

Etude de l'influence du liage Jersey sur les capacités de sorption des fils en Coton pour deux Températures différentes.

Naoufel BHOURI^{1,2}; Aristide HOUNGAN¹; Patrick PERRE¹

¹LERMAB-UMR INRA 1093, ENGREF 14, rue Girardet, 54042 Nancy Cedex, France

²LESTE, ENIM Avenue IBN ELJAZZAR, 5019 Monastir, Tunisie

(nbhouri@nancy-engref.inra.fr)

Résumé – Ce papier présente une comparaison entre les cinétiques et les isothermes de sorption d'un tricot en coton de propriétés données avec celle des fils qui le composent pour étudier l'influence du liage géométrique sur les propriétés de sorption d'un fil. Cette étude utilise un dispositif expérimental conçu et réalisé au sein du LERMaB pour la mesure des courbes de sorption des matériaux poreux suivant la méthode gravimétrique en utilisant une balance à suspension magnétique de 0,01mg de précision. Les mesures effectuées à la température de 25 et 35°C ont montré une coïncidence, pour les faibles humidités, entre les isothermes de tricot et du fil. Pour les humidités élevées, le serrage géométrique des fils tricotés limite la capacité de sorption par rapport aux fils non contraints.

1. Introduction

Les phénomènes de sorption dans les milieux poreux sont connus de longue date. Ils concernent aussi bien l'industrie, le bâtiment que les matériaux textiles. Le cas d'un tissu vestimentaire se différencie du cas d'un volume (Balle) de matière textile par l'épaisseur fine qui joue le rôle d'une « interface active ». Cette interface crée une couche d'air qui confine un microclimat près du corps plus agréable que l'ambiance externe et qui aide à la sensation de confort.

Nous nous proposons, dans ce papier, d'étudier la forme générale des isothermes d'adsorption et de désorption d'un tricot jersey en coton, et de comparer ses cinétiques et ses isothermes à celles des fils qui le composent pour montrer l'influence du liage Jersey sur les capacités de sorption des fils en coton à deux températures différentes. Une comparaison entre les paramètres donnés par le modèle de GAB (Guggenheim, Anderson, Boer) et le modèle de BET (Brunauer, Emmet, Teller) des isothermes de sorption obtenues a été effectuée.

2. Présentation du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé (Figure1) a été conçu au LERMaB pour la mesure des cinétiques et des isothermes de sorption des matériaux poreux. Le principe se base sur des pesées régulières de l'échantillon introduit dans une chambre à conditions climatiques (température, humidité relative) contrôlées à l'aide d'une balance électronique à suspension magnétique de chez « Rubotherm » [3]. Cette balance permet d'effectuer des tarages réguliers en cours de mesure pour annuler les dérives sans toucher aux conditions expérimentales. Cet avantage favorise de longues acquisitions sans perte de précision (10^{-5} g).

Pour le réglage des conditions hydriques, deux débitmètres à contrôle électronique sont connectés à un générateur d'humidité, l'un des flux est composé d'air sec tandis que l'autre barbote dans l'eau à même température que celle de la chambre de mesure pour fournir de l'air saturé. Le mélange des deux fluides à des proportions choisies permet d'assurer les humidités désirées. L'écoulement offert par le système sera guidé par un tube isolé vers la chambre de mesure tout en obéissant au régime laminaire pour assurer la stabilité des mesures.

La température du système est contrôlée par un thermocryostat, offrant la possibilité de réguler l'eau circulante (pompe de débit maximal = 18l/mn) entre -25°C et 150°C. Une isolation thermique de la chambre de mesure et du générateur d'air humide à l'aide d'une couche en mousse de polyméthacrylate de méthyle et une couche en mousse de polyuréthane a été effectuée pour assurer une stabilité thermique de $\pm 0,02^\circ\text{C}$.

Un capteur Honeywell « 3602 C » est utilisé pour la mesure de la température et de l'humidité relative à l'intérieur de la chambre de mesure et un thermocouple type J pour le contrôle des conditions ambiantes. L'ensemble est commandé par un PC pour la synchronisation entre les différents éléments et l'enregistrement réguliers des relevés.

