

Détermination Expérimentale Et Modélisation Des Isothermes De Sorption Du *Laurus Nobilis.L* Du Sud Tunisien

Nadia Nasfi¹, Mohamed Bagane²

¹(Département de génie des procédés ISET Gabès / Tunisie

Laboratoire des interactions des fluides et milieux poreux /ENI Gabès, Université de Gabès, Tunisie)

²(Laboratoire des interactions des fluides et milieux poreux /ENI Gabès, Université de Gabès, Tunisie)

Résumé: Pour maîtriser les procédés de séchage et de stockage des plantes médicinales il faut connaître leurs isothermes de sorption. L'objectif de ce travail est de déterminer les isothermes de sorption de l'humidité sur les feuilles du laurier « *Laurus nobilis. L* » de la région de Gabès du sud tunisien. Les isothermes de sorption ont été étudiées pour des activités de l'eau variant entre 10% et 90% et pour des températures de 40°C, 50°C et 60°C en utilisant la méthode gravimétrique. Les résultats montrent que les isothermes de sorption des feuilles de *Laurus nobilis. L* sont de type II selon la classification de BET et que la teneur en eau à l'équilibre dépend de la température. Les résultats expérimentaux ont été lissés en utilisant plusieurs modèles. On a trouvé que le modèle de GAB lisse le mieux les isothermes trouvées expérimentalement. Ayant les isothermes de sorption on a déterminé les chaleurs isostériques de sorption Q_{st} en utilisant l'équation de Clausius-Clapeyron.

Keywords: chaleurs isostériques, isothermes de sorption, *Laurus nobilis.L*.

I. Introduction

Le laurier est une espèce très répandue dans les pays du bassin méditerranéen. Elle est cultivée pour ses feuilles aromatiques. Les feuilles du *Laurus nobilis L*, en forme de fer de lance, sont riches en huile essentielle et dégagent un arôme très prononcé lorsqu'on les brise. Les fruits en sont aussi bien pourvus [1]. C'est cette huile qui confère à l'arbuste des propriétés médicinales reconnues. Le *Laurus nobilis.L* a une action antiseptique, antivirale et bactéricide [2,3]. Ainsi, il est un remède efficace pour les plaies, les aphtes et les abcès dentaires, entre autres [4]. L'huile de ses fruits est une arme redoutable contre les insectes, les parasites et les poux. En application locale, son huile est un excellent antispasmodique.

La connaissance de l'isotherme de sorption est particulièrement importante en vue du séchage d'un produit. Elle permet de calculer la teneur en eau d'équilibre (X_{eq}) du produit avec l'air de séchage qui est la limite vers laquelle va tendre la teneur en eau du produit en fin de séchage. La valeur de (X_{eq}) est un paramètre qui apparaît en particulier dans les modèles permettant de prévoir l'évolution de la teneur en eau d'un produit au cours de son séchage. Des travaux similaires ont été réalisés par Ouafi.N [5] portant sur la détermination des isothermes de sorption des feuilles du laurier algérien. Dans le présent travail, on se propose de déterminer expérimentalement, par la méthode gravimétrique et à différentes températures (40°C, 50°C et 60°C), les isothermes d'adsorption-désorption des feuilles de *Laurus nobilis.L*.

II. Matériel Et Méthode

II.1. Présentation de la matière végétale

La matière végétale considérée dans ce travail est constituée de feuilles de *Laurus nobilis.L* récoltées au mois de mars dans la région de Gabès du sud tunisien. Les feuilles endommagées sont séparées des autres avant utilisation.

II.2. Mode opératoire

La détermination des isothermes d'adsorption –désorption des feuilles de *Laurus nobilis.L* a été effectuée en utilisant la méthode gravimétrique statique. Il s'agit en particulier de la méthode des sels saturés [6,7]. Le protocole expérimental consiste, en premier, à préparer des solutions des sels saturés.

Ces solutions sont préparées dans des bocaux à fermetures étanches de 50 ml chacun placés dans un bain thermostaté dont la température est fixée à la valeur voulue. Le tableau n°1, donne les activités de l'eau pour les différentes solutions considérées en fonction de la température. On place alors le produit dans un porte échantillon suspendu au dessus de la solution saturée. Les bocaux contenant les solutions salines et les échantillons sont placés dans l'étuve à la température voulue.

Le suivi de l'équilibre se fait à travers le suivi de la variation de la masse de l'échantillon. L'équilibre est considéré atteint lorsque la différence entre deux mesures consécutives de la masse est inférieure ou égale à 0,001g. Les masses sèches sont déterminées en plaçant l'échantillon dans l'étuve à 105°C pendant 24h.

Tableau 1: Activité de l'eau des solutions salines saturées

	KOH	LiCl	MgCl ₂	K ₂ CO ₃	NaBr	COCl ₂	KI	NaNO ₃	NaCl	BaCl ₂	KCL	K ₂ SO ₄
40°C	0.063	0.112	0.316	0.423	0.532	0.555	0.6609	0.71	0.747	0.8910	0.823	0.964
50°C	0.057	0.111	0.305	0.456	0.509	0.500	0.6449	0.6904	0.744	0.8823	0.812	0.958
60°C	0.055	0.11	0.293	0.45	0.497	0.467	0.6311	0.6735	0.745	0.8728	0.803	0.957

On définit l'humidité ou teneur en eau [8,9] d'un produit par:

$$X_{\text{éq}} = \frac{M_e - M_s}{M_s} \quad (1)$$

Avec :

- $X_{\text{éq}}$: la teneur en eau d'équilibre.
- M_e : la masse d'équilibre thermodynamique.
- M_s : la masse sèche.

Si le produit est en équilibre hygroscopique avec l'air qui l'entoure, l'activité de l'eau (a_w) est identique à l'humidité relative d'équilibre ($a_w = \text{HRE}$). Elle est définie comme suit :

$$a_w = \frac{P_{vp}}{P_{vs}} = \frac{\text{HR}(\%)}{100} \quad (2)$$

Avec :

- P_{vp} : pression partielle de vapeur d'eau dans l'air (Pa)
- P_{vs} : pression partielle de vapeur saturante (Pa)
- HR : humidité relative de l'air (%)

II.3. Modélisation des isothermes de sorption

Pour modéliser les courbes d'adsorption- désorption, de nombreux modèles empiriques existent dans la littérature décrivant la relation entre la teneur en eau d'équilibre, l'humidité relative et la température. Le modèle de GAB (Guggenheim - Anderson - De Boer) est l'un des meilleurs modèles théoriques pour les aliments [10]. Il est applicable pour les activités de l'eau comprises entre 0.05 et 0.95.

Le modèle de GAB est décrit par l'équation (3).

$$\frac{x}{x_m} = \frac{c k \frac{P}{P_0}}{\left(1 - k \frac{P}{P_0}\right) \left(1 + (c-1) k \frac{P}{P_0}\right)} \quad (3)$$

Avec :

- X_m : quantité nécessaire pour former la monocouche moléculaire (g /100g)
- C : constante de Guggenheim.
- K : facteur correctif.

Pour sélectionner la meilleure équation qui décrit les isothermes, on a utilisé Matlab pour le lissage de données expérimentales et on a comparé les erreurs moyennes relatives (E).

II.4. Méthode de détermination de la chaleur isostérique de sorption

Il est possible de calculer la chaleur isostérique Q_{st} qui représente l'énergie de fixation de l'eau au substrat et donc la chaleur supplémentaire à la chaleur de vaporisation de l'eau pure nécessaire pour déