

ETUDE CINÉTIQUE DU SÉCHAGE DU CUIR PAR L'AIR CHAUD

N.BEN MAKHLOUF¹;S.AZZOUZ¹;A.TOUMI²;N.KECHAOU³;N.ABDENOURI⁴ :A.ELCAFSI¹

¹ Laboratoire d'énergétique et des transferts thermique et massique, FST Tunis,

²Centre National de Cuir et de Chaussure-Tunis, ³ ENIS-Sfax, ⁴ FST-Marrakech

benmakhlouf.naima@yahoo.fr

Résumé : Le cuir est produit de grande importance économique et industrielle et compte parmi les produits les plus chers dans le monde. L'objectif de ce travail, qui entre dans le cadre d'un projet de coopération tuniso-marocaine recherche scientifique et technologie intitulé « Évaluation et modélisation du comportement mécanique et contrôle de la qualité du cuir au cours des opérations de séchage », consiste à déterminer les cinétiques de séchage convectif du cuir, les isothermes de sorption, la masse volumique ainsi que les propriétés mécaniques du produit séché. Les cinétiques de séchage ont été réalisées à l'aide d'une soufflerie climatique dont les paramètres de séchage sont contrôlés sur des échantillons de cuir sous différentes conditions de séchage. Les isothermes de désorption ont été déterminées à différentes températures en utilisant la méthode gravimétrique statique basée sur les solutions salines saturées. Les courbes sont de type II et bien lissées par le modèle de GAB. L'effet des conditions de séchage sur les propriétés mécaniques a été interprété à travers des tests mécaniques à savoir : la traction, la déchirure et l'arrachement.

Introduction : Le cuir est un produit d'origine animale d'une grande importance économique et industrielle. Il est généralement reconnu que, dans un procédé industriel, l'étape de séchage est la plus consommatrice d'énergie, ce processus intervient à plusieurs reprises dans les opérations de tannage de la peau. Le séchage du cuir dure environ 12 heures à l'air libre à l'échelle industrielle. Cette durée peut être réduite à 2 heures sous un flux d'air chaud. Le processus de séchage du cuir a été abordé des chercheurs, nous citons D.S. Roosevelt et al (2000), J. Monzo Cabrera (2000-2001), K. Haghi Akbar (2004), Aleksandra Sander(2006), N. Kechaou et N. Abdenouri (2008). La première partie de ce travail sera consacrée à la détermination des propriétés thermo-physiques du produit étudié et la seconde partie consiste à réaliser les cinétiques de séchage par convection du cuir de bovin provenant de la Tannerie Mégisserie du Maghreb (TMM) à Grombalia, ainsi que les résultats des analyses physico-mécaniques produit étudié qui sont effectuées au sein du laboratoire du Centre National de Cuir et de Chaussures (CNCC) à Megrine.

1. Propriétés hydriques du cuir

L'isotherme de sorption lie la teneur d'équilibre en eau du solide à la teneur en humidité de l'environnement, à une température donnée. Elle est caractéristique des nombreuses interactions qui ont lieu à l'échelle microscopique entre le squelette solide et les molécules d'eau. Cette courbe permet donc de décrire le comportement hygroscopique du solide. Les isothermes de sorption permettent de déterminer la répartition et l'intensité de liaison de l'eau et de déterminer la teneur en eau minimum que l'on peut atteindre en fin de séchage.

Les isothermes de désorption (figure 1), ont été déterminées à différentes températures de 30 à 80°C, en utilisant la méthode gravimétrique statique. Pour chaque isotherme, nous avons utilisé neuf échantillons coupés en disque de même masse initiale environ 1,5 g et de même dimension 2 mm. Les échantillons de cuir, sont suspendus par des nacelles métalliques aux couvercles de neuf bouches, remplis par les différentes solutions salines. Ces isothermes présentent une allure sigmoïdale, similaire à celles présentées communément par la majorité des produits, Ils sont de type II, selon la classification de Brunauer (1938). Cette observation pourrait être expliquée par l'augmentation de la chaleur de sorption (énergie de liaison de l'eau élevée). Pour le lissage des courbes on se contente d'utiliser le modèle de GAB. Le modèle de GAB permet aussi de déterminer la chaleur de sorption de la couche mono-moléculaire et de la multicouche, dont l'expression générale est la suivante :

$$X = \frac{X_m CKA_w}{(1 - KA_w)(1 - KA_w + CKA_w)}$$

Ces courbes montrent que la teneur en eau à l'équilibre augmente quand la température diminue. À 30°C la teneur en eau d'équilibre est 0,18 kg/kgMS par contre à 80°C est 0,04 kg/kgMS.