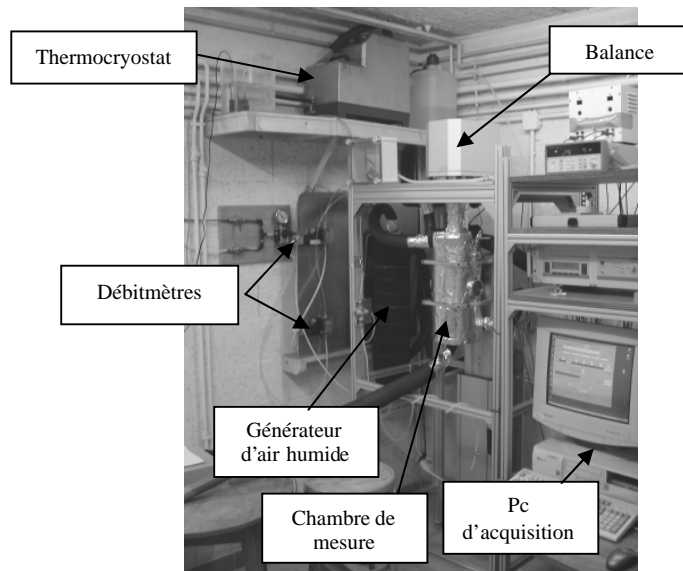


Figure1 : Représentation générale du dispositif expérimental

3. Préparation des échantillons

Les conditions climatiques (température, humidité relative) de la chambre de mesure ont été réglées selon le protocole de la figure 2. En effet, nous avons fixé au départ la température à 25°C (proche de la température ambiante) et nous avons varié les débits de l'air humide et de l'air sec pour décrire toute la plage d'humidité relative allant de 3% à 95%. Vu la rapidité de la réponse de sorption des échantillons en coton, nous avons choisi une durée de 6h pour chaque palier.

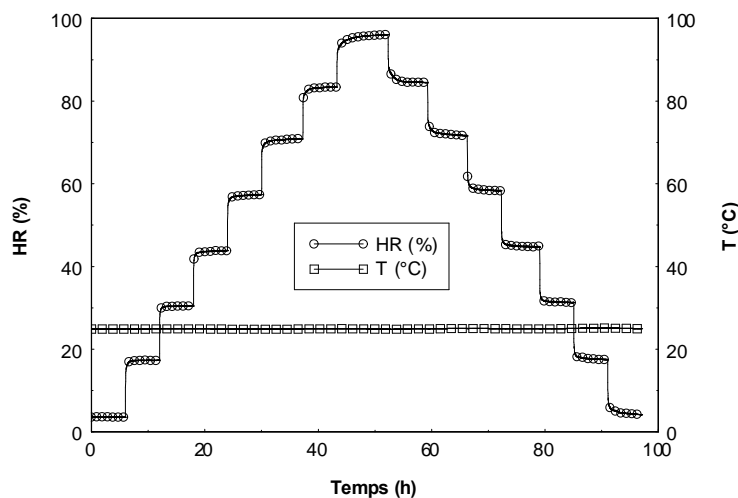


Figure2 : Évolution de l'humidité relative et de la température en fonction du temps durant un cycle de mesure des cinétiques de sorption

Nous avons appliqué ce protocole pour les échantillons de tricot jersey dont les propriétés sont représentées dans le tableau 1 et sur les fils effilochés qui constituent ce tricot. Les mesures sont répétées à la température de 35°C rapprochant celle de la température cutanée de l'être humain.

