore, Md (USA), ASAE, St Joseph, Mi (USA), pp. 11 p.
- Sasser P, P. E. (1990), "Effect of short term variations in relative humidity on cotton fiber properties measured by high volume instrument systems", Intenational committee on cotton test methods:pp. 1-6.
- Sasser, P. E. (1992)a, "The repeatability of HVI data", International committee on cotton testing methods, Bremen (DEU):pp. 1-5.
- Sasser, P. E. and Moore, J. F. (1992)b, "A historical perspective of high volume instrument developments in the U. S.", Brême:pp. 21-25.
- Sasser, P. E., Shofner, F. M., Chu, Y. E., Shofner, C. K. and Townes, M. G. (1991), "Interpretations of single fibers, bundle, and yarn tenacity data", Textile Research Journal 61(11): 681-690.
- Schneider, T. and Baumer, R. (2002), "Harmonization of HVI strength calibration", Beltwide Cotton Conferences, Atlanta, pp. Non publié.
- Shofner, C. K. (1994), "The effect of High Volume Instrument sample preparation on tensile properties of cotton fibers", Textile Apparel Management, Raleigh (NC), North Carolina State University:pp. 68.
- Shofner, F. M., Frey, M. and Bragg, C. K. (1992), "Utilization of the complete fiber length distribution from the Advanced Fiber Information System", Bremen, pp. 111-121.
- Shofner, M., Frederick and Shofner, C., Kyle (2000), "Cotton classing in the new millenium", 25th International Cotton Conference Bremen, March 1-4, 2000, Bremen, pp. 141-166.
- Simonton, J. L., Cole, W. L. and Williams, P. (2000), "Effect of cotton preparation on AFIS and HVI measurements", Beltwide Cotton Conferences, National Cotton Council of America, pp. 726-732.
- Stewart, J. M. (1975), "Fiber initiation on the cotton ovule (*Gossypium hirsutum*)", American Journal of Botany 62(7): 723-730.

- SUESSEN (1978), "Spintester Open-end", Suessen:pp. 40.
- Suh, M. W., Cui, X. and Sasser, P. E. (1993), "Interpretation of HVI bundle tensile properties through single fiber test results - Effects of fiber slack", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1101-1104.
- Suh, M. W., Cui, X. and Sasser, P. E. (1994)a, "New understanding on HVI tensile data based on MANTIS single fiber test results", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1400-1403.
- Suh, M. W. and Koo, H. J. (1994)b, "Improving yarn and fabric strengths by HVI and single fiber test data - A mill experiment", Beltwide Cotton Conferences, January 5-8, 1994, San Diego, California, National Cotton Council of America, pp. 1648-1652.
- Suh, M. W. and Cui, X. (1996), "Small bundle tensile properties of cotton related to Mantis and HVI data- a road to yarn strength prediction", Beltwide Cotton Conferences, January 9-12, 1996, Nashville, Tennessee, National Cotton Council of America, pp. 1296-1300.
- Suh, M. W. and Cui, X. (1997), "Estimation of single fiber tensile properties from HVI bundle tests", Mulhouse 97, Mulhouse:pp. 1-17.
- Taha, M. G. and Bourély, J. (1989), "Etude en microscopie électronique de la formation des parois de fibres du *Gossypium barbadense* L. en Egypte", Coton et Fibres Tropicales 44(2): 95-115.
- Tamime, O. (2000), "Etude de la filabilité des cotons collants et de la classification des balles selon leur potentiel de collage mesuré par le H2SD", Laboratoire de Physique et Mécaniques Textiles de l'ENSITM, Mulhouse, Haute Alsace:pp. 233.
- Taylor, R. A. "A calibration reference tile for optical image type cotton trashmeters", Beltwide Cotton Conferences, National Cotton Council of America: pp. 351-358.
- Taylor, R. A. (1986), "Cotton tenacity measurements with High Speed Instruments", Textile Research Journal February 1986: 92-101.
- Taylor, R. A. (1988), "Particle size estimation with video trashmeters", Beltwide Cotton Conferences, January 3-8, 1988, New Orleans, Louisiana, National Cotton Council of America, pp. 600-605.
- Taylor, R. A. (1989), "Video scan trashmeter area calibration", Beltwide Cotton Conferences, January 2-7, 1989, Nashville, Tennessee, National Cotton Council of America, pp. 586-589.
- Taylor, R. A. (1990)a, "Estimating the size of cotton trash with video images", Textile Research Journal: 185-193.
- Taylor, R. A. (1990)b, "How cotton variety and specimen preparation affect the fineness of fibers selected for HVI strength testing", Beltwide Cotton Conferences, January 9-14, 1990, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America, pp. 605-611.
- Taylor, R. A. (1990)c, "Moisture analysis for HVI testing of cotton", Textile Research Journal: 94-102.
- Taylor, R. A., Brown, R. S. and Godbey, L. C. (1990)d, "Elongation of cotton fiber bundles at different extension rates", Beltwide Cotton Conferences, January 9-14, 1990, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America.
- Taylor, R. A. and Godbey, L. (1990)e, "Video scan trashmeter area calibration", Textile Research Journal: 646-653.
- Taylor, R. A. (1991)a, "Linking the FMT to HVI strength measurements", Beltwide Cotton Conferences, January 8-13, 1991, San Antonio, Texas, National Cotton Council of America, pp. 864-869.
- Taylor, R. A., Brown, R. S. and Godbey, L. C. (1991)b, "Reducing HVI strength variability by sensing humidity", Beltwide Cotton Conferences 1991.
- Taylor, R. A. (1993), "The true strength of HVI bundles", Sixth Engineered Fiber Selection Research Forum, 1993/11/4, Raleigh (USA), pp. 13.
- Taylor, R. A. and Godbey, L. C. (1993), "A reference method for HVI strength", Beltwide Cotton Conferences, January 10-14, 1993, New Orleans, Florida, National Cotton Council of America, pp. 1076-1079.

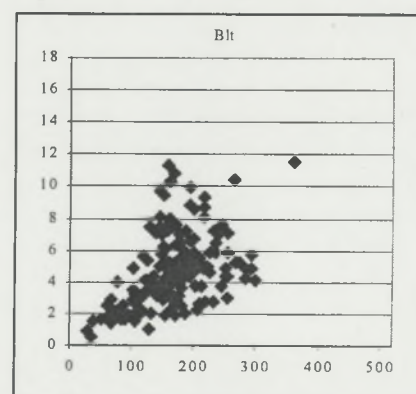
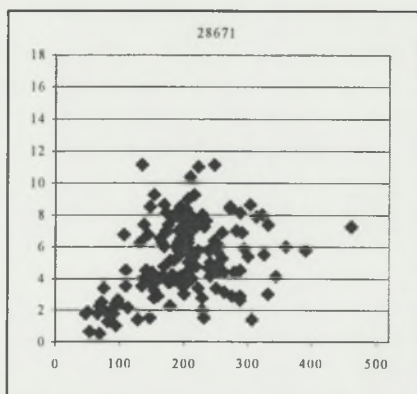
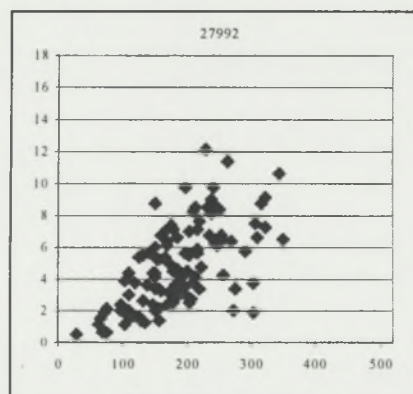
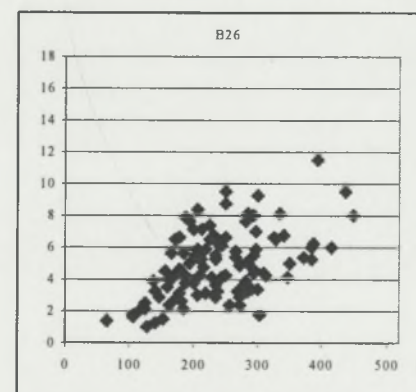
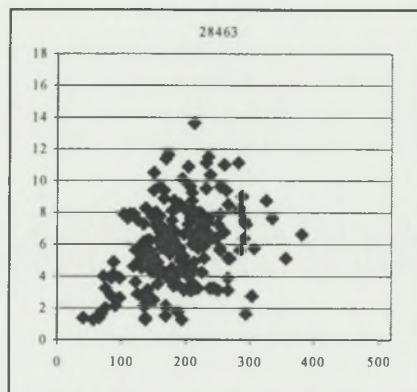
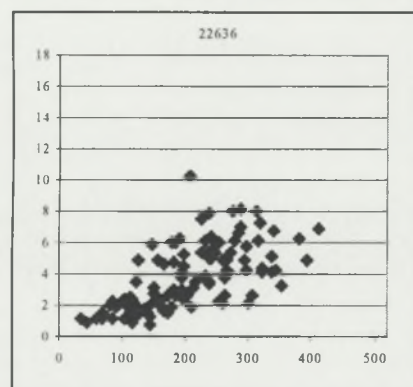
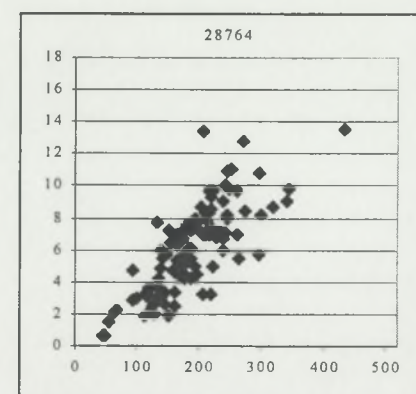
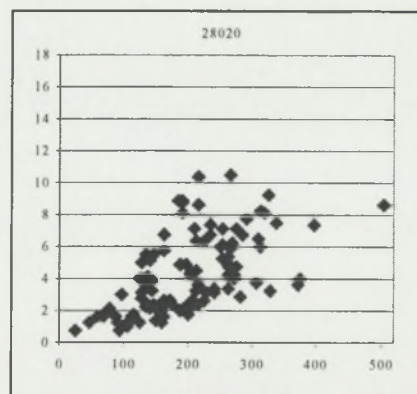
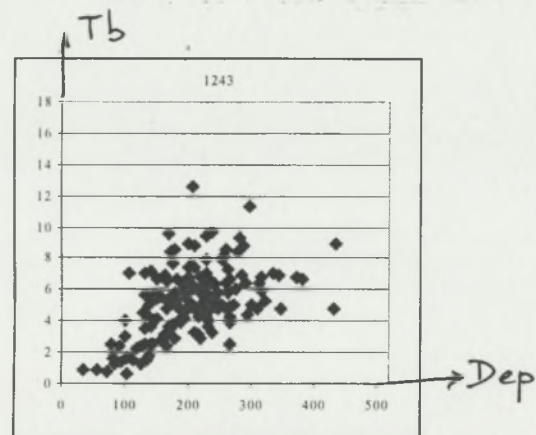


