

Etude de la sorption de l'eau dans la direction transverse pour le bois d'*Eucalyptus globulus*

S. El Alami^{1*}, A. Famiri², B. Kabouchi¹, B. Azize¹, A. Fidah^{1,2}

¹ Equipe de Spectrométrie Moléculaire, Optique et Instrumentation Laser. Faculté des Sciences. Université Mohammed V-Agdal, Rabat . Maroc

² Laboratoire des Essais Physiques et Mécaniques du Centre de Recherche Forestière de Rabat. Charia Omar Ibn Al Khattab. B.P, 763 Agdal-Rabat 10050. Maroc

(*) E-mail : sal_alami @ yahoo.fr

Résumé : Le présent travail constitue une contribution à l'étude de la sorption de l'eau dans le bois d'*eucalyptus globulus* suivant les directions radiale et tangentielle, à des conditions de température et d'humidité fixes. Le matériel végétal utilisé est constitué de trois arbres adultes provenant de la forêt de Khmiss Sahel de la région de Larache au Nord du Maroc. L'étude des cinétiques d'adsorption et de désorption à une température de 30°C et une humidité relative de 60% est réalisée. Les coefficients de diffusion massique, suivant les directions radiale et tangentielle, sont déterminés aux conditions hygrothermiques imposées.

Mots-clés : Bois, *Eucalyptus globulus*, Cinétique d'adsorption, Cinétique de désorption, Coefficient de diffusion.

Introduction

L'eucalyptus a une fonction socio-économique majeure au Maroc. En effet, à part l'utilisation du bois des eucalyptus dans l'industrie de la pâte à papier et des perches, il ne fournit pratiquement que du bois de chauffage et du charbon de bois [1]. La part des eucalyptus en bois d'œuvre reste assez limitée à cause de l'apparition de fissurations suite à la libération des contraintes de croissance lors de l'abattage et du tronçonnage [2]. L'utilisation valorisante du bois d'*E. globulus* demande la réduction de ces défauts, ce qui nécessite l'étude de la migration de l'eau dans ce type de bois, notamment sa diffusivité en eau pour contrôler la vitesse de séchage. La diffusivité est un phénomène qui permet l'étude du séchage du bois [3-7]. Dans la littérature, il existe plusieurs recherches effectuées sur le transfert de la matière suivant les directions principales de l'orientation du bois (RTL) [8-9]. Ces recherches montrent que le transfert suivant la direction longitudinale est plus important que dans la direction transversale.

Dans la présente étude, nous abordons la diffusion de l'eau dans le bois d'*E. globulus* suivant les directions radiale et tangentielle à des conditions de température et d'humidité fixes (30°C, 60%). Nous déterminons les cinétiques d'adsorption et de désorption et le coefficient de diffusion de l'eau dans le bois d'*E. globulus* suivant les deux directions concernées.

2. Matériel et méthode

2.1. Matière végétale

La matière végétale utilisée pour cette étude est constituée de trois arbres d'*E. globulus* provenant de la forêt du périmètre Khmiss Sahel de la région de Larache au Nord du Maroc. Les arbres choisis sont âgés de plus de 30 ans et ayant une circonférence à 1,30 m du sol comprise entre 100 et 118 cm. Ils sont droits et présentent peu de défauts.

Dans le tableau 1, nous reportons les mesures de quelques caractéristiques dendrométriques des arbres échantillonnés.

Tableau 1: Caractéristiques dendrométriques des arbres d'*E. globulus*.

Arbre	h_t (m)	$C_{1,30}$ (cm)	C_{base} (cm)	H_a (%)
1	15	118	190	91
2	14	103	182	89
3	13	100	180	89

h_t : hauteur totale de l'arbre ; $C_{1,30}$: circonférence à 1.3m ; C_{base} : circonférence à la base ;
 H_a : humidité moyenne des arbres sur pied.

Les valeurs de l'humidité des arbres sur pied sont obtenues à l'aide d'un humidimètre électronique à pointe de marque Kimo. Les mesures sont effectuées en quatre points différents suivant les directions d'orientation géographique du tronc de l'arbre.

2.2. Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes utilisées dans cette étude sont prélevées dans le bois parfait, le long d'une même bande longitudinale. Notre choix s'est arrêté sur des échantillons de géométrie parallélépipède rectangle de dimension $20 \times 20 \times 1,5 \text{ mm}^3$ suivant la longueur, la largeur et l'épaisseur (figure 1).

