

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

par

J. ROCH *

RÉSUMÉ

L'analyse des caractéristiques technologiques de la fibre de coton s'effectue au laboratoire dans des conditions précises de température et d'humidité relative de l'air. Il est mis en évidence dans cette étude l'influence prépondérante du facteur humidité sur le niveau des caractéristiques mesurées. Plusieurs conséquences pratiques découlent de ce fait : d'une part il est important de contrôler avec précision l'humidité relative de l'air, bien qu'il soit permis d'en laisser varier la valeur moyenne entre les limites de 63 à 67 %, d'autre part, l'utilisation des standards de correction est sans effet pour contrebalancer l'influence de l'humidité de l'air alors que leur emploi régulier reste nécessaire pour corriger les écarts dus aux conditions opératoires.

INTRODUCTION

Un laboratoire d'analyses technologiques est avant tout une salle conditionnée en température et humidité dans laquelle sont réalisées les analyses classiques des caractéristiques physiques de la fibre. Le coton étant, comme la plupart des textiles, une matière hygroscopique, sa teneur en humidité est fonction de la température et plus particulièrement de l'humidité relative de l'air ambiant. Après un certain temps, nécessaire à la mise en équilibre avec l'atmosphère environnante, la fibre acquiert une teneur en humidité bien déterminée.

La relation entre l'humidité de l'air et celle de la fibre de coton est bien connue. D'après W.H. HARTSHORNE, un coton exposé pendant quatre heures à une température de 21 °C, dans des conditions d'humidité relative variant de 15 à 100 %, voit sa teneur en humidité varier de 2,7 à 12,1 %. Sur la figure 1 sont représentées trois courbes d'équilibre hygroscopique de la fibre en fonction de l'humidité

relative de l'air, dont celle tirée des tables de HARTSHORNE (1), ainsi que deux autres d'origine différente (2) et (3). WOOD et WOLF (4) ainsi que MORRIS (5) ont montré que les conditions hygrométriques de l'air avaient une influence sur le niveau des caractéristiques technologiques de la fibre. Cette action se manifeste d'une façon indirecte car la cause réelle, selon GRIFFIN et HARREL (6), est la teneur en humidité de la fibre. ROLLINS (7) signale que la teneur en humidité a un effet considérable sur la résistance de la fibre qui augmente avec l'humidité relative de l'air mais cesserait de s'accroître au-delà de 60 % ; le même auteur écrit que la résistance, après immersion de la fibre dans l'eau, peut augmenter jusqu'à 20 % de sa valeur initiale. Au niveau d'humidité relative de l'air de 65 %, l'équilibre hygroscopique serait, selon WIEGERINK (8), de 8,5 %, valeur légèrement supérieure à celles données par les courbes de la figure 1. Le problème du conditionnement d'air est donc primordial et c'est pourquoi, dès la création des premiers laboratoires, les normes internationales ont fixé des niveaux de température et d'humidité relative de l'air à maintenir à l'inté-

* Ingénieur textile, technologiste à l'I.R.C.T., Station de Bouaké, Côte d'Ivoire.