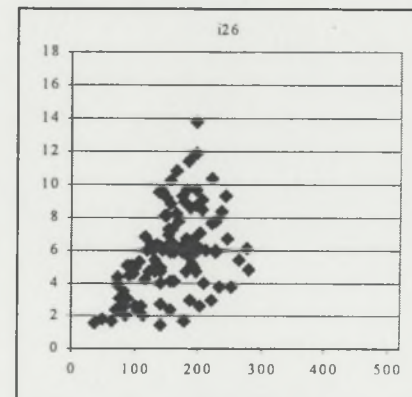
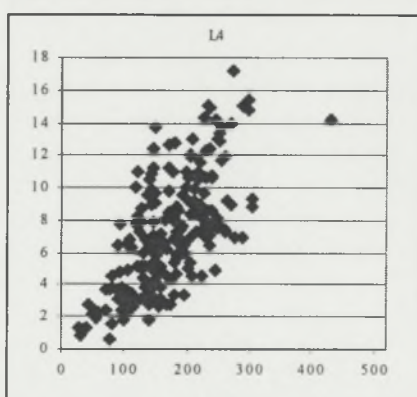
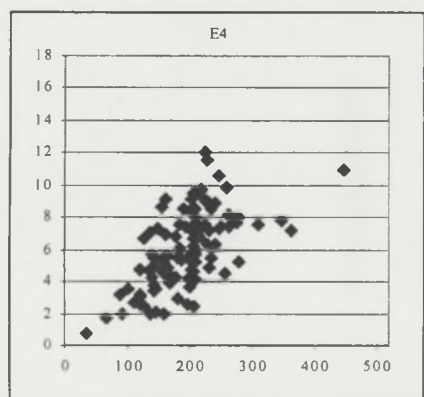
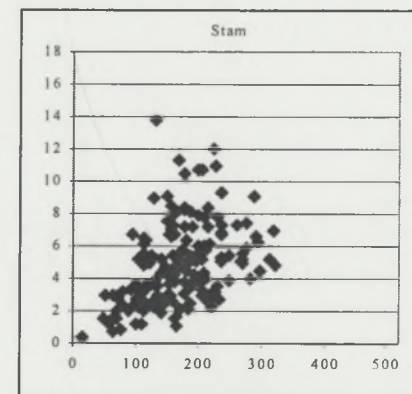
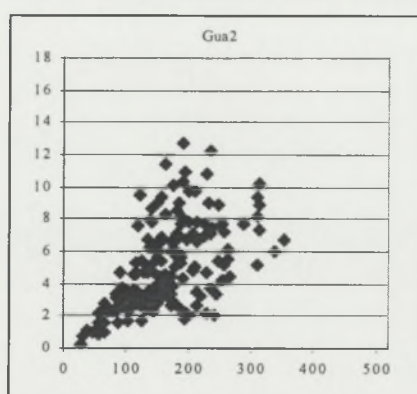
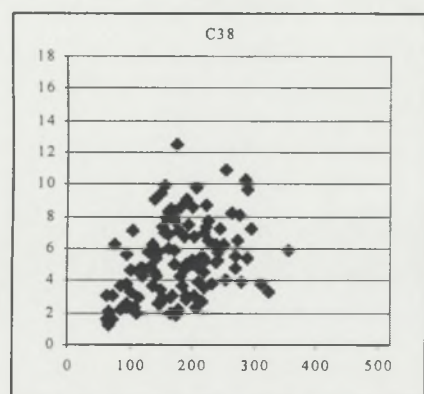
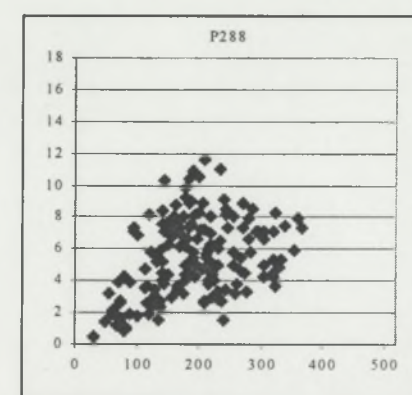
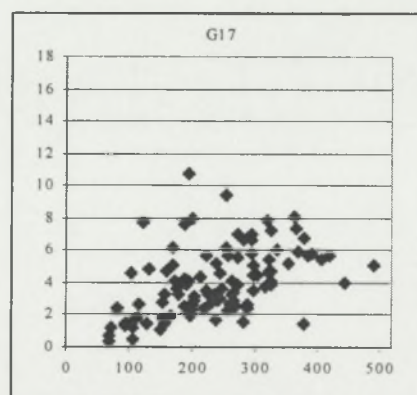
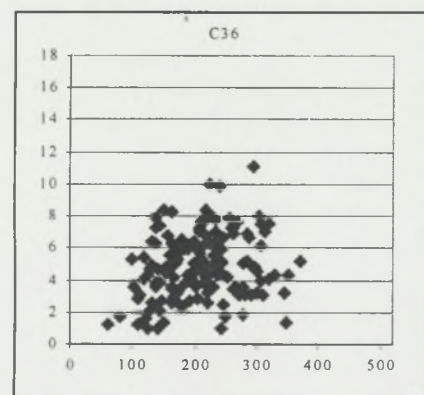
- Taylor, R. A. (1998), "Improvements in Premier HVI equipment and measurements", International Committee on Cotton Testing Methods, March 10-11, 1998, Bremen, International Textile Manufacturers Federation, pp. 189-194.
- Thibodeaux, D. P. and Evans, J. P. (1986), "Cotton fiber maturity by image analysis", Beltwide Cotton Conferences, January 4-9, 1986, Las Vegas, Nevada, National Cotton Council of America, pp. 130-139.
- Thibodeaux, D. P., Hebert, J. J., Abd. El-Gawad, N. S. and Moraitis, J. S. (1998), "Quality measurement : relating bundle strength to Mantis single fiber strength measurement", The Journal of Cotton Science 2(1): 62-67.
- Usda Ars (1975), "Fiber and yarn data on sixty-two research cotton samples", USDA ARS:pp. 43.
- Valdeyron, G. (2001), "Caractérisation de la maturité des fibres de coton par analyse d'image", Lille, Ecole universitaire d'ingénieur de Lille, Gemtex, DEA 'Instrumentation et analyse avancée':pp. 30.
- Waterkeyn, L. (1987). Light microscopy of the cotton fibre. Cotton fibres : their development and properties. Technical monograph from the Belgian Cotton Research Group. Manchester (UK), International Institute for Cotton: 17-22.
- Xu, B., Fang, C. and Huang, R. (1998), "Cotton color measurements by an imaging colorimeter.", Textile Research Journal 68(5): 351-358.
- Xu, B., Fang, C., Huang, R. and Watson, M. D. (1997), "Chromatic image analysis for cotton trash and color measurements", Textile Research Journal 67(12): 881-890.
- Yankey, J. M. and Jones, P. C. (1993), "Multidata AFIS", Beltwide Cotton Conferences - Cotton Textile Processing, January 10-14, New Orleans, La (USA), National Cotton Council, Memphis, Tn (USA), pp. 1129-1131.
- Zellweger, U. (1999), "Application handbook for Spectrum model", Knoxville (TN).
- Zellweger-Uster (1984), "Uster mesure la régularité".
- Zellweger-Uster (1985), "Uster Tensorapid, essais de résistance sur fils et retors".

## *ANNEXE 1*

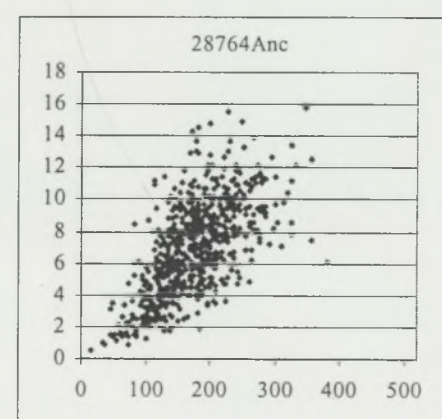
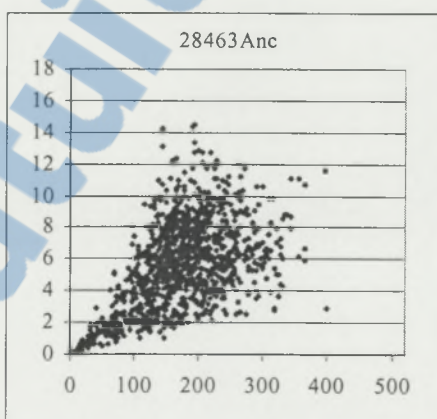
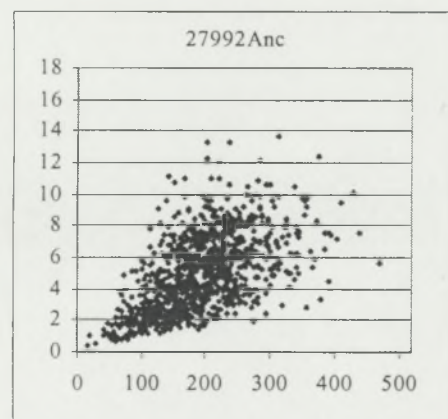
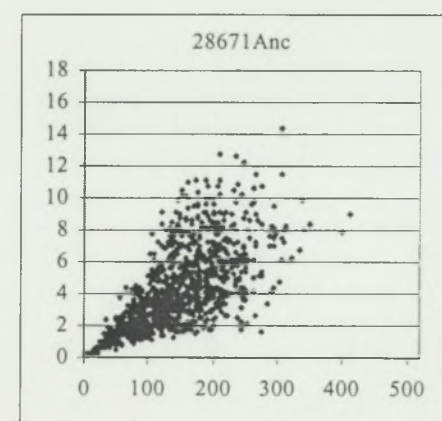
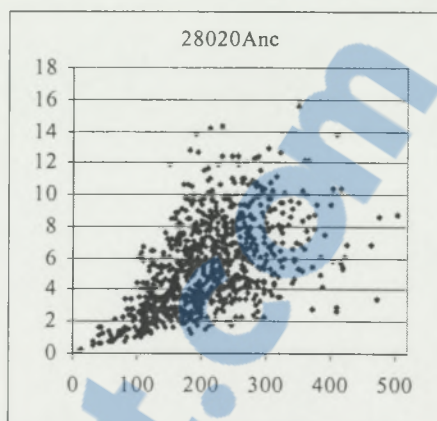
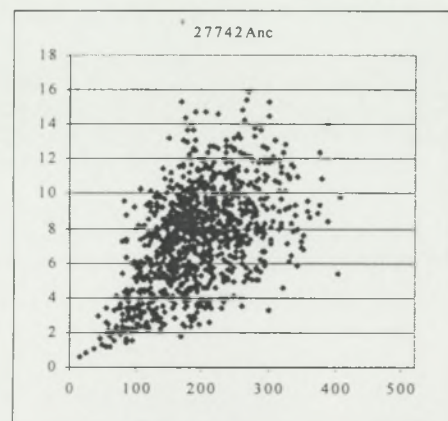
Graphes croisés Force de rupture (Tb) en fonction de l'allongement de rupture (Dep) relevés sur chacun des cotons généraux de la thèse sur l'appareil MANTIS