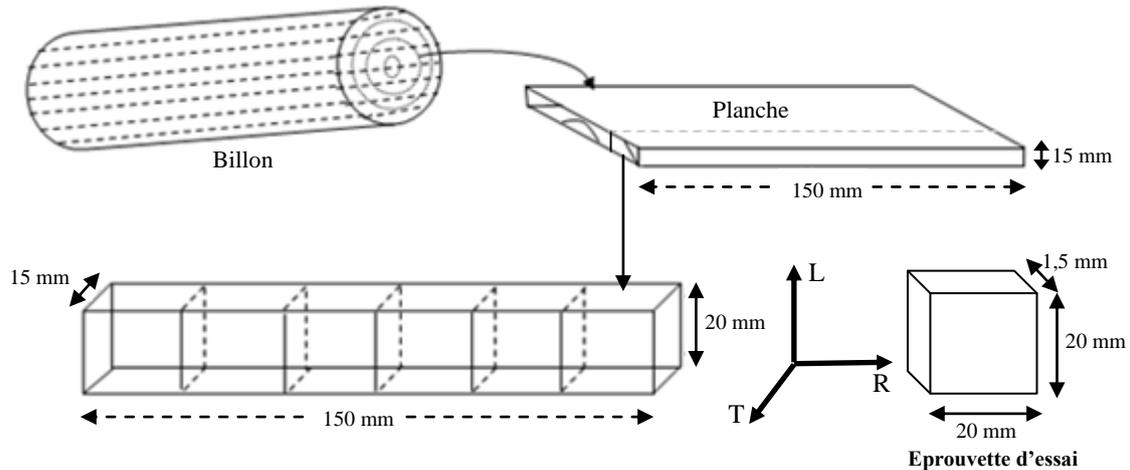


Figure 1 : Confection des éprouvettes pour l'étude de la cinétique de sorption.

2.3. Appareillage et méthode de mesure

2.3.1. Dispositif expérimental

L'étude de la sorption de l'eau dans le bois d'*E. globulus* est réalisée en mettant en œuvre une enceinte (figure 2) contrôlée en température (T) et en humidité relative (H_r) pour suivre le phénomène de désorption et un bain d'eau pour l'adsorption.

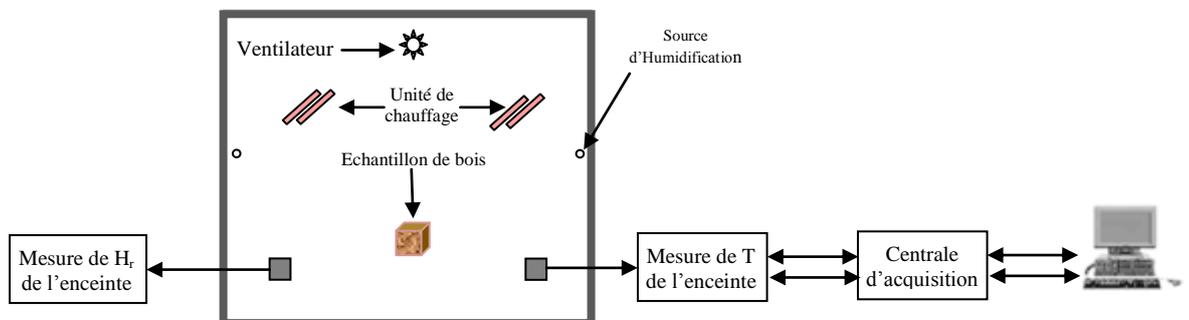


Figure 2 : Dispositif expérimental utilisé pour le suivi de désorption.

2.3.2. Méthode de mesure

L'expérience consiste à suivre l'humidité H et la masse m des échantillons de bois étudié en fonction du temps. Ces paramètres sont mesurés respectivement à l'aide d'un psychromètre digital de précision (0,01%) et d'une balance électronique de précision (0,001g) pilotée par un ordinateur.

Pour suivre l'adsorption, les échantillons sont initialement stabilisés à des taux d'humidité très faibles (inférieurs à 10%) et ensuite déposés dans le bain d'eau puis pesés à intervalles de temps réguliers (chaque 2 mn) jusqu'à saturation. Le temps de chaque pesée est de quelques secondes, c'est le temps dans lequel l'échantillon est exposé à l'air de température et d'humidité respectivement 30°C et 60%.

Pour la désorption, l'échantillon de bois considéré est porté à une humidité élevée (voisine de 60%) avant d'être mis dans la cellule climatique ayant les mêmes conditions hygrothermiques mentionnées précédemment, sur une balance interfacée pour suivre la perte de masse jusqu'à l'équilibre hygroscopique. L'échantillon de bois est ensuite déposé dans une étuve à 103°C pour déterminer la masse anhydre et ce pour déduire les taux d'humidité.