La masse volumique intervient dans le calcul de différentes caractéristiques du matériau. La détermination de son évolution est donc essentielle. Au cours du séchage, la masse volumique d'un matériau rigide a tendance à diminuer à cause des pertes en eau. Cependant, dans le cas du matériau rétractable, la masse volumique a tendance à augmenter si la densité du solide est supérieure à l'unité puisque le solide remplace l'eau et c'est le cas de notre produit (cuir). La masse volumique des constituants de la matrice solide est supérieure à celle du liquide évaporé et comme ce produit est un produit déformable, le remplacement du liquide par le solide au cours du procédé entraîne l'augmentation de la masse volumique (Hassini 2007).

Pour déterminer la masse volumique d'un solide, on utilise le principe d'Archimède. Le dispositif expérimental utilisé est un densimètre. Le toluène, qui a l'avantage de ne pas interagir avec les constituants du produit et d'assurer l'immersion complète de l'échantillon a été utilisé comme milieu liquide. On constate qu'au cours de séchage, la masse volumique du cuir augmente avec la diminution de la teneur en eau. La variation de la masse volumique du cuir avec la teneur en eau (figure 2) s'écrit par l'équation suivante :

$$\rho = ax^2 + bx + c.$$

Avec : $a = -311,48467$, $b = -143,81164$, $c = 1221,89339$ $\rho_s = 1221 \text{ kg/m}^3$

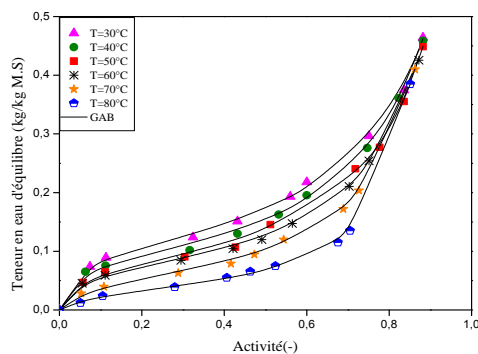


Figure 1 : Isothermes de désorption du cuir de bovin

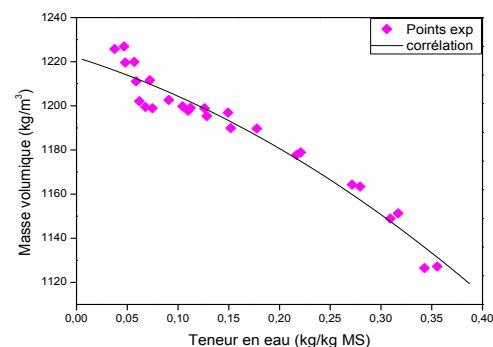


Figure 2 : Variation de la masse volumique du cuir avec la teneur en eau.

2. Cinétique de séchage

Les séries de mesure pour déterminer l'évolution de la teneur en eau et la température du produit, ont été effectuées grâce à une boucle de séchage par convection d'air chaud (figure 3). La matière testée s'agit du cuir retanné, prélevé juste avant l'opération de finissage. Les expériences de séchage sur des échantillons cuir de bovin de couleur noir rectangulaires ($16,5 \times 15,5 \times 0,15 \text{ cm}^3$), ont été posées sur une grille.



Figure 3 : Boucle de séchage LETTM



Figure 4 : Dynamomètre CNCC

On constate que l'augmentation de la température et de la vitesse de l'air de séchage diminue la durée de séchage (figure 5 et 6). La température de l'air influe considérablement sur la vitesse de séchage (figure 8). La figure 6 représente l'évolution de la teneur en eau dans le cas de séchage du cuir par l'air chaud et humide. En effet l'humidité fait augmenter la saturation de l'air à la surface d'échange par conséquent un ralentissement du processus de séchage (figure 7) mais assurant une meilleure qualité pour le cuir.