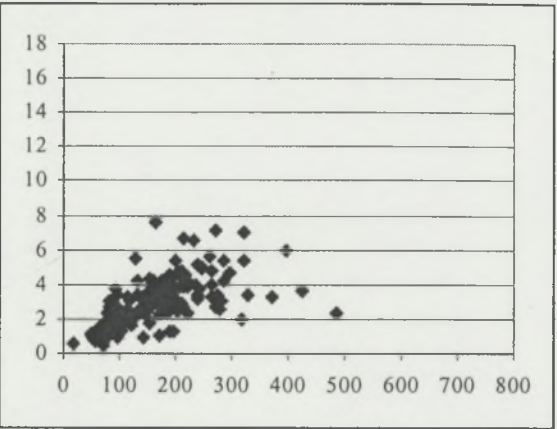
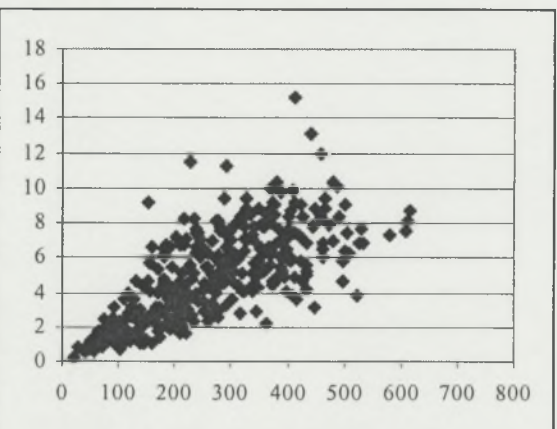
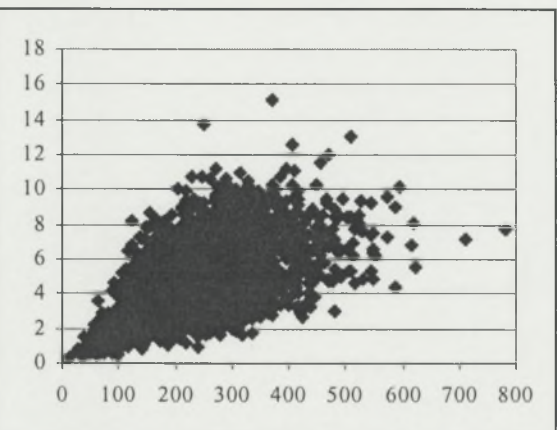






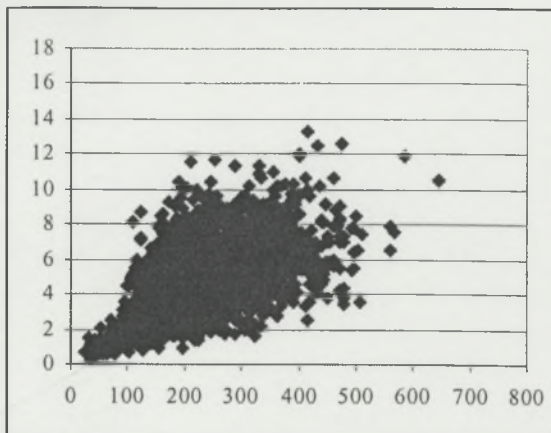


**Tableau 1 : Répartitions des relations Tb en fonction de Dep pour la variété D en fonction de leur classe de maturité.**

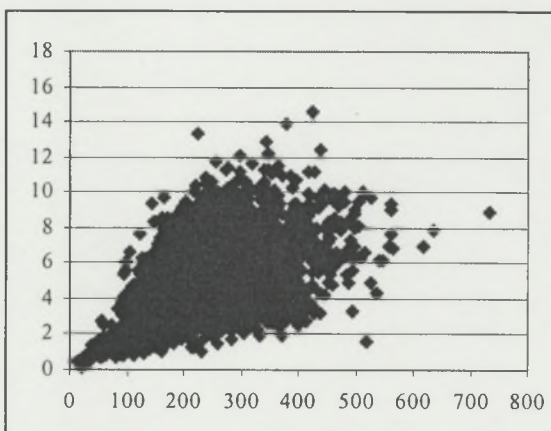
[... à 0.80[	
[0.80 à 0.825[	
[0.825 à 0.85[	



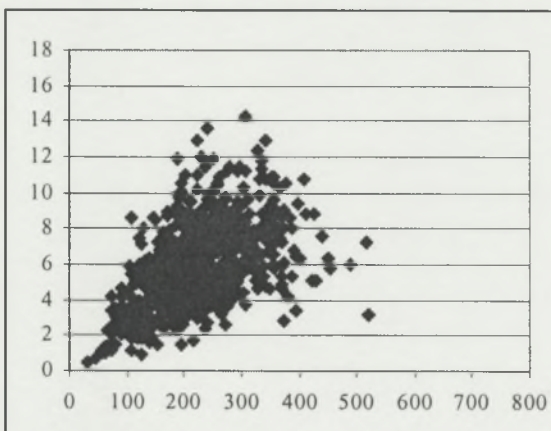
[0.85 à 0.875[



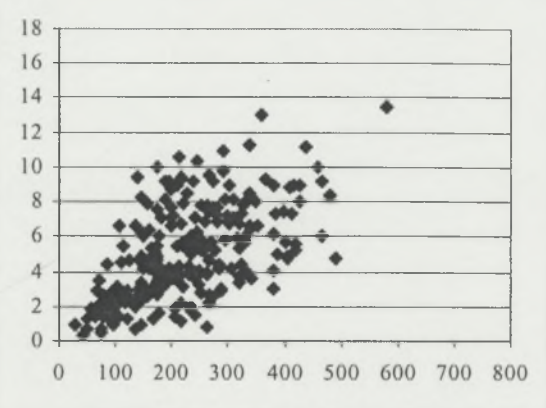
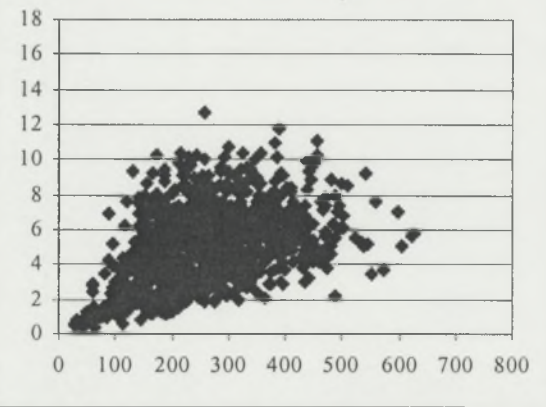
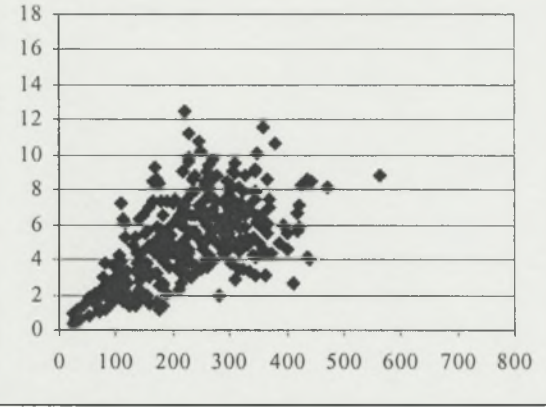
[0.875 à 0.90[



[0.90 à 0.95[

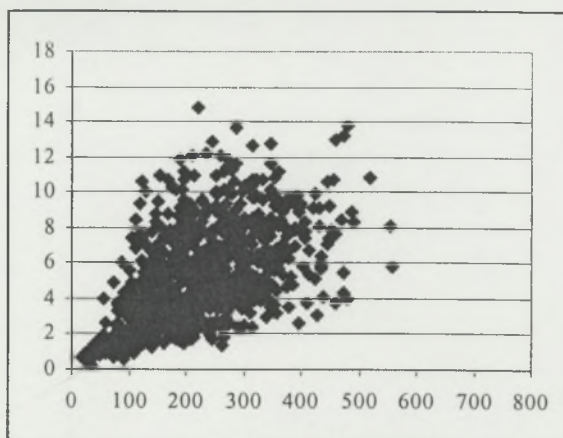


**Tableau 2 : Répartitions des relations Tb en fonction de Dep pour la variété N en fonction de leur classe de maturité.**

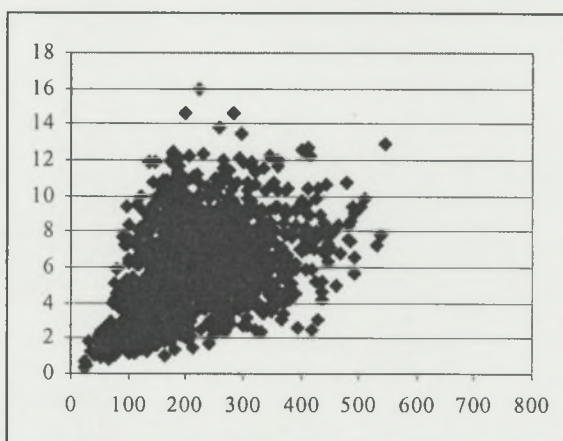
[... à 0.80[	
[0.80 à 0.825[	
[0.825 à 0.85[	