2.3.3. Détermination du coefficient de diffusion

La teneur en eau du bois, notée H , est égale à la quantité d'eau contenue dans ce dernier, exprimée en pourcentage de son poids anhydre :

$$H = \frac{M_h - M_0}{M_0} \quad (1)$$

M_h : masse du bois humide,
 M_0 : masse du bois anhydre.

La détermination du coefficient de diffusion utilise la seconde loi de Fick donnée par l'équation (2). La force motrice du transfert est le gradient d'humidité. Cette approche assimile le mécanisme de transfert interne à une diffusion moléculaire décrite par l'équation :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right) \quad (2)$$

$C = C(x, t)$ est l'humidité du bois au point d'abscisse x à l'instant t , et D le coefficient de diffusion. En définissant une teneur en eau adimensionnée C^+ :

$$C^+ = \frac{C - C_{\text{équilibre}}}{C_{\text{initial}} - C_{\text{équilibre}}} \quad (3)$$

où $C_{\text{équilibre}}$ désigne la teneur en eau de l'échantillon à l'équilibre hygroscopique selon les conditions hygrothermiques imposées et en supposant D constant, l'équation (2) s'écrit alors :

$$\frac{dC^+}{dt} = D \frac{d^2 C^+}{dx^2} \quad (4)$$

D'après les travaux de KOUCHADE (2004), l'équation (4) a pour solution analytique :

$$\overline{C^+}(t) = \frac{4}{e} \left(\sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t} \right) \quad (5)$$

Nous désignons par $m^*(t)$ le gain ou la perte de masse adimensionnelle. Ainsi, la grandeur mesurée expérimentalement $m^*(t)$ et la grandeur calculée analytiquement $C^+(t)$ étant sans dimension, nous pouvons écrire $C^+(t) \equiv m^*(t)$. La pente de la partie linéaire de la courbe (figure 3) représentant la variation de $m^*(t)$ en fonction de \sqrt{t} permet de déterminer D en utilisant l'expression (5). La valeur de D est calculée par la méthode directe du temps de demi-montée $t_{0,5}$ correspondant à $m^* = 0,5$. A cet instant $t_{0,5}$, le coefficient de diffusion s'exprime par [3] :

$$D = 0,049 \cdot \frac{e^2}{t_{0,5}} \quad (6)$$

e : épaisseur de l'échantillon (m),
 $t_{0,5}$: temps de demi-montée (s).

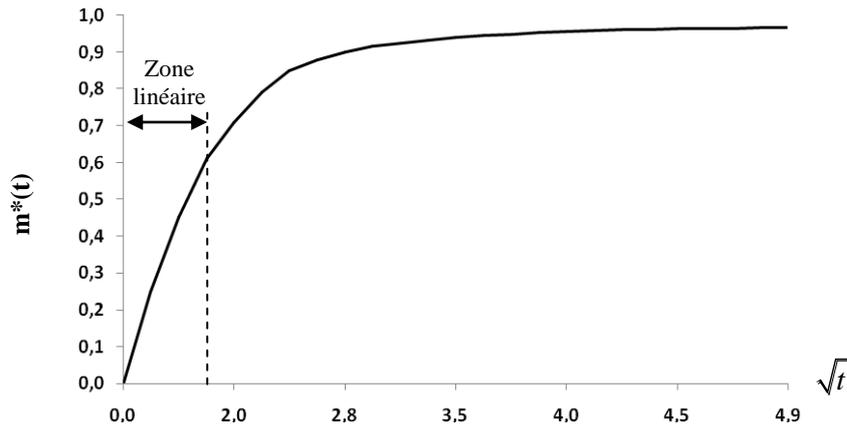


Figure 3 : Variation de $m^*(t)$ en fonction de \sqrt{t} d'un échantillon testé.

3. Résultats et discussion

3.1. Phénomènes d'adsorption et de désorption

3.1.1. Comparaison des cinétiques d'adsorption expérimentales dans les directions radiale et tangentielle

Par comparaison des courbes représentant la cinétique d'adsorption radiale et tangentielle (figure 4), nous pouvons déduire que le bois d'*E. globulus* est légèrement plus diffusif dans la direction radiale que dans la direction tangentielle. En effet, suivant la direction radiale, les rayons ligneux sont à l'origine de la diffusion de l'eau, notamment leur structure, alignement et la façon de positionnement favorisent le phénomène de diffusivité [3]. Par contre, dans la direction tangentielle, la disposition des rayons ligneux peut constituer l'obstacle majeur pour la diffusivité suivant cette direction. En outre, il faut noter que dans la direction tangentielle, les couches de bois initial et de bois final sont disposées de manière parallèle et le chemin privilégié pour la diffusivité peut être celle du bois initial en raison de sa faible densité. En conséquence, la diffusion serait plus favorisée dans la radiale.