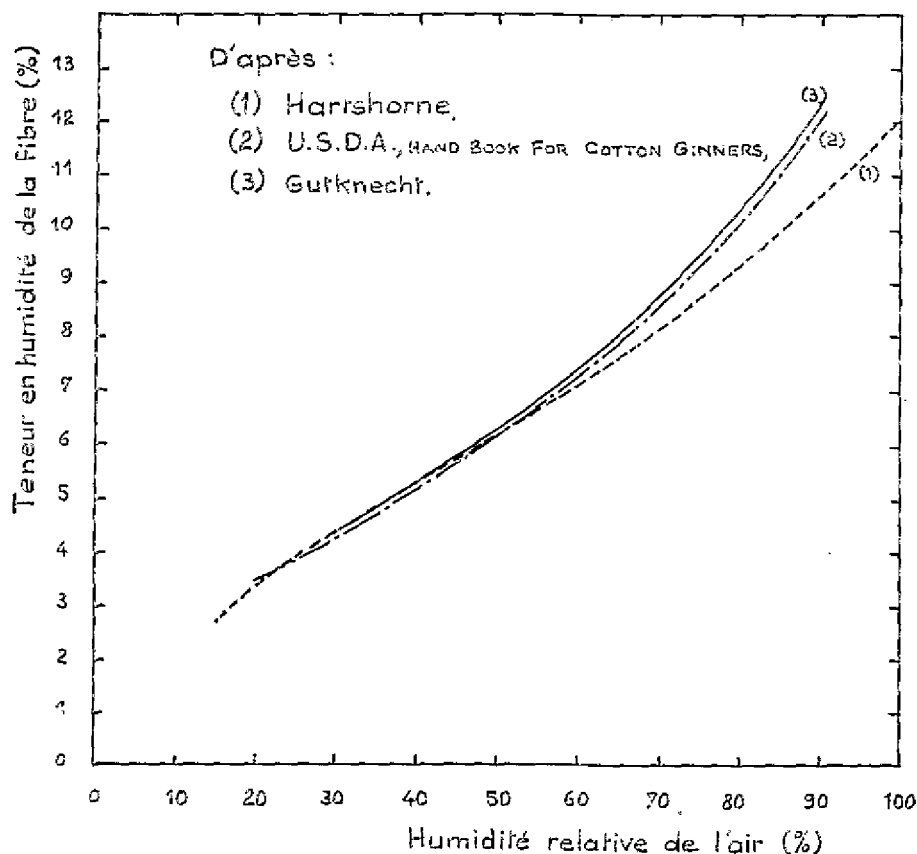


Fig. 1. — Equilibre hygroscopique de la fibre en fonction de l'humidité relative de l'air.

rieur des salles d'analyse. Les standards ont été établis à 21 °C (ou 70° Fahrenheit) $\pm 1^\circ$ et 65 % $\pm 2\%$ d'humidité relative (9).

La résolution du problème du conditionnement de l'air est affaire de technique et les solutions choisies peuvent être plus ou moins satisfaisantes car, s'il est relativement facile de climatiser un local, c'est-à-dire d'en rendre l'occupation confortable, il l'est beaucoup moins de le conditionner avec la précision requise. Le maintien du degré de température est chose aisée si l'on dispose d'une installation de puissance suffisante et des appareils de contrôle appropriés ; par contre, le maintien du niveau d'humidité de l'air est beaucoup plus difficile.

Cette étude a essentiellement pour objet de déterminer les limites entre lesquelles peuvent varier la température et surtout l'humidité relative moyenne d'un laboratoire, sans que le niveau des résultats des analyses en soit affecté. Nous avons, dans un premier temps, étudié l'influence combinée des variations de température et d'humidité puis, dans un

second temps, l'influence de l'humidité seule en maintenant constante la température à 21 °C ; nous avons ainsi fait varier l'humidité dans de très larges proportions afin de mettre en évidence, de façon très nette, son influence. L'étendue de la variation a volontairement été élargie dans le but de dégager des tendances qui, en restreignant les limites de la variabilité, ne seraient peut-être pas apparues catégoriquement. Nous avons ensuite établi les équations des courbes représentatives des fonctions théoriques liant certains caractères avec l'humidité ambiante, leur seul intérêt étant de rendre compte du phénomène. Ces courbes n'ont nullement pour objet de fournir un moyen de correction qui permettrait de travailler dans des conditions fortement éloignées de la normale, car il est bien évident que le conditionnement d'air est un impératif absolu pour le fonctionnement d'un laboratoire. Il nous restait cependant à montrer dans quelle mesure il est possible d'être tolérant vis-à-vis des standards internationaux, en bref si, les conditions pratiquement réalisables, sans avoir la rigueur des préconisations des normes, peuvent permettre d'effectuer un travail efficace et techniquement valable.

MÉTHODES

Conditions expérimentales

Pour atteindre le but poursuivi par l'expérimentation envisagée, nous avons choisi de faire varier l'humidité relative de l'air de 50 à 95 % en quatre paliers (50 - 65 - 80 - 95), avec une température maintenue au niveau standard de 21°C. Nous avons ensuite augmenté et fixé la température à 25°C (maximum supportable avec une forte hygrométrie), puis nous avons fait passer l'humidité de 65 à 95 % ; en raison des possibilités techniques de l'installation, il ne nous a pas été possible d'atteindre le niveau de 50 % à la température de 25°.