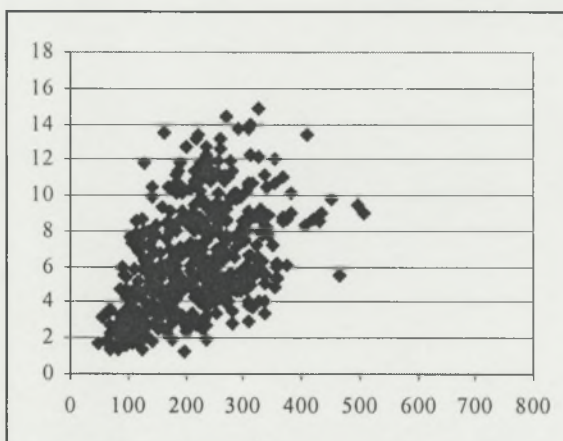
[0.85 à 0.875[



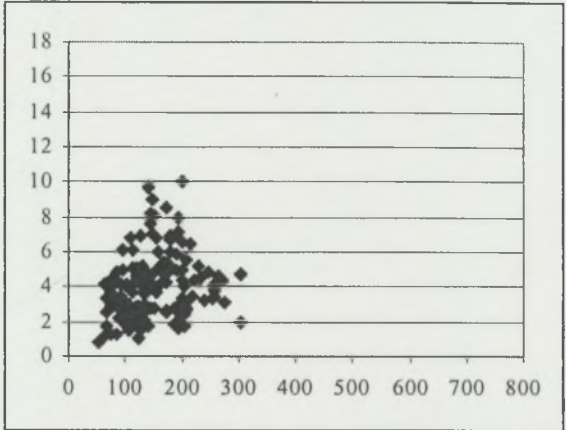
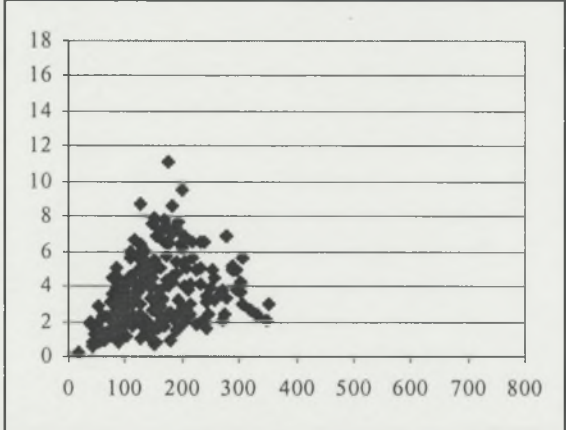
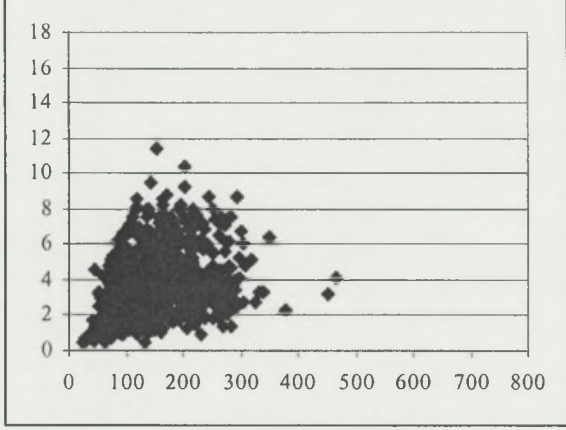
[0.875 à 0.90[



[0.90 à 0.95[

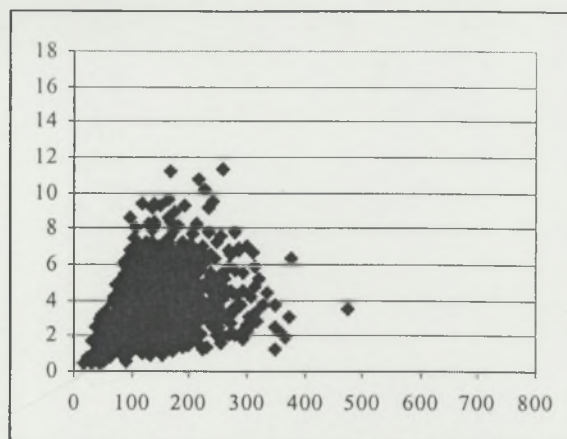


**Tableau 3 : Répartitions des relations Tb en fonction de Dep pour la variété P en fonction de leur classe de maturité.**

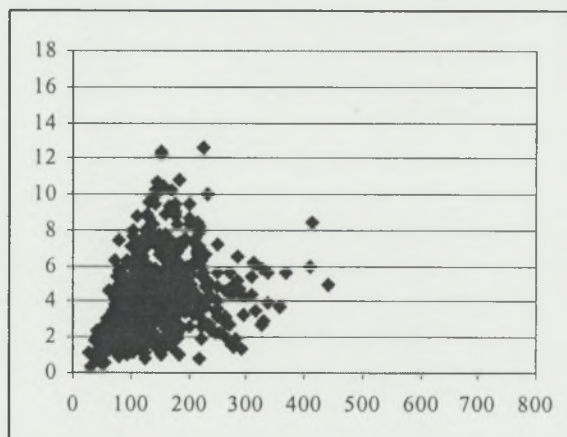
[0.80 à 0.825[	
[0.825 à 0.85[	
[0.85 à 0.875[	



[0.875 à 0.90[



[0.90 à 0.95[



## ANNEXE 2

Images de microscopie électronique réalisées au LPMT à Mulhouse par  
J-Paul Gurlot , J-Yves Dréan et Patrick Caligaro.

Variétés N, P, D réparties en trois classes de maturité de fibres sur la base de résultats AFIS.

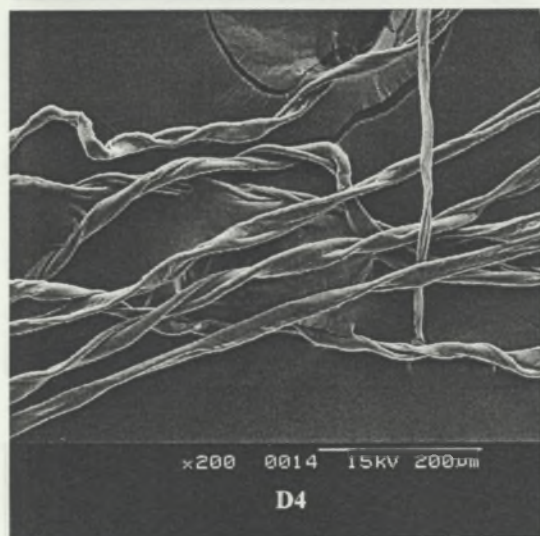
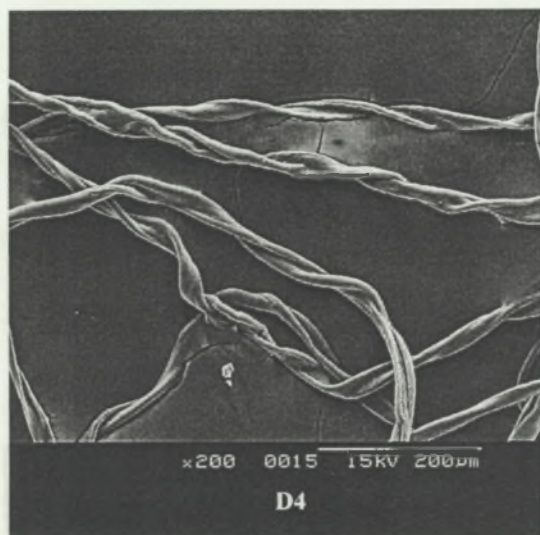
Grossissement 200 fois.

Da manière globale, les images sont disposées selon le tableau suivant ; quand plusieurs images sont disponibles par case de ce tableau, elles sont disposées verticalement :

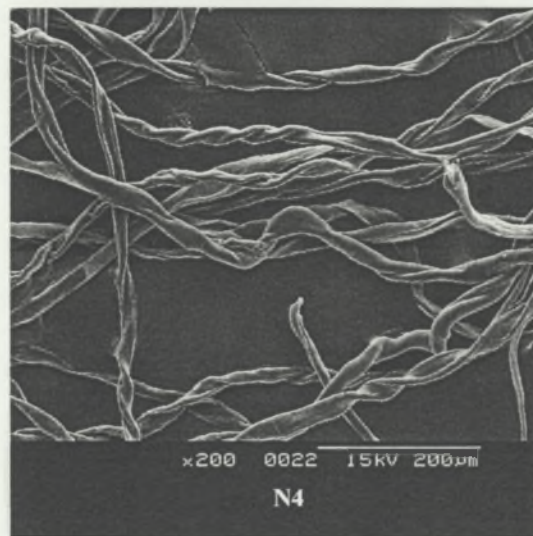
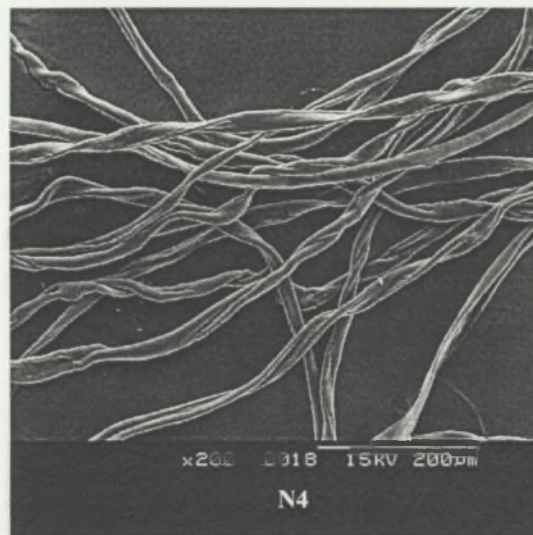
Variété D, [0.80, 0.825[	Variété N, [0.80, 0.825[	Variété P, [0.80, 0.825[
Variété D, [0.85, 0.875[	Variété N, [0.85, 0.875[	Variété P, [0.85, 0.875[
Variété D, [0.90, 0.95[	Variété N, [0.90, 0.95[	Variété P, [0.90, 0.95[