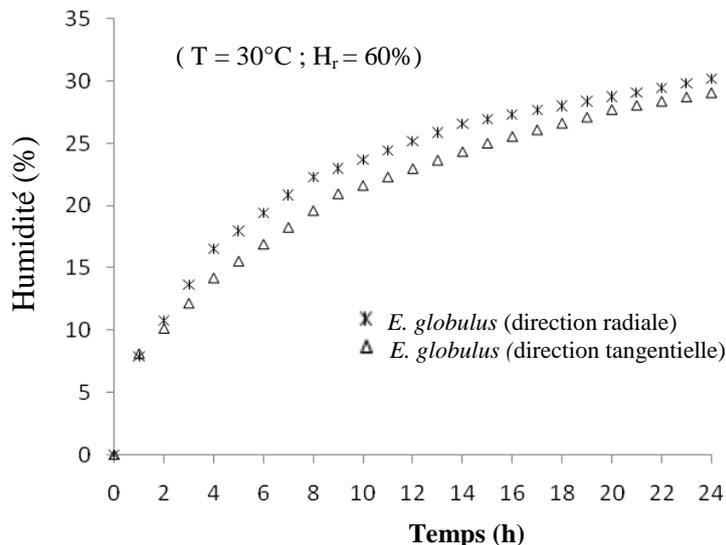


Figure 4 : Humidité du bois en fonction du temps. Cas d'adsorption en directions radiale (*) et tangentielle (Δ).

3.1.2. Comparaison des cinétiques de désorption expérimentales dans les directions radiale et tangentielle

La figure 5 représente les cinétiques de désorption suivant les deux directions. Nous pouvons distinguer trois phases : une première (phase 1) pendant laquelle l'eau est évacuée à vitesse de désorption importante. La seconde (phase 2) est marquée par une diminution de cette vitesse, l'échantillon de bois se trouve alors dans son

domaine hygroscopique. La troisième (phase 3) est caractérisée par un fort ralentissement de la vitesse de désorption pour devenir pratiquement nulle, ceci est dû essentiellement à la très grande proximité de l'équilibre hygroscopique de l'échantillon avec les conditions hygrothermiques imposées. L'analyse des résultats indique que la plus grande perte de masse est enregistrée pendant les dix premières heures. Ceci peut être expliqué par l'évacuation simple de l'eau libre. La diffusivité massique en direction radiale est plus élevée que celle en direction tangentielle. Ce qui est en accord avec les résultats trouvés par d'autres auteurs pour d'autres espèces de bois [10-12].