Le coton utilisé provenait d'un lot homogénéisé par passage en préparation de filature. De ce lot nous avons constitué 50 échantillons aussi identiques que possible qui, successivement, ont été analysés aux différentes conditions décrites ci-dessus après avoir subi, pendant 24 heures, un conditionnement préalable dans l'ambiance correspondante. Les caractéristiques technologiques suivantes ont été déter-

minées : longueur, uniformité de longueur, contrainte Pressley, ténacité stéломétrique et allongement à la rupture. En ce qui concerne les essais de résistance, ténacité et allongement, les résultats ont été corrigés par référence aux cotons standards habituellement utilisés, ces derniers ayant été placés dans les mêmes conditions que les échantillons en essai.

Méthodes statistiques utilisées

L'influence de la température et de l'humidité a été analysée dans une expérience factorielle à 2 niveaux de température et 2 niveaux d'humidité. Après avoir mis en évidence l'influence prépondérante de l'humidité de l'air, nous l'avons analysé (à température constante à 4 niveaux, suivant la méthode des blocs. Chaque fois qu'il était évident qu'une liaison existait entre l'augmentation de l'humidité et l'augmentation d'une caractéristique technologique, nous avons calculé la fonction théorique rendant compte de cette liaison.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Expérience factorielle avec température et humidité

Les résultats sont résumés dans le tableau 1. Les différences des moyennes, prises deux à deux, ne sont pas comparées à la plus petite différence significative, mais à un critère basé sur les tables d'étendue de STUDENT. On obtient ainsi une valeur D, égale au produit de l'écart-type (E.T.) par un facteur Q, dépendant du nombre de degrés de liberté de E.T. Ici, à P = 0,05, Q vaut 3,34.

L'humidité a une influence positive hautement significative sur la longueur ; la température n'intervient pas et il n'y a pas d'interaction (fig. 2).

L'ensemble des traitements n'a pas d'influence sur l'uniformité de longueur. L'analyse de la variance montre que seule l'humidité aurait une influence légèrement dépressive à la limite du seuil de signification à P = 0,05. Si on prend en considération la valeur D, qui est de 0,65 (%), on constate que les différences observées sont au maximum de 0,47 (%),

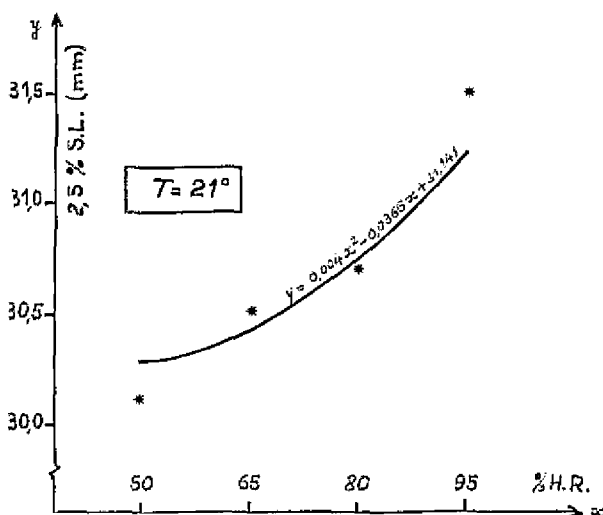


Fig. 2. — Influence de l'humidité sur la longueur.

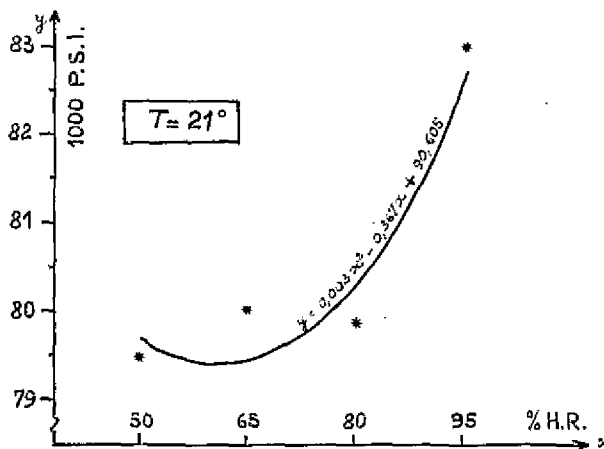


Fig. 3. — Influence de l'humidité sur la résistance.

Tableau 1. — Influence de la température et de l'humidité de l'air sur les caractéristiques de la fibre.