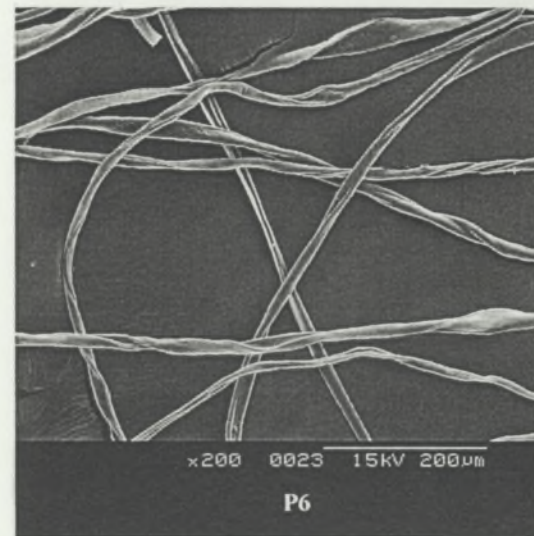
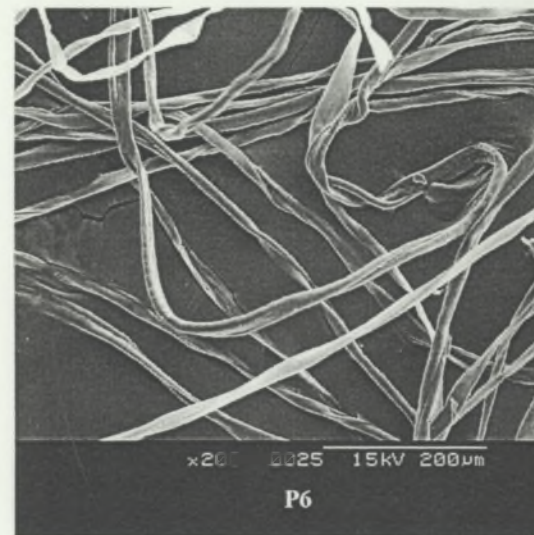
D4 : [0.80, 0.825[



N4 : [0.80, 0.825[

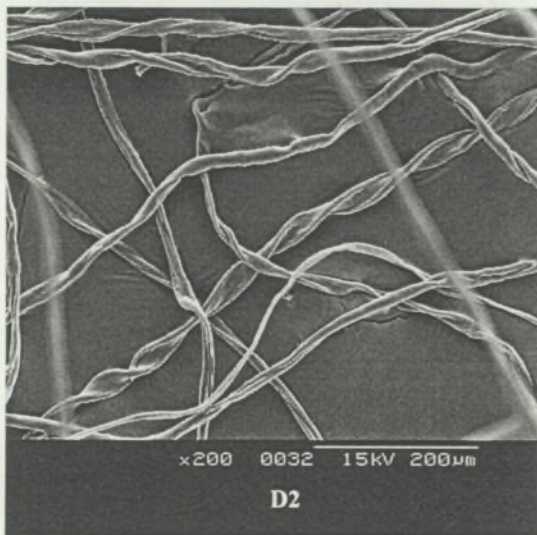
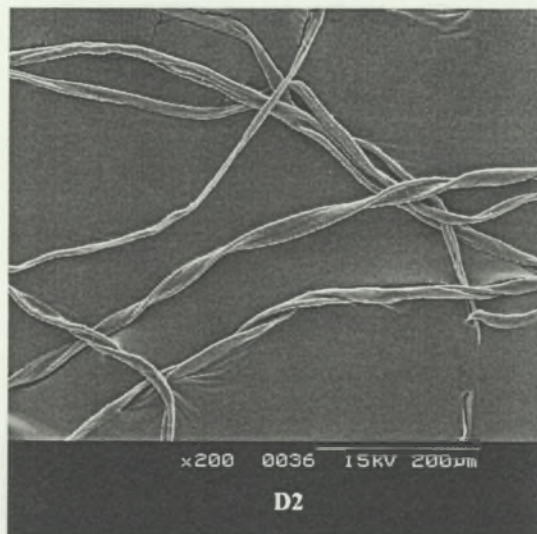


P6 : [0.80, 0.825[

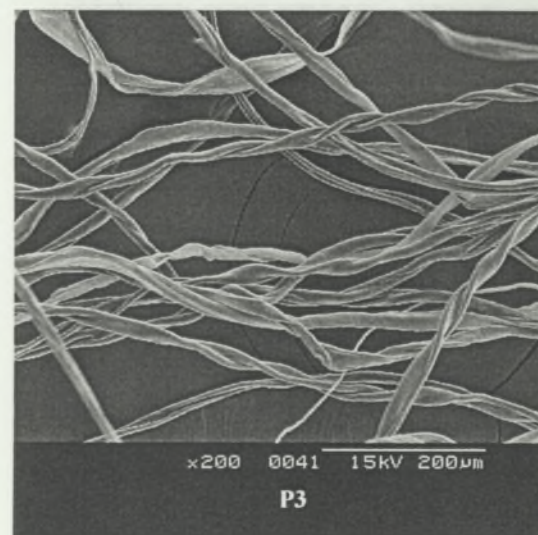
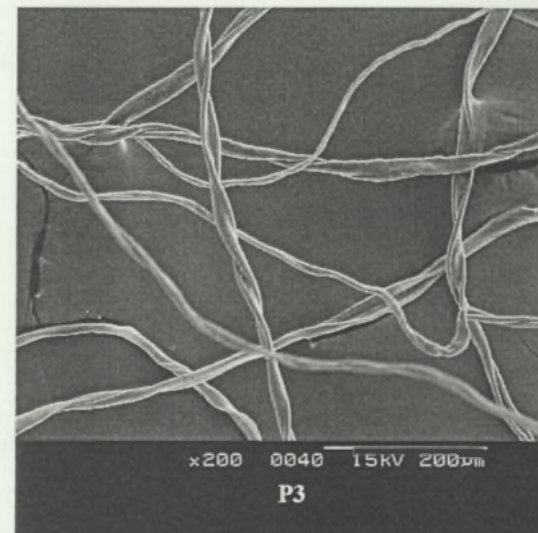




D2 : [0.85, 0.875[

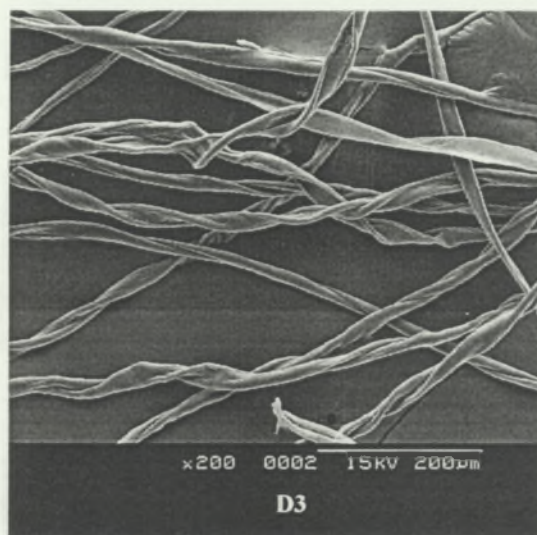


P3 : [0.85, 0.875[

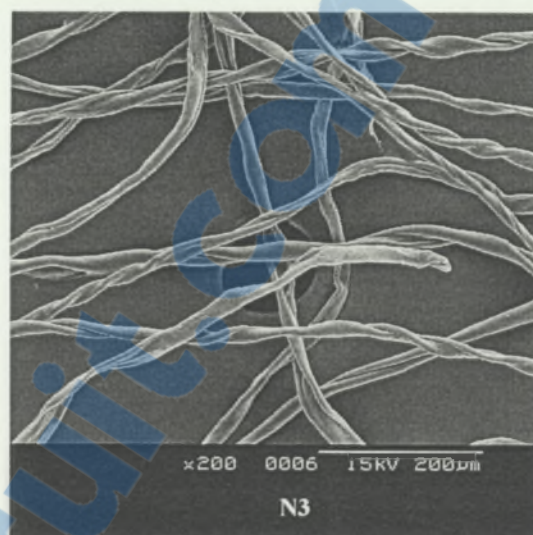




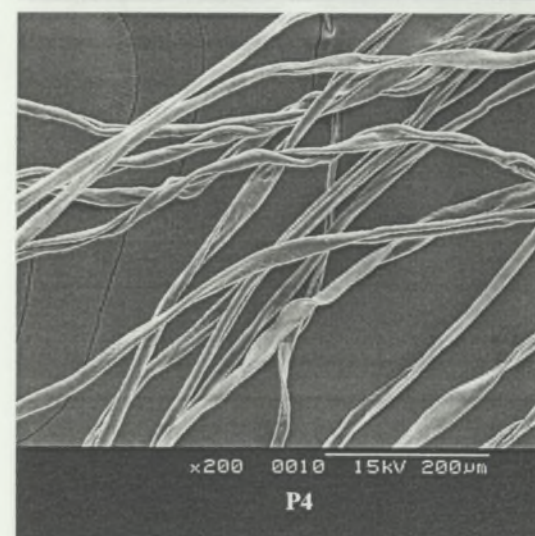
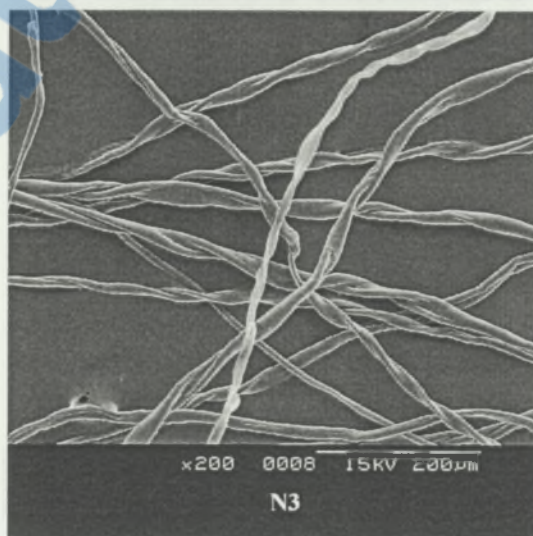
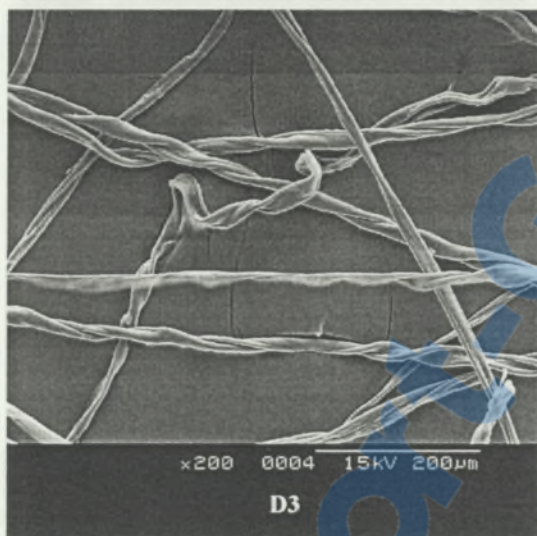
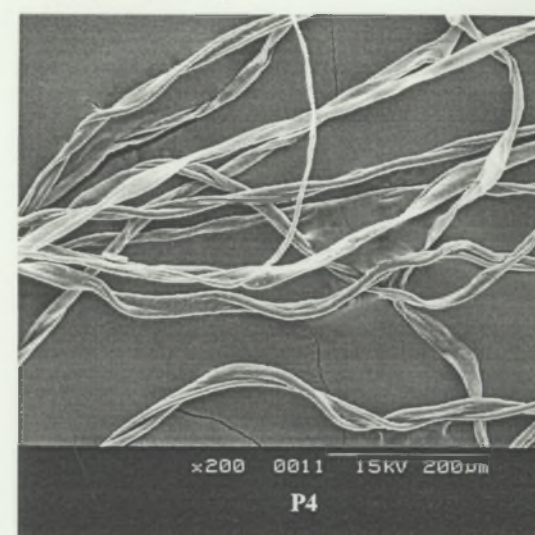
D3 : [0.90, 0.95[