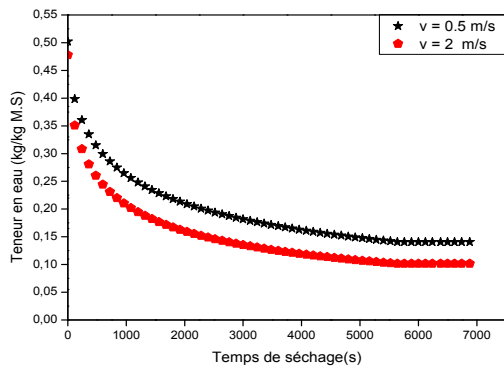


Figure 5 : Evolution temporelle de la teneur en eau du cuir (HR=16%, V=2m/s)

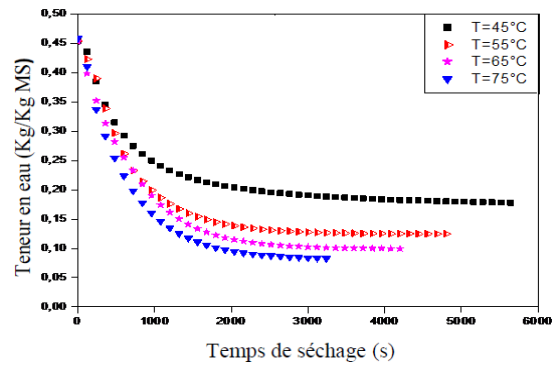


Figure 6: Evolution temporelle de la teneur en eau du cuir (T=45°C, HR=16%).

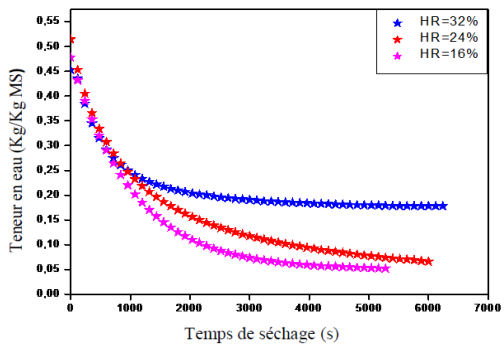


Figure 7 : Evolution temporelle de la teneur en eau du cuir (T=45°C, v=2m/s).

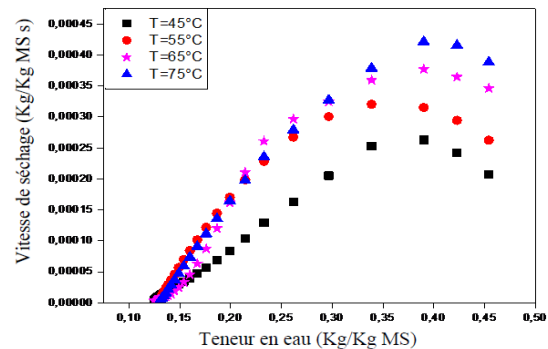


Figure 8 : Variation de la vitesse de séchage en eau du cuir du cuir en (HR=16%, v=2m/s).

Pour mettre en évidence les différentes périodes de séchage (période de chauffage, période de séchage à vitesse constante et période de séchage à vitesse décroissante), les cinétiques de séchage ont été rapportées à la surface extérieure (réelle) de l'échantillon. Ces courbes montrent en général, une phase à vitesse constante relativement courte où l'eau est évacuée à flux constant et une phase à vitesse décroissante où les différentes résistances internes du matériau aux transferts de chaleur et de matière contrôlent la vitesse de séchage. La teneur en eau critique ($X_{cr}=0,35$ kg/kgMS) marque le début de la deuxième période de séchage à vitesse décroissante. Elle correspond à la transition entre la diffusion liquide et la diffusion vapeur et elle représente la limite inférieure pour la détermination de diffusivité hydrique.

Les évolutions temporelles de la température d'un échantillon du cuir avec des conditions opératoires maintenues constantes lors du séchage sont présentées sur la figure 9. La température du produit présente un court palier qui correspond à la phase de séchage à vitesse constante avant qu'elle augmente progressivement pour atteindre la température de l'air de la veine. Ce résultat confirme l'existence d'une première phase de séchage pour le produit, qui a été déjà observée par les cinétiques de séchage.