Caractère	Température	Humidité relative		Différence	D
		65 %	95 %		
Longueur 2,5 % S.L. (mm)	21°	30,51	31,52	- 1,01	0,20
	25°	30,46	31,43	- 0,97	
	Différence	+ 0,05	+ 0,09		
Uniformité de longueur (%)	21°	51,21	50,90	+ 0,31	0,65
	25°	51,24	51,07	+ 0,47	
	Différence	- 0,33	- 0,17		
Pressley (1 000 PSI)	21°	80,07	83,07	- 3,00	0,72
	25°	79,24	80,15	- 0,91	
	Différence	+ 0,83	+ 2,92		
Ténacité T_1 (g/tex)	21°	22,74	24,86	- 2,12	0,44
	25°	22,19	23,01	- 0,82	
	Différence	+ 0,55	+ 1,85		
Allongement E_1 (%)	21°	7,57	10,29	- 2,70	0,24
	25°	8,06	10,01	- 1,95	
	Différence	- 0,49	+ 0,28		

il subsiste donc un doute quant à l'influence réelle de l'humidité relative sur l'uniformité. En réalité, ceci peut s'expliquer assez facilement: l'uniformité, telle qu'elle est déterminée à partir des mesures obtenues au moyen du Fibrographe Digital, n'est en fait que le rapport de deux longueurs exprimé sous forme de pourcentage :

$$\text{U.R. (\%)} = (50,0\% \text{ S.L.} / 2,5\% \text{ S.L.}) \times 100$$

on peut donc logiquement supposer que, sous l'influence de l'humidité, les deux longueurs variant dans le même sens leur rapport reste inchangé.

L'humidité a une action positive hautement significative sur la résistance (fig. 3), la température ayant

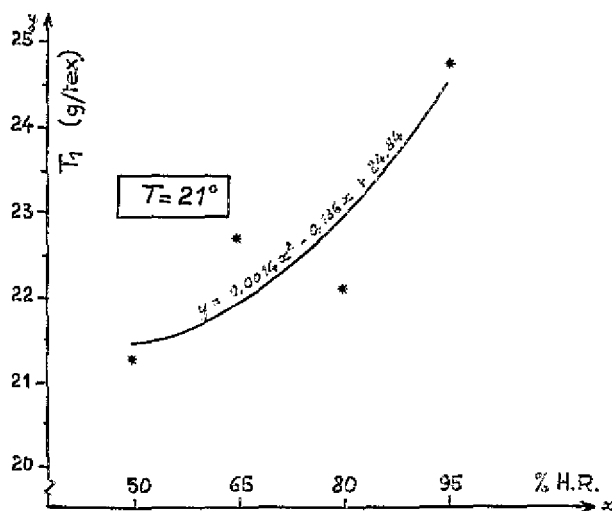


Fig 4. — Influence de l'humidité sur la ténacité.

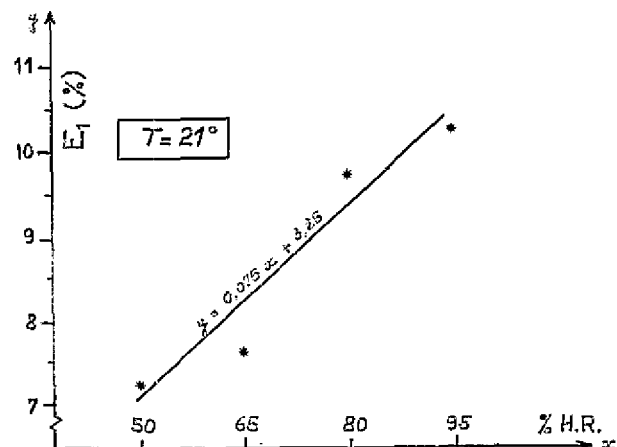


Fig. 5. — Influence de l'humidité sur l'allongement.

Tableau 2. — Variation des caractéristiques technologiques en fonction de l'humidité relative de l'air, à température constante (21°).

Caractéristiques	Humidité relative				d.s. à P = 0,01
	50 %	65 %	80 %	95 %	
Longueur (mm)	30,11	30,51	30,71	31,52	0,23
Uniformité (%)	50,86	51,21	51,13	51,03	n.s.
Pressley (1 000 PSI)	79,51	80,07	79,80	83,07	0,76
Ténacité (g/tex)	21,30	22,74	22,16	24,86	0,46
Allongement (%)	7,26	7,57	9,74	10,29	0,29

une influence négative. L'interaction qui est négative tend, lorsque la température augmente, à faire diminuer de façon très nette les écarts dus à l'humidité.

On retrouve le même phénomène en ce qui concerne la ténacité stérométrique : influence positive de l'humidité, négative de la température et interaction négative (fig. 4). Lorsque la température augmente, les écarts de ténacité, dus à l'augmentation d'humidité, diminuent considérablement.