N3 : [0.90, 0.95[



P4 : [0.90, 0.95[



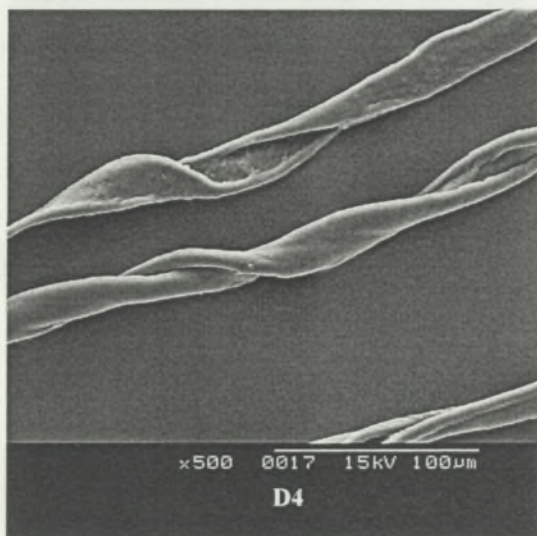
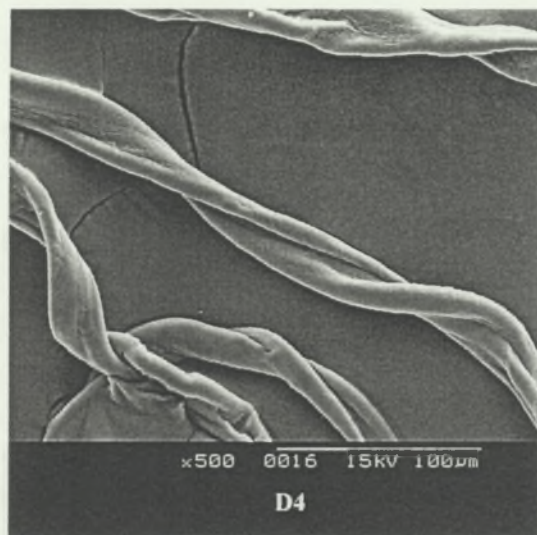
Images de microscopie électronique réalisées au LPMT à Mulhouse par  
J-Paul Gurlot , J-Yves Dréan et Patrick Caligaro

Variétés N, P, D réparties en trois classes de maturité de fibres sur la base de résultats AFIS.

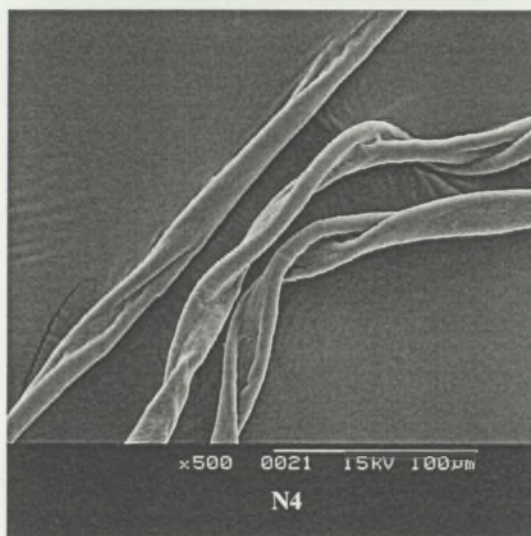
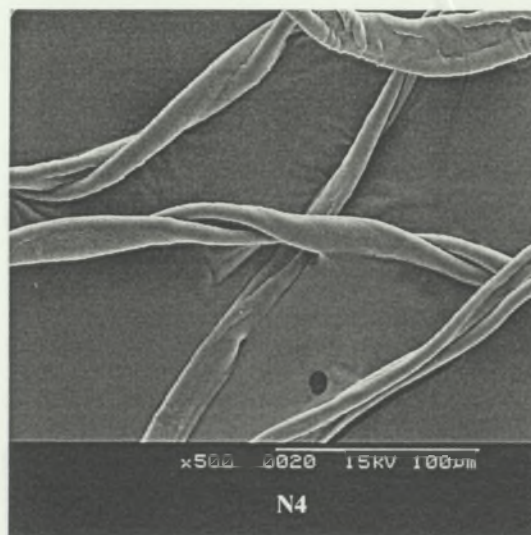
Grossissement 500 fois.



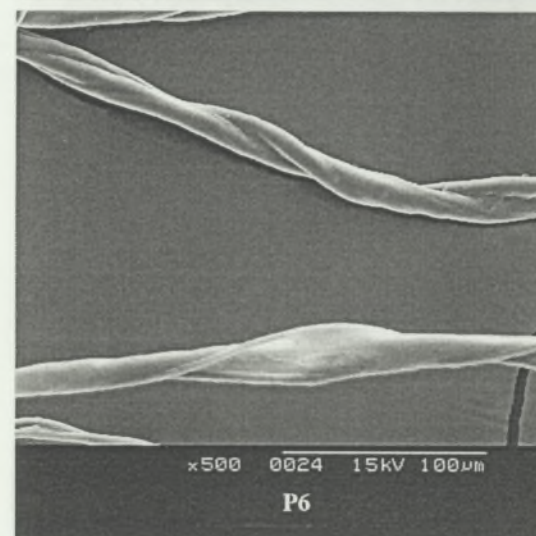
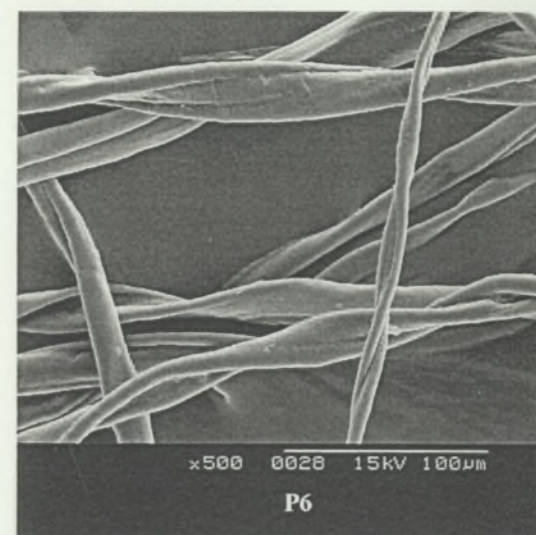
D4 : [0.80, 0.825[



N4 : [0.80, 0.825[

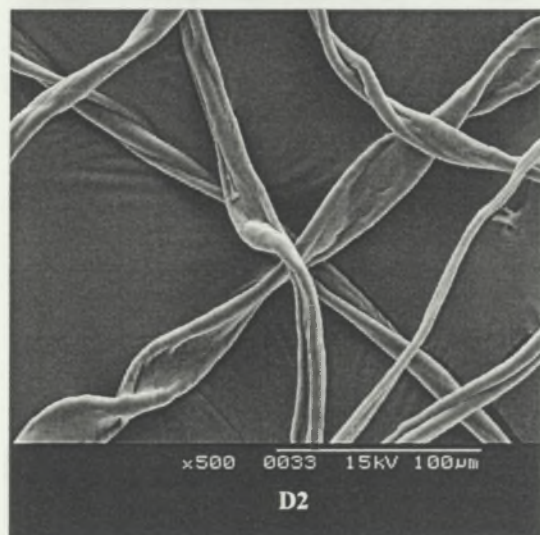
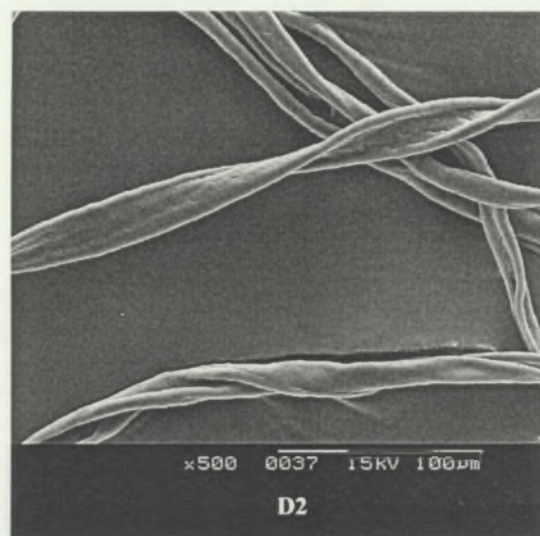


P6 : [0.80, 0.825[

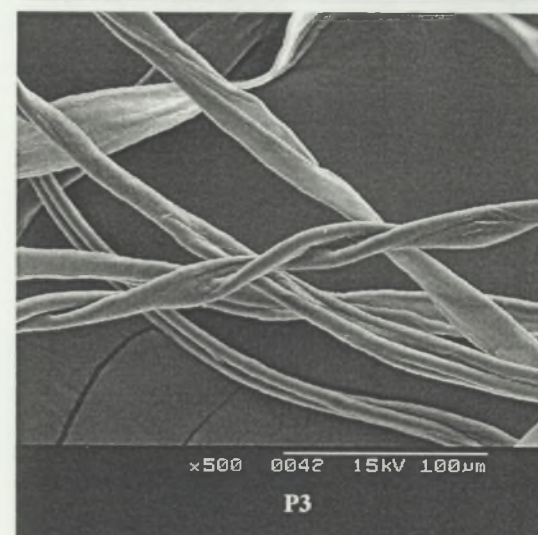
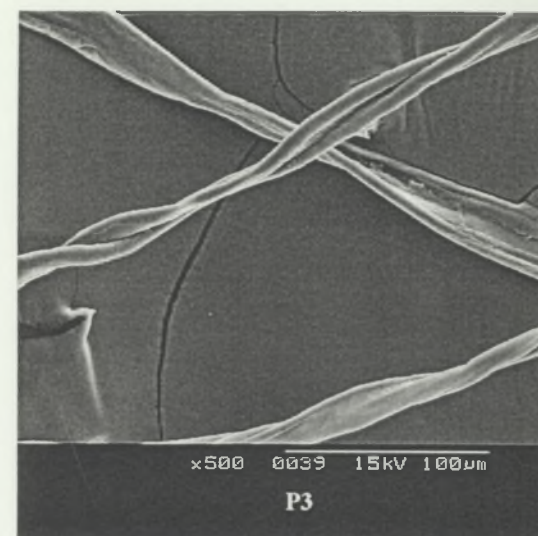