Liage	Nm fil	Densité de maille par rangée	Densité de maille par colonne	Grammage	Epaisseur
Jersey	42	13mailles/cm	20mailles/cm	166,67g/m ²	0,5975mm

Tableau1 : Propriétés métrologiques du tricot Jersey

4. Résultats et interprétations

4.1. Les cinétiques de sorption

Nous avons appliqué le protocole de la figure 2 sur des échantillons en tricot jersey pour la température de 25°C et pour la température de 35°C. Ensuite nous avons refait les mêmes mesures aux fils défilés du tricot. Nous avons enregistré la masse chaque 30 secondes. La teneur en eau (Te) est calculée selon l'équation (1) :

$$Te(\%) = \frac{M(t) - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Avec M (t) : la masse de l'échantillon acquise chaque 30s

Ms : la masse sèche obtenue de l'échantillon après un étuvage à la température de 105°C.

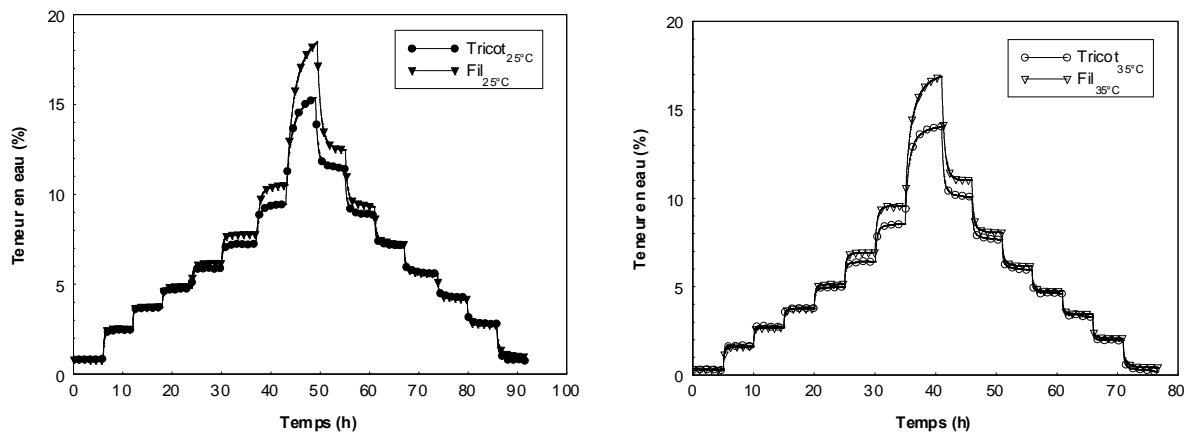


Figure3 : Évolution de la teneur en eau d'un tricot et d'un fil en fonction du temps durant un cycle de mesure à T=25°C (gauche) et à T=35°C (droite)

La figure 3 présente l'évolution de la teneur en eau du tricot et du fil le long d'un cycle d'adsorption et de désorption pour les températures de 25 et de 35°C. Elle montre la rapidité des échantillons à atteindre leur état d'équilibre pour les faibles humidités et la difficulté à atteindre cette stabilité pour les plus hautes humidités. En fait, pour des humidités relatives de l'air inférieure à 75%, les échantillons atteignent leur équilibre après une heure de stabilité hydrique. Par contre, ils ne trouvent pas l'équilibre après 6h de stabilité pour des HR>90%. Ceci s'explique par le fait qu'aux hautes humidités relatives, les molécules d'eau adsorbées vont causer un encombrement stérique au niveau de la surface du matériau, ce qui entraîne une mobilité des chaînes moléculaires pour créer des nouveaux sites de sorption d'où le retard de l'équilibre hydrique.

4.2. Les isothermes de sorption

Nous avons calculé la moyenne des teneurs en eau à l'équilibre pour chaque humidité du cycle d'adsorption et de désorption et nous les avons représenté sur la figure 4 pour obtenir respectivement les isothermes d'adsorption et de désorption.