L'allongement à la rupture augmente de façon significative avec l'humidité relative (fig. 5), la température restant sans effet par elle-même. Toutefois, il existe une interaction négative température/humidité qui se traduit par une différence moins importante entre les allongements à différents niveaux d'humidité, lorsque la température passe de 21 à 25°.

Influence de l'humidité relative de l'air à température constante

Les résultats précédents de l'analyse factorielle ayant mis en évidence une influence très marquée et prépondérante de l'humidité sur les différentes caractéristiques technologiques, nous avons recherché, plus en détail, comment cette action se manifestait à température constante lorsque l'humidité variait dans de très fortes proportions (de 50 à 95 %).

L'ensemble des résultats obtenus est donné dans

le tableau 2. On remarque une augmentation de la longueur consécutive à l'accroissement de l'humidité de l'air. Les écarts d'uniformité de longueur ne sont pas significatifs, vraisemblablement pour les raisons déjà exposées. La résistance Pressley, la ténacité et l'allongement à la rupture sont liés au pourcentage d'humidité relative de l'air et croissent avec lui.

Pour déterminer les fonctions théoriques qui régissent ces variations, nous avons décomposé les variances des traitements en leurs constituants : pente, courbure et écarts ; ensuite, nous avons fait des ajustements au deuxième degré, sauf dans le cas de l'allongement, pour lequel la courbure n'étant pas significative, nous avons calculé une relation linéaire. De cette façon nous avons obtenu les équations théoriques suivantes :

$$\text{Longueur (mm)} = 0,0004 (\text{HR})^2 - 0,0365 (\text{HR}) + 31,141 \quad (1);$$

$$\text{Pressley (1 000 PSI)} = 0,003 (\text{HR})^2 - 0,367 (\text{HR}) + 90,605 \quad (2);$$

$$\text{Ténacité (g/tex)} = 0,0014 (\text{HR})^2 - 0,136 (\text{HR}) + 24,84 \quad (3);$$

$$\text{Allongement (\%)} = 0,075 (\text{HR}) + 3,25 \quad (4).$$

Les courbes représentatives de ces fonctions sont données sur les figures 2, 3, 4 et 5, sur lesquelles sont également portées les valeurs expérimentales observées.

DISCUSSION

Il convient de souligner que les résultats qui ont été obtenus au cours de cet essai se rapportent à un seul type de coton ayant, par conséquent, des caractéristiques qui lui appartiennent en propre. Des résultats similaires auraient vraisemblablement été obtenus avec d'autres cotons mais, dans ce cas, les relations mathématiques auraient certainement été différentes, car il est bien évident qu'une caractéristique technologique ne peut être fonction uniquement d'une variable telle que l'humidité relative, en l'occurrence. Un échantillon de fibre a, par exemple, une

certaine longueur dont la valeur peut varier en fonction des conditions dans lesquelles elle est mesurée, mais cette longueur est avant toute chose une réalité physique, particulière à l'échantillon et, dans une certaine mesure seulement, dépendante en partie de causes extérieures. Il n'est donc pas possible de généraliser les résultats obtenus qui ne sont valables que dans le cas du coton que nous avons utilisé. Il serait, par contre, tentant de vouloir établir des courbes ou des tableaux de correction qui permettraient de travailler hors des conditions standards

habituelles. Dans un cadre très théorique, il serait sans doute concevable de calculer des familles de courbes qui, pour une valeur d'une caractéristique obtenue à un certain niveau d'humidité relative, permettraient d'en déduire la valeur ajustée au niveau standard de 65%. Une telle démarche ne serait, à notre avis, ni raisonnable ni souhaitable. Elle ne serait pas raisonnable car, se situant sur un plan par trop théorique, elle pourrait conduire à faire des estimations, sinon fausses, du moins assez éloignées de la réalité. Elle n'est pas souhaitable, car il n'existe pas de laboratoire, bien ou mal conditionné, qui travaille dans des conditions aussi extrêmes que celles que nous avons expérimentées. Le besoin de disposer de ce genre de courbes ou tables ne se fait donc pas sentir.