D2 : [0.85, 0.875[

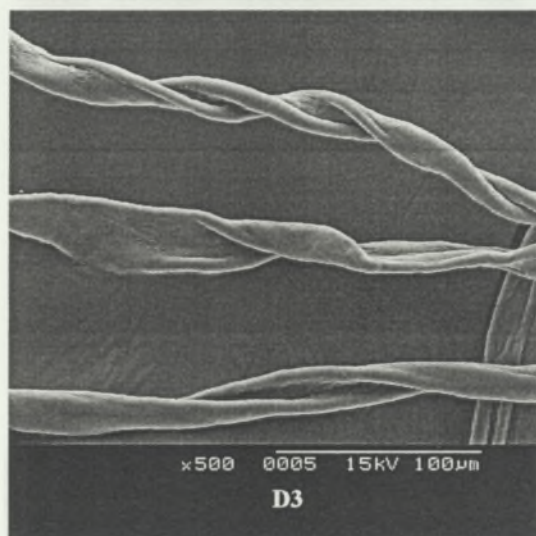
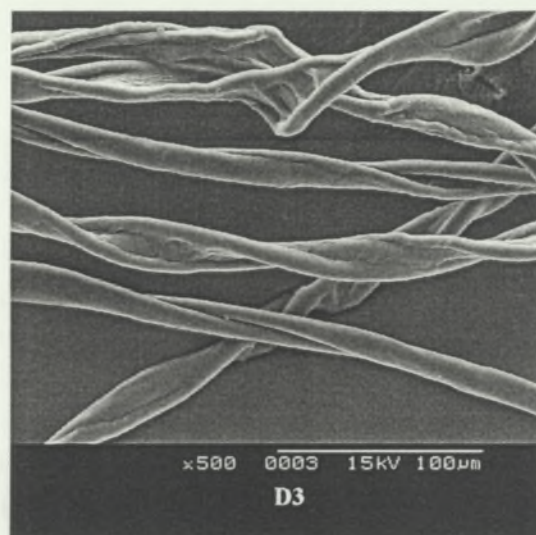


P3 : [0.85, 0.875[

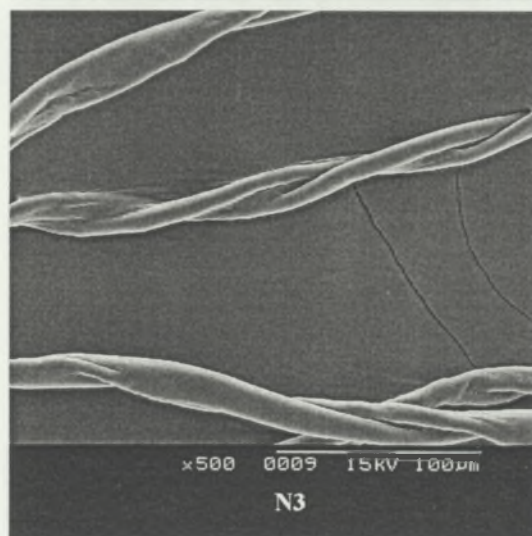
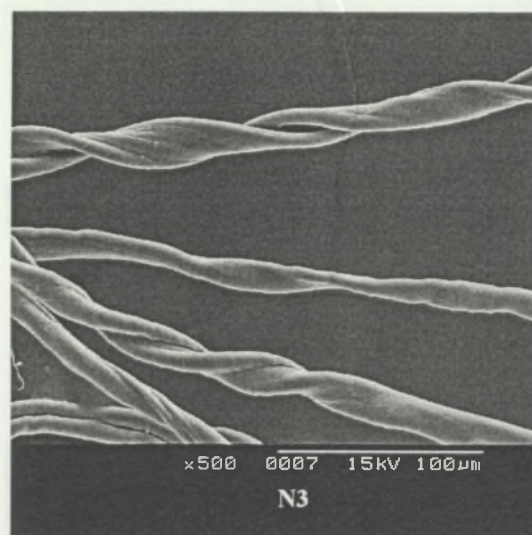




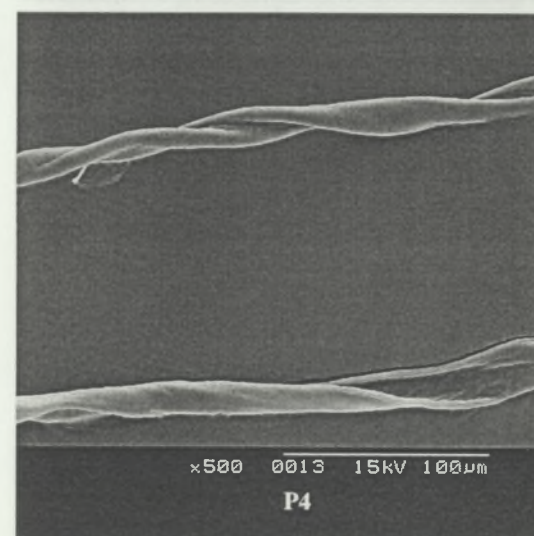
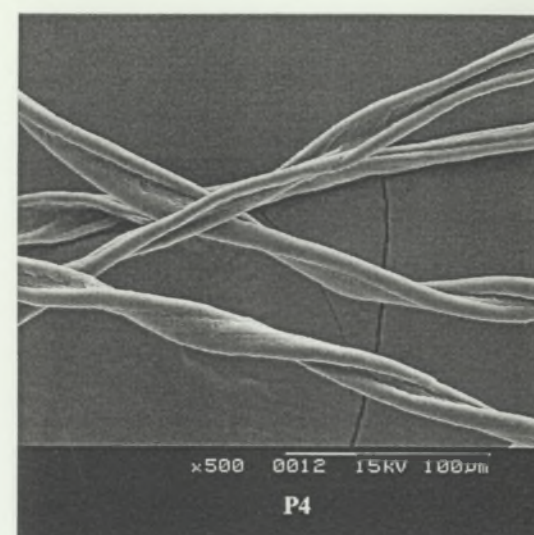
D3 : [0.90, 0.95[



N3 : [0.90, 0.95[



P4 : [0.90, 0.95[



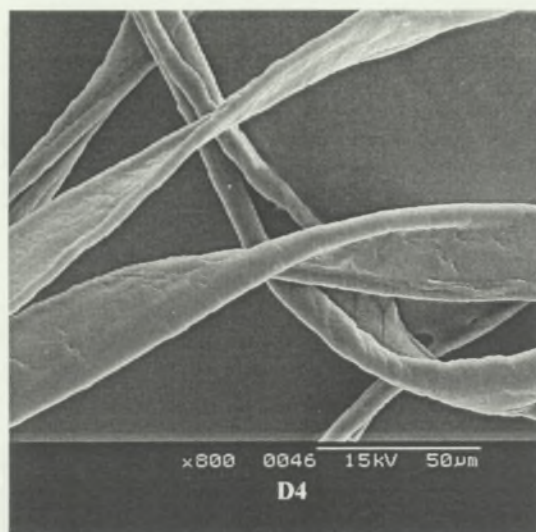
Images de microscopie électronique réalisées au LPMT à Mulhouse par  
J-Paul Gurlot , J-Yves Dréan et Patrick Caligaro

Variétés N, P, D réparties en trois classes de maturité de fibres sur la base de résultats AFIS.

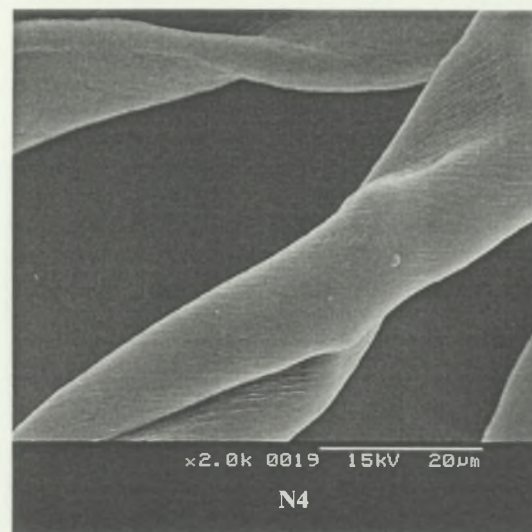
Autres grossissements : voir indication sur chaque image.



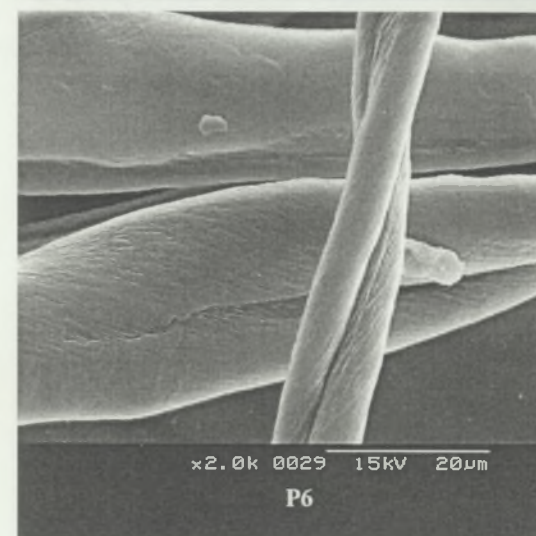
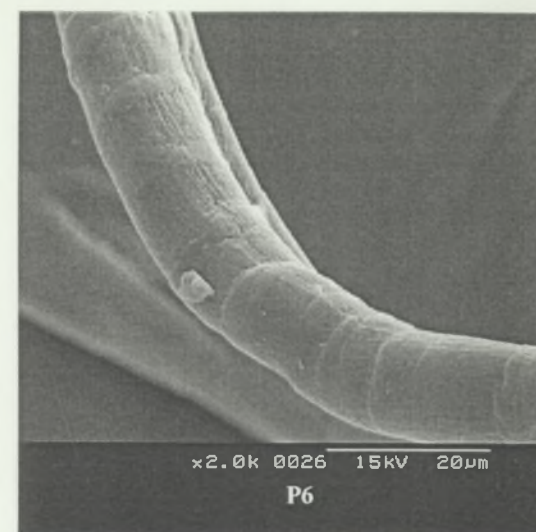
D4 : [0.80, 0.825[