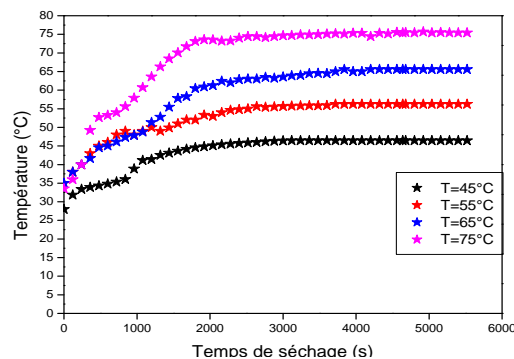


Figure 9 : Évolution temporelle de la température du cuir (HR=16%, V=2m/s)

Les tests physico-mécaniques

Pour caractériser le comportement mécanique du matériau cuir, la norme internationale ISO spécifie de nombreuses méthodes pour déterminer :

- La résistance à la traction (ISO 3376).

- La résistance à la déchirure (*ISO 3377-2*).
- L'arrachement au point de couture (*ISO 23910*)

Dans cette partie de l'étude, on présentera les résultats des analyses physico-mécaniques et des analyses chimiques du produit étudié au sein du laboratoire du centre national de cuir et de chaussure (CNCC). On premier lieu on a fait des découpages selon les formes spécifiées pour les résistances à la traction, à la déchirure et à l'arrachement. Les tests des trois résistances sont mesurés à l'aide d'un dynamomètre (figures 4). On donne à titre d'exemple les histogrammes suivants :

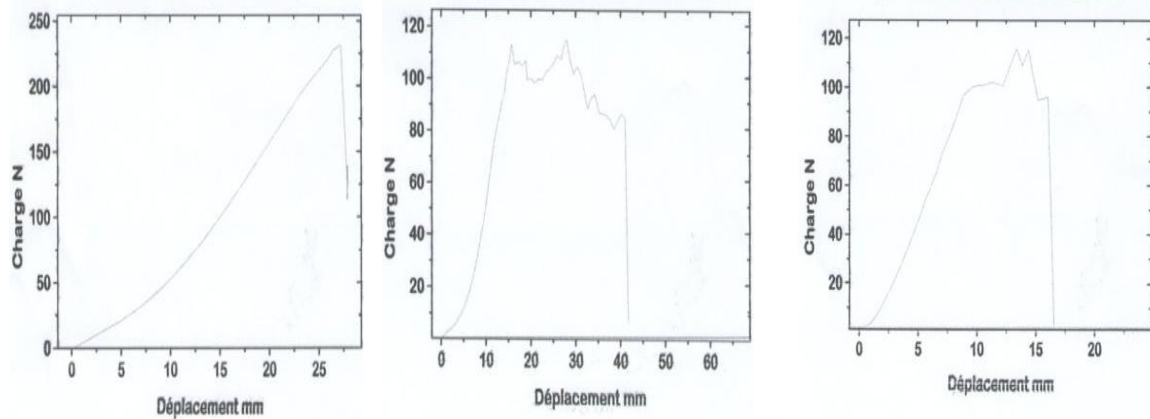


Figure 10 : histogrammes (traction, déchirure et arrachement)

Les tests physico-mécaniques réalisés sur des cuirs semis finis ont donné les résultats regroupés dans le tableau ci dessous :

Déterminations	Température (°C)	Humidité (%)			Epaisseur (mm)	Recommandations
		16	24	32		
Résistance à la traction (N/mm ²)	45	17	16.5	18,5	1.31	Min15 (maroquinerie)
	55	16,5	14	15		
	65	18	17.3	18.3		
	75	17.3	15.2	15.1		
Allongement à la rupture (%)	45	46	48	56	1.31	max 80
	55	45	50	50		
	65	46	49	45		
	75	41	45	47		
Résistance à la déchirure (N/mm)	45	100	83.5	110.7	1.4	min 40
	55	114.6	94.1	85.3		
	65	90.8	65	96.4		
	75	81.3	61.8	91		
Résistance à l'arrachement au point de couture(N/mm)	45	70.8	58.2	83.6	1.38	min 100
	55	82.9	62.7	77.2		
	65	66.1	55.8	84.8		
	75	63.8	73.9	85		

Tableau 1 : Résultats des essais physico-mécaniques sur cuirs semis finis (stain/crust).

-Résistance à la traction : les résultats trouvés répondent aux recommandations requises pour l'utilisation de ces cuirs dans la fabrication des articles de maroquinerie, ceci pourrait être expliqué par une insuffisance dans l'équilibre de la formulation (tannins synthétiques, végétales et résines de remplissage et imprégnation) des opérations de retannage. Une meilleure résistance à la traction pour une température de 45°C et 32 % d'humidité.