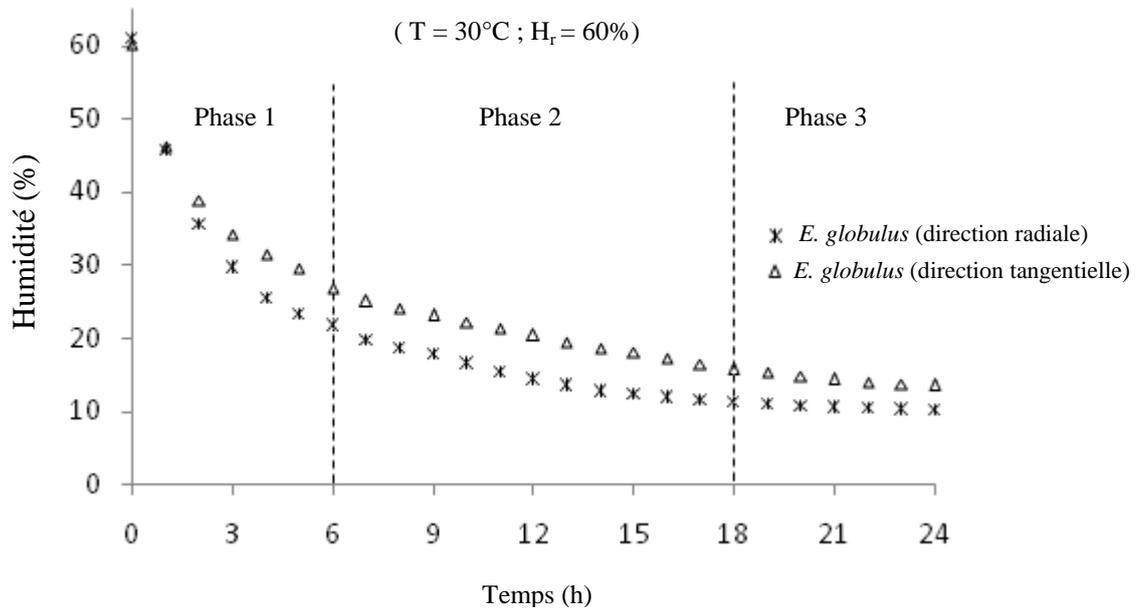


Figure 5 : Humidité du bois en fonction du temps. Cas de désorption en directions radiale (x) et tangentielle (Δ).

3.2. Détermination du coefficient de diffusion en adsorption et désorption du bois étudié

Le tableau 2 regroupe les valeurs des coefficients de diffusivité de l'eau dans le bois d'*E. globulus* suivant les directions radiale et tangentielle aussi bien en adsorption qu'en désorption. Les valeurs trouvées se rapprochent de celles mentionnées par d'autres auteurs pour le bois [12,13]. Nous remarquons que ces coefficients sont plus grands dans la direction radiale que suivant la direction tangentielle.

Tableau 2 : Coefficients de diffusion radial et tangentiel calculés en adsorption à T = 30°C et H_r = 60%.

	D (10 ⁻⁹ m ² s ⁻¹)	
	Direction radiale	Direction tangentielle
Adsorption	2,30	1,19
Désorption	1,02	0,96

Conclusion

Nous avons étudié les cinétiques d'adsorption et de désorption de l'eau dans le bois d'*E. globulus* suivant les directions radiale et tangentielle. Nous avons également déterminé le coefficient de diffusion au sein de ce bois. Les résultats obtenus montrent que l'*E. globulus* présente une diffusivité légèrement plus importante dans la direction radiale que dans la direction tangentielle. Les valeurs du coefficient de diffusion trouvées se rapprochent de celles rencontrées dans la littérature pour d'autres espèces de bois.

Références

- [1] MDCEF, Bilan du Ministère Chargé des Eaux et Forêts. Les eucalyptus au Maroc (2000).
- [2] A. Laghdir, Modélisation de la fissuration en bout de grume liée aux contraintes de croissance, application aux eucalyptus. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, (2000).
- [3] A.C. Kouchadé "Détermination en routine de la diffusivité massique dans le bois par méthode inverse à partir de la mesure électrique en régime transitoire". Thèse de Doctorat, Ecole Nationale du génie Rural des Eaux et des Forêts, Centre de Nancy (2004).
- [4] P. Perré "Le séchage du bois", Cours de DEA, Nancy. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 96 p. (1993).
- [5] A. J. Hunter "Wood drying and Fick's second law", Wood Science and Technology, 30(5), pp. 355-359. (1996).
- [6] A. J. Hunter "An analytic model for air drying of impermeable wood", Wood Science and Technology, 34(6), pp. 481-492, (2001).
- [7] P. N. Peralta and A. P. Bangi "A nonlinear regression technique for calculating the average diffusion coefficient of wood during drying", Wood and Fiber Science, 35(3), pp.401-408, (2003).
- [8] S. Zohoun "Détermination de la diffusivité massique dans le domaine hygroscopique du bois, comparaison des mesure en régimes permanent et transitoire". Thèse : Mécanique et énergétique, Institut National Polytechnique Lorraine, Nancy. 110 p. (1998).
- [9] S. Ghazil "Etude de la migration des fluides dans le bois", Thèse : Sciences et Ingénierie des Ressources Procédés Produits et Environnement, Université Henri Poincaré Nancy 1, (2010).
- [10] E. Agoua "A double climatic chamber used to measure the diffusion coefficient of water in wood in unsteady-state conditions: determination of the best fitting method by numerical simulation". International Journal of Heat and Mass Transfer, 44, pp. 3731-3744, (2001).
- [11] N. Mouchot "Etude expérimentale et modélisation des transports diffusionnels de l'eau dans le domaine hygroscopique des bois de hêtre et d'épicéa". Thèse: Sciences et Technologies Industrielles, Université Henri Poincaré Nancy 1, (2002).
- [12] A. Khouya "Contribution aux études expérimentale et numérique d'un processus de séchage du bois", Thèse de Doctorat, Université Abdelmalek Essaadi, (2008).
- [13] J. Siau "Wood influence of water on physical properties", Virginia Tech. 227 p. (1965).