Conséquences pratiques pour le contrôle de l'humidité relative de l'air

Lorsqu'une installation de conditionnement d'air fonctionne de façon stable, on constate sur les diagrammes d'enregistrement de température et d'humidité que la courbe correspondant à l'humidité présente généralement une forme en dents de scie très rapprochées, c'est-à-dire à courte période (10 à 12 minutes). Ces variations, que nous qualifierons de « rapides », ne sont pas gênantes dans la mesure où leur amplitude n'est pas exagérée, pratiquement inférieures à plus ou moins 5% en valeur absolue, et dans la mesure où elles sont régulières. L'important est que la moyenne de ces oscillations rapides se situe au niveau de 65% d'humidité, autrement dit que le diagramme en dents de scie se maintienne centré de façon constante et régulière sur la valeur 65%. Dans la pratique, il arrive que cette valeur moyenne se déplace suivant une variation à longue période qui correspond en général aux cycles diurnes et nocturnes. Ces fluctuations se remarquent particulièrement lorsque les conditions extérieures sont très différentes de celles maintenues à l'intérieur du laboratoire; c'est le cas, en milieu tropical, pendant la saison des pluies ou en période de forte sécheresse. Ce phénomène, parfois difficilement contrôlable, peut-il être toléré? Dans quelle mesure peut-on accepter une légère dérive de l'humidité relative moyenne? C'est à ces questions, essentiellement pratiques, que nous avons tenté d'apporter une réponse.

Revenons aux équations des fonctions liant les caractéristiques du coton mis en essai avec l'hygrométrie de l'air du laboratoire. Supposons simplement

que l'humidité moyenne passe de 60 à 70%. A partir des équations 1 à 4 il est possible de calculer les valeurs théoriques que prendraient les caractéristiques de ce coton à ces deux niveaux d'humidité. Dans le tableau 3, nous donnons ces valeurs ainsi calculées. Leurs différences respectives et les différences significatives ($P = 0,05$) obtenues pour chacune d'elles au cours de l'expérimentation. Nous pouvons constater qu'une variation de l'humidité moyenne de 10% en valeur absolue, soit plus ou moins 5% par rapport au taux de 65%, entraîne des écarts importants pour un seul des caractères: l'allongement à la rupture. Cette caractéristique étant manifestement la plus sensible aux variations d'humidité, nous l'avons choisie pour calculer les limites tolérables. En admettant comme écart maximal admissible un écart au plus égal à la plus petite différence significative, nous retiendrions la valeur de 0,29, soit environ $\pm 0,15$. De l'équation (4) nous tirons la valeur théorique de l'allongement à 65%, soit 8,15. Si nous tolérons un écart maximal de 0,15 en plus ou en moins, nous pouvons calculer la valeur t de la tolérance en humidité correspondante:

$$8,15 + 0,15 = f(x + t)$$

d'où $t = 1,92$, soit pratiquement 2%. Nous pouvons donc admettre que l'humidité moyenne, partie centrale du diagramme d'enregistrement, puisse varier au maximum entre les limites 63 et 67% d'humidité relative.

A propos de l'utilisation des standards de correction

Les valeurs de résistance, ténacité et allongement, telles qu'elles sont déterminées au laboratoire sont normalement corrigées par référence avec des cotons standards; ces standards, de valeur connue, sont analysés en même temps que les échantillons. Ce type de correction est habituel et normalement pratiqué dans tous les laboratoires. Nous avons déjà précisé que les valeurs concernant ces différentes caractéristiques étaient, dans le cadre de cette expérimentation, des valeurs corrigées.

On peut constater que l'utilisation des standards n'a eu aucun effet pour compenser l'influence de l'humidité. Théoriquement, on peut penser que cette utilisation devrait avoir un effet correctif sur cette influence, or il n'en est rien, du moins dans les conditions de l'essai. Nous insistons bien sur le fait que nous n'avons testé qu'un seul type de coton, et

Tableau 3. — Valeurs théoriques des caractéristiques technologiques aux niveaux 60 et 70% d'humidité relative de l'air.