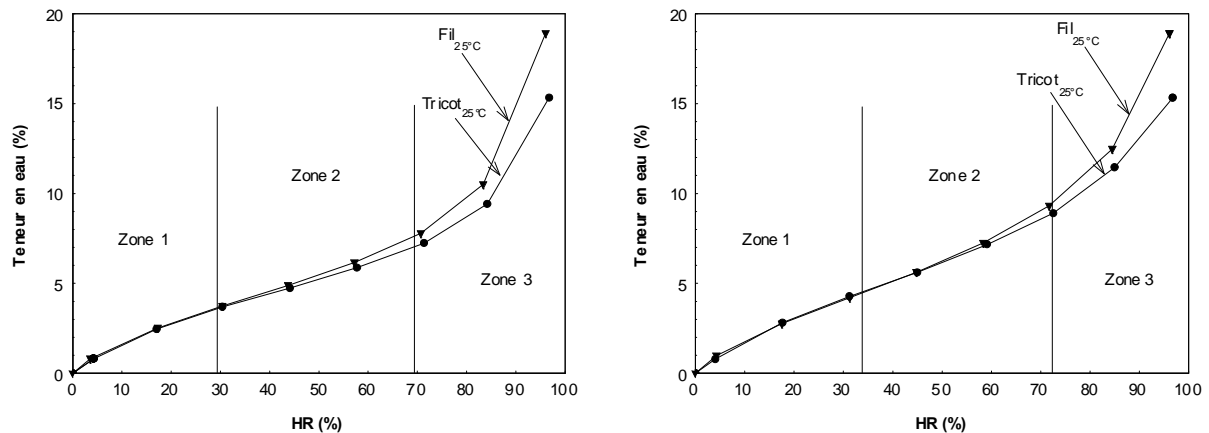


Figure4 : L'isotherme d'adsorption (gauche) et l'isotherme de désorption (droite) d'un tricot et du fil à T=25°C

La figure 4 présente l'isotherme d'adsorption et de désorption d'un tricot jersey en coton et celui du fil qui le compose à la température de 25°C. Elle montre l'aspect général de l'isotherme qui se présente sous forme de « S » marqué par la présence de deux points d'inflexion qui limitent trois zones dépendantes du type de liaison de l'eau avec la matière. En effet, les molécules d'eau adsorbées se fixent sur les groupements hydroxyles de la cellulose pour former la monocouche, c'est la zone 1 de sorption ; lorsque la monocouche est saturée, les molécules d'eau se superposent pour former des couches d'eau empilées c'est ce qui est appelée adsorption multicouche (zone 2). Au fur et à mesure que la pression partielle de vapeur d'eau augmente les multicouches au niveau des micropores se rejoignent pour former l'eau capillaire (zone 3).

Une comparaison entre les isothermes d'adsorption et de désorption du fil et du tricot pour la température de 25°C (figure4) montre que les deux courbes coïncident pour les faibles humidités ce qui explique que la formation de la monocouche et des multicouches dans le tricot et le fil de même propriétés physiques se fassent d'une manière identique. A partir du début de la zone 3, l'isotherme de sorption du fil décolle du celle du tricot, ce qui prouve que la quantité d'eau adsorbée par le fil dépasse celle retenue par le tricot dans les mêmes conditions hygrothermiques. Cette différence est expliquée par l'effet du liage sur les capacités de sorption des fils. En effet, la pénétration de l'eau dans la structure du matériau provoquera son gonflement. Lorsque le fil est entrelacé dans un maillage jersey, il présente une certaine aisance à s'auto-déformer. Cette aisance sera réduite en fonction du gonflement des fils pour atteindre le serrage au début de la zone 3 où les fils commencent à se toucher et la quantité de vapeur d'eau adsorbée sera limitée par le serrage du liage. Lorsque l'humidité relative baisse, les fils vont se rétrécir et le liage commence à se desserrer et l'aisance des fils dans le liage reprendra sa position initiale, dès la disparition de l'eau capillaire.

4.3. Le lissage des isothermes d'adsorption et de désorption

Plusieurs modèles sont utilisés pour le lissage des isothermes de sorption, parmi lesquels nous notons ceux qui s'intéressent par la modélisation d'une partie de la courbe tel que le modèle de BET (zone 1, zone 2), le modèle Langmuir (zone 1), et ceux qui s'intéressent par la totalité de la courbe tels que les modèles de GAB et d'Oswin [1]. Nous proposons ci-dessous d'utiliser le modèle de GAB et celui de BET pour le lissage des isothermes d'adsorption et de

désorption du Tricot Jersey et du fil qui le compose pour identifier leurs paramètres physiques. Le tableau 2 présente les équations paramétrées de chacun des modèles étudiés.