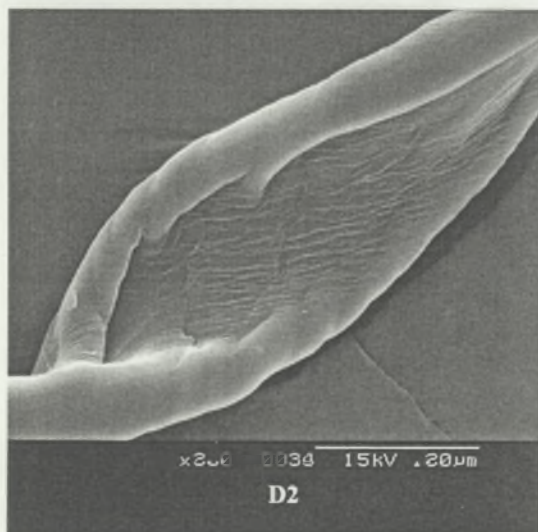
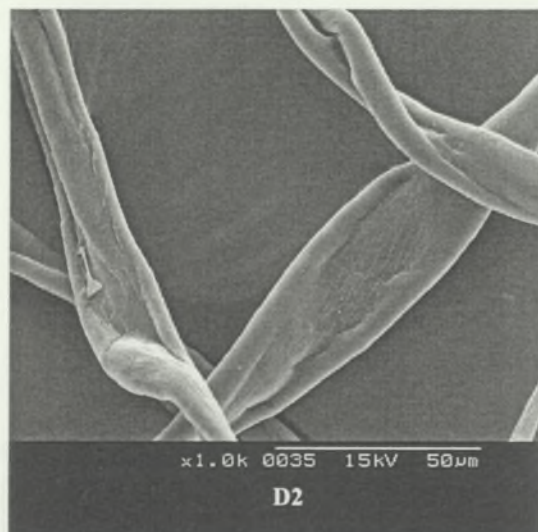
N4 : [0.80, 0.825[



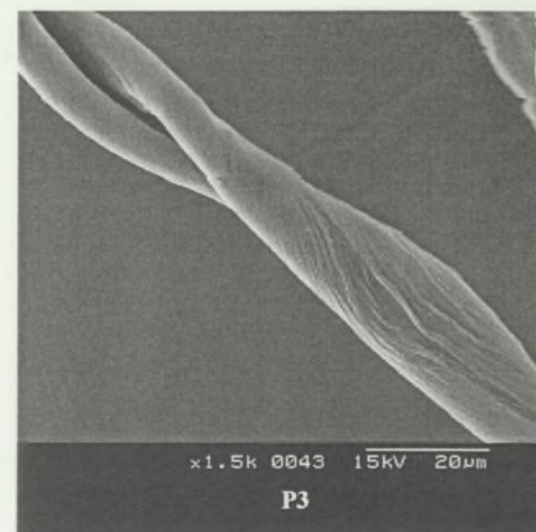
P6 : [0.80, 0.825[



D2 : [0.85, 0.875[

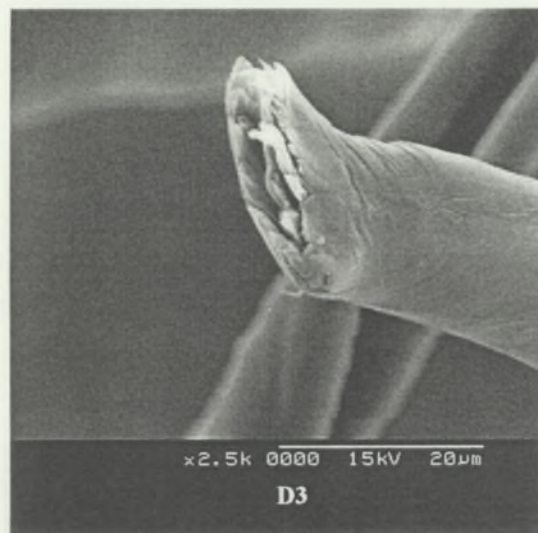


P3 : [0.85, 0.875[

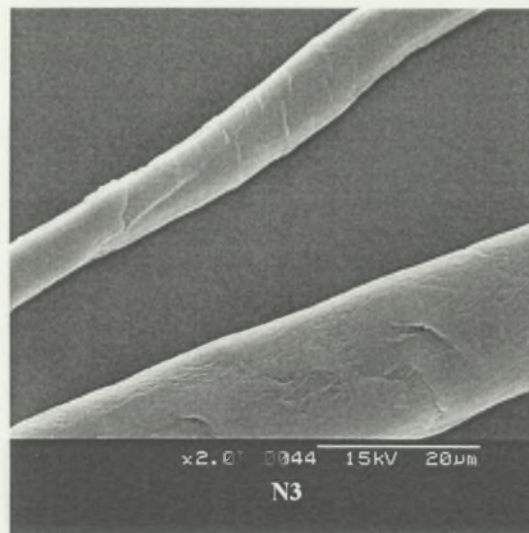




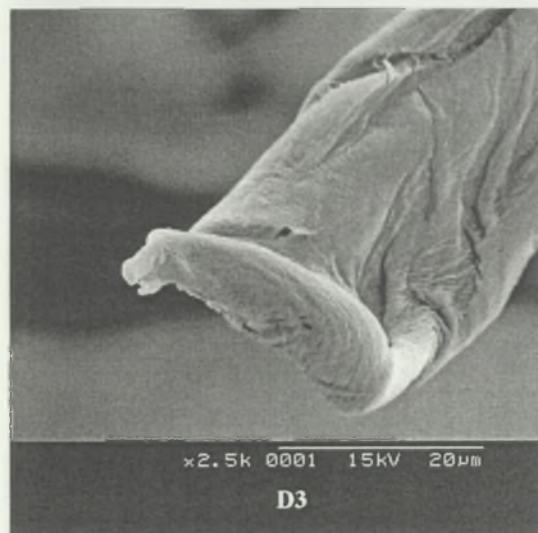
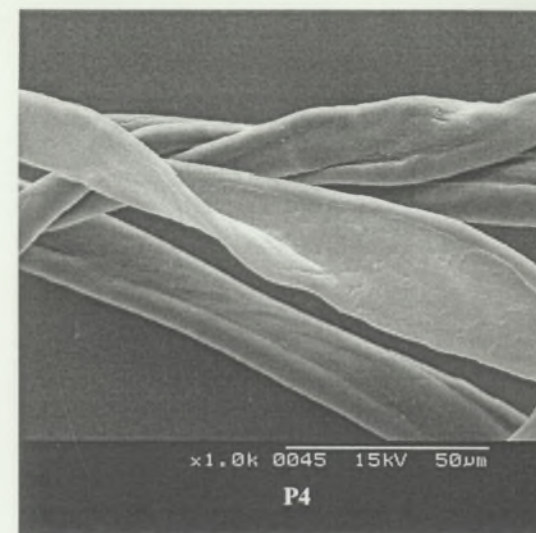
D3 : [0.90, 0.95[



N3 : [0.90, 0.95[



P4 : [0.90, 0.95[



*SARL: Mille et une Feuilles*

*112 Faubourg Rouennet - 34000 Montpellier*

*Tel : 04.67.02.17.79. Fax : 04.67.61.10.67.*

*Email*



**Effet des caractéristiques des fibres de coton sur la mesure de leur résistance de rupture. Contribution à l'étude de la qualité des mesures réalisées sur un instrument intégré de mesure High Volume Instrument (HVI).**

**Résumé :** Les fibres de coton occupent la première place des fibres textiles avec 20 millions de tonnes transformées annuellement. Leur prix de vente est fixé en relation avec leur qualité : celle-ci est évaluée traditionnellement ou par des techniques instrumentales comme les appareils de mesure *High Volume Instrument* qui connaissent un fort développement. Ils permettent la caractérisation d'une dizaine de critères technologiques, reflets des propriétés intrinsèques des fibres de coton.

Afin de fixer les règles de vente à la qualité, les professionnels ont normalisé les méthodes de mesures instrumentales des principaux paramètres. Des méthodes de mesures absolues et fondées sur des grandeurs physiques quantifiables sont dorénavant recherchées pour créer un référentiel absolu pour l'étalonnage des appareils HVI.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les biais des mesures de ténacité (résistance spécifique des forces de rupture sur masse linéique) réalisées sur HVI, liés aux autres propriétés des fibres, à leurs distributions statistiques et à leurs éventuelles interactions et combinaisons.

Les résultats de ce travail original indiquent que les méthodes de mesures des caractéristiques étudiées occasionnent notamment une erreur d'estimation des masses de fibres rompues lors du test de dynamométrie. L'importance de ce biais est à relativiser par rapport aux niveaux des autres erreurs et de la précision globale des mesures. Sans améliorations matérielles conséquentes, les installations HVI ne pourront pas devenir la méthode de référence pour la mesure de la ténacité sur la base de grandeurs physiques mesurables. Sur le plan scientifique, la mesure des propriétés intrinsèques majeures sur chaque fibre serait requise pour la compréhension des phénomènes observés.

Pour leur utilisation commerciale, les limites de confiance des résultats produits par les appareils HVI restent cependant acceptables.

Mots clés : coton, fibre, métrologie, caractérisation de la qualité, résistance et allongement de rupture, ténacité, *strength*, normalisation, longueur, maturité, finesse, couleur.

**The effect of cotton fiber characteristics on the measurement of their resistance to rupture. Contribution to the study of the quality of measurements made using High Volume Instruments (HVI).**

**Abstract :** Of all textile fibers, cotton is the market leader with about 20 million tons produced and processed annually. The sale price of the fiber is established on the basis of its quality which is evaluated either traditionally or by instrumental techniques as High Volume Instruments that are used increasingly frequently. These machines characterize about ten technological criteria that reflect the intrinsic properties of the cotton fiber.

In an effort to establish price/quality rules, industry organizations have standardized the instrumental methods used to measure the main fiber parameters. Absolute measurement methods based on quantifiable, physical parameters are now being sought to establish standard values for each characteristic in order to calibrate the HVI lines.

The aim of this thesis was to analyze the different types of bias in HVI measurements of fiber strength (specific resistance to rupture force / linear mass) related to other fiber properties, and assess their statistical distribution and any interactions or combinations.

The results of this novel study indicate that the methods used to measure the characteristics tested lead notably to an incorrect assessment of the ruptured fiber mass during the dynamometer test. The importance of this bias should be considered in the light of the magnitude of other errors and the overall precision of the measurements. Unless substantial improvements are made to the equipment, HVI lines will prove to be unsuitable as the reference method for the measurement of strength on the basis of measurable physical parameters. From a scientific standpoint, a measurement of the major intrinsic properties of each fiber would be required to gain a full understanding of the phenomena observed.

In commercial use, the confidence limits of the results produced by HVI lines nevertheless remain acceptable.

Key-words : cotton, fiber, metrology, quality characterization, break resistance and elongation, tenacity, *strength*, normalization, length, maturity, fineness, color.