Caractéristiques	H.R. = 70 %	H.R. = 60 %	Différence	d.s. à P = 0,05
Longueur (mm)	30,54	30,39	0,156	0,23
Pressley 1 000 PSI	79,61	79,38	0,230	0,76
Ténacité (g/tex)	22,21	21,74	0,47	0,46
Allongement (%)	8,53	7,77	0,75	0,29

il n'est pas impossible que, dans les conditions extrêmes utilisées, des cotons d'un type différent eussent réagi d'une autre manière. Il n'en reste pas moins vrai que la correction par les standards sur le type de fibre utilisée a été inopérante face à l'influence de l'humidité relative. Il ne faut pas cependant en conclure hâtivement que l'utilisation des standards serait par conséquent inutile. En réalité, dans les limites de tolérance en humidité que nous avons indiquées, les standards jouent parfaitement leur rôle qui est de corriger les écarts dus aux opérateurs ou aux appareils. L'erreur qu'il ne fau-

drait pas commettre serait de s'imaginer que par l'utilisation des standards on pourrait pallier l'absence, ou la nette insuffisance, du conditionnement d'air. La correction jouerait peut-être pour certains cotons d'un type voisin de celui du standard, mais ne se ferait certainement pas pour d'autres; il est permis de supposer que les caractéristiques spécifiques à différents cotons (finesse, maturité, teneur en cires, etc.) font qu'ils ne se comportent probablement pas de la même façon vis-à-vis des variations de l'humidité relative de l'air.

CONCLUSIONS

L'influence de la température et de l'humidité relative de l'air sur le niveau des caractéristiques technologiques déterminées au laboratoire est très marquée. C'est essentiellement l'humidité relative qui joue un rôle prépondérant dans ce domaine. Il est donc primordial que le conditionnement d'air de la salle d'analyse soit assuré de façon efficace et bien contrôlée. On peut admettre, en ce qui concerne les variations d'humidité, de les tolérer dans la mesure où elles sont très régulières et bien centrées sur la valeur 65 %; leur amplitude totale ne doit pas dé-

passer 10 %. Considérant la valeur moyenne de cette variation, celle-ci peut éventuellement osciller, sur des périodes de 12 à 24 heures, entre 63 et 67 %, sans que cela nuise au travail du laboratoire.

Les standards, normalement utilisés pour corriger les résultats des essais dynamométriques (Pressley et Stéломètre), ne compensent pas l'influence des variations d'humidité. Leur utilisation reste cependant indispensable pour corriger les écarts dus aux conditions strictement opératoires.

BIBLIOGRAPHIE

1. HARTSHORNE, 1936. — Handbook of textile fibers.
2. U.S.D.A., 1964. — Handbook for cotton ginner. *Agricultural Handbook*, 260.
3. GUTKNECHT J., 1965. — I.R.C.T. Rapport de mission en Iran, non publié.
4. WOOD N.H. et A.F. WOLF, 1959. — Moisture content of cotton and fiber properties. *Z. Ges. Textilind.*, 61, 17.
5. MORRIS D.A., 1962. — Effects of temperature and relative humidity on fibre bundle strength measurements. *Emp. Cott. Grow. Rev.*, 39, 4.
6. GRIFFIN A.C. et E.A. HARRELL, 1957. — Effect of moisture added at lint slide on lint quality and bale weight in humid cotton growing areas. *U.S.D.A., Production Research Report*, 14.
7. ROLLINS Mary L., 1965. — The cotton fiber. *The American Cotton Handbook*, 1, 3, Interscience Publishers.
8. WIEGERINK J.G., 1940. — *Text. Res.*, 10, 357.
9. A.S.T.M., 1967. — Standard method of conditioning textiles and textile products for testing. Designation D 1776-67. *1971 Annual Book of ASTM Standards*, Part 23.

SUMMARY

The technological characters of cotton fibres are determined in the laboratory under precise temperature and relative humidity conditions. The present study reveals the preponderant influence of the humidity factor on the characters that are measured. Several practical consequences result from this:

a) *the importance of accurately controlling the rela-*

tive humidity of the air, even though its mean value may be allowed to vary between 63 and 67 % and,

b) *the application of correction standards has no effect on counter-balancing the influence of the humidity of the air, but their regular application remains necessary for correcting divergences due to operating conditions.*

RESUMEN

El análisis de las características tecnológicas de la fibra de algodón se efectúa en el laboratorio en condiciones precisas de temperatura y de humedad relativa del aire. Se pone de relieve en este estudio la influencia preponderante del factor humedad sobre el nivel de las características medidas. De este hecho se deducen varias consecuencias prácticas: por un lado, es importante controlar lo mejor posible la

humedad relativa del aire, se permite, sin embargo, una variación del valor medio entre los límites fijados entre 63 y 67 %; por otro lado, la utilización de standards de corrección carece de efecto para compensar la influencia de la humedad del aire; en cambio, el empleo regular de estos standards es necesario para corregir los desvíos debidos a las condiciones de los ensayos.