Modèles	Paramètres	Equations
GAB	X_0 C K	$X = \frac{X_0 HrCK}{(1 - HrK)(1 + (C - 1)K Hr)}$
BET	ZONE 1 X_0 C	$X = \frac{X_0 HrC}{(1 - Hr)(1 + (C - 1)Hr)}$
	ZONE 2 X_0 C n	$X = X_0 \frac{CHr}{1 - Hr} \frac{1 - (n + 1)Hr^n + nHr^{n+1}}{1 + (C - 1)Hr - CHr^{n+1}}$

Tableau2 : Présentation des modèles étudiés.

Avec X_0 : La teneur en eau de la mono couche (transition entre zone 1 et zone 2) ($kg.kg^{-1}$).
 C : Constante liée à la chaleur de sorption de la mono couche.
 K : Constante liée à la chaleur de sorption de la multicouche.
 n : Nombre de couche moyenne.

Pour la détermination des paramètres X_0 , C , K , n les mieux représentatifs de nos courbes expérimentaux, nous avons utilisé un algorithme d'identification permettant de minimiser la fonction de l'équation (2) en utilisant la méthode de simplex [4].

$$f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{imes} - X_{ical})^2}{n_p}} \quad (2)$$

Avec X_{imes} : La teneur en eau mesurée expérimentalement.
 X_{ical} : La teneur en eau calculée par le modèle de GAB ou de BET.
 n_p : Le nombre des points expérimentaux.

Le coefficient de corrélation R^2 et les paramètres de GAB et de BET pour le cas du tricot et du fil en adsorption et désorption pour les températures 25 et 35°C sont consignés dans le Tableau 3.

Modèles	Paramètres	Adsorption				Désorption			
		Fil		Tricot		Fil		Tricot	
		25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C
GAB	X_0 (%)	3,1122	3,0043	3,1855	2,9848	4,1358	3,6925	4,7499	3,8852
	C	14,9442	5,7796	13,5781	6,3573	8,8530	6,7260	7,3881	5,7443
	K	0,8706	0,8872	0,8198	0,8461	0,8189	0,8456	0,6686	0,7862
	R^2	0,9987	0,9996	0,9982	0,9990	0,9997	0,9997	0,9999	0,9993
Zone 1	X_0 (%)	3,1637	2,8868	3,0864	2,9485	3,5890	3,4266	3,6427	3,4049
	C	9,3861	4,5782	9,0645	4,2591	8,2853	5,4230	7,7318	4,5243
	R^2	0,9996	0,9993	0,998	0,9971	0,9998	0,9992	0,9987	0,9967
BET	X_0 (%)	3,0611	2,4655	2,9827	2,4476	3,4238	2,9980	3,4505	2,8785
	C	12,8592	12,8587	12,8721	12,8942	12,8549	12,8566	12,8838	12,8447
	n	6,35	10,12	5,65	7,65	7,18	7,76	6,21	7,07
	R^2	0,9995	0,9996	0,9994	0,9999	0,9998	0,9998	0,9998	0,9994

Tableau3 : Les paramètres estimés du modèle de GAB et du modèle de BET.

L'ajustement des points expérimentaux obtenus en adsorption et en désorption à la température de 25 et 35°C pour le fil et le tricot par les modèles de GAB et de BET est statistiquement satisfaisant ($R^2 \approx 0,99$).

Nous constatons que la teneur en eau de la monocouche (X_0) pour le tricot et le fil à la même température décrite par le modèle de GAB et de BET sont pratiquement égaux ce qui explique la coïncidence entre leurs isothermes d'adsorption et de désorption pendant la zone transitoire 1-2 entre la mono et la multicouche.