Pour les essais réalisés pour la résistance à l'arrachement au point de couture on constate une meilleure résistance à la traction pour une température de 45°C et 32 % d'humidité.

-Allongement à la rupture : ce pourcentage dépend de l'opération de retannage, de nourriture et de celle séchage. D'après les résultats trouvés le pourcentage d'allongement à la rupture est conforme aux recommandations pour toutes les conditions.

-Résistance à la déchirure : les pourcentages sont satisfaisants pour toutes les variations apportées au séchage, cependant on a une meilleure résistance à la déchirure pour une température de 55°C et 16% d'humidité.

Conclusion

Les résultats expérimentaux obtenus peuvent contribuer à réduire le temps du séchage, améliorer la qualité du produit, améliorer le coup énergétique et contribution à la valorisation du cuir tunisien. Les essais de cinétique de séchage sont bien reproductibles, l'accroissement de la température et de la vitesse de l'air et la diminution de l'humidité relative accentue le séchage du cuir. Aussi les allures des courbes qui présentent une forte baisse au début du séchage montrent que l'eau contenue dans les peaux n'admet pas de fortes liaisons avec les constituants du cuir, l'allure des courbes met en évidence une limitation thermique du processus, aussi elle montre les faibles interactions entre l'eau et la texture du cuir. Le séchage à 45 °C avec humidité injectée égale à 32% nous semble optimal dans notre cas d'après les résultats d'analyse de la qualité.

Nomenclatures

A_w	Activité de l'eau
HR	Humidité relative de l'air, %
T	Temps [s]
T	Température [C°, k]
V	Vitesse [m. s ⁻¹]
X	Teneur en eau base sèche [kg /kg]
$X_{\text{éq}}$	Teneur en eau d'équilibre base sèche [kg /kg]
ρ	Masse volumique [kg.m ⁻³]

Références

- [1]Agbaji.A.S. et Agbaji.E.B. (1990): "Influence of temperature on moisture sorption isotherms of Nigerian hides, skins and leather" J. srorerl Prod. Res. Vol. 26, No. 2, pp. 81-87.
- [2]Aleksandra Sander (2006): "Thin-layer drying of porous materials: Selection of the appropriate mathematical model and relationships between thin-layer models parameters" Chemical Engineering and Processing 46, 1324–1331.
- [3]Aleksandra Sander, N.Bolf, and J.Prlæ Kardum(2003): "Research on Dynamics and Drying Time in Microwave Paper Drying". Chem. Biochem. Eng. Q. 17 (2) 159–164.
- [4]Haghi.A.K. (2001) : " Experimental Investigations on Drying of Porous Media Using Infrared Radiation" Acta Polytechnica Vol. 41.
- [6]Haghi.A.K. et Rondot, D. (2004): "Heat and Mass Transfer in Leather Drying Process" Iran. J. Chem. & Chem. Eng.
- [7]Jannot. Y, (2003) : "Isothermes de sorption : Modèles et détermination". Cours.
- [8]Juan Monzd-Cabrera, Alejandro Diaz-Morcillo José M. Catalfi-Civera et E. de los Reyes (2000): "Heat flux and heat generation characterisation in a wet-laminar body in microwave-assisted drying:an application to microwave drying of leather" Int. Comm. HeatMass Transfer, Vol. 27, No. 8, pp. 1101-1110.
- [9]J.Monz´o-Cabrera, J. M. Catal´a-Civera, A. D´iaz-Morcillo, D. S´anchez-Hern´andez, P. J. Plaza-
- [10]Gonz´alez, et E. de los Reyes (2001) : " A three-stage microwave- assisted drying model based on the dielectric properties of laminar materials theoretical development and validation" Microwave Opt Technol Lett 32: 465_469.
- [11]N. Abdenouri, N. Kechaou, A. Motassadeq, H. Amazdaou1 et A. Jaouad (2008) :«Le séchage du cuir au cours des opérations de tannage » Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger 7 – 16.
- [12]R. Barni, S. Zanini, M. Piselli et C. Riccardi (2006):« Experimental study of the behaviour of leather under vacuum conditions » Vacuum 81, 265–271.