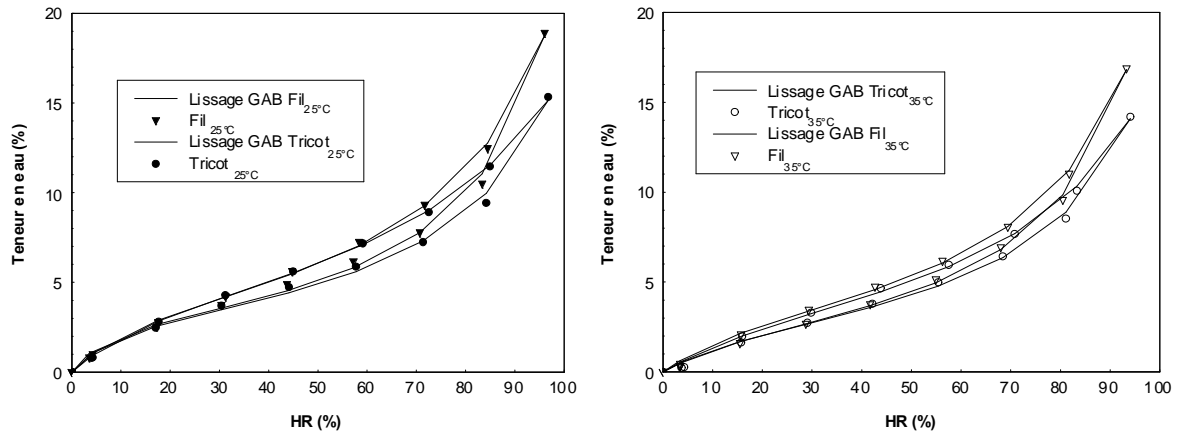


Figure 5 : Les isothermes d'adsorption et les isothermes de désorption obtenues par le modèle de GAB et les points expérimentaux du Fil et du Tricot pour la température de 25°C et de 35°C.

Une différence entre les isothermes d'adsorption et de désorption pour le cas du tricot et du fil aux deux températures étudiées (figure 5) met en évidence une hystérésis de sorption due à la modification morphologique causée par l'inélasticité de leurs déformations hydriques (gonflement/rétrécissement). L'augmentation de la température, pour une humidité relative donnée, entraîne une diminution de la teneur en eau à l'équilibre. Ceci se justifie par la réduction des sites actifs de sorption de l'eau liée résultant à un changement physicochimique de la structure des fibres de coton qui constituent le matériau [2]. Ce qui explique également la réduction de la teneur en eau de la monocouche (X_0) en fonction de la température (Tableau 3).

5. Conclusion

Les courbes d'adsorption et de désorption d'un tricot jersey en coton et du fil qui le compose ont été déterminées expérimentalement pour la température de 25°C et 35°C à l'aide d'un dispositif se basant sur la méthode gravimétrique conçu et réalisé au LERMaB. Ces résultats nous ont montré que les isothermes de sorption du fil et du tricot présentent la même allure délimitant trois zones en fonction du type de fixation de l'eau avec la matière, et que le serrage géométrique des fils en coton limite la capacité d'adsorption d'une manière réversible. Une comparaison entre les paramètres donnés par le modèle de GAB et le modèle de BET des isothermes de sorption obtenues a été effectuée.

Références bibliographiques

- [1] Y. Jannot, A. Kanmogne, A. Talla, L. Monkam, Experimental Determination and Modelling of Water Desorption Isotherms of Tropical Woods: Afzelia, Ebony, Iroko, Moabi and Obeche, *Holz als Roh und Werkstoff*, Volume 64, (2006), 121-124.
- [2] L. Fan, M. Zhang, Q. Tao and G. Xiao, Sorption Isotherms of Vacuum fried Carrot Chips, *Drying Technology*, Volume 23, Number 7, (2005), 1569-1579.
- [3] F. Dreisbach, H. Lösch, Magnetic Suspension Balance for Simultaneous Measurement of a Sample and the Density of the Measuring Fluid, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Volume 62, Number 2 (7), (2000), 515-521.
- [4] J.A. Nelder, R. Mead, A Simplex Method for Function Minimization, *Computer Journal*, Volume 7, (1965), 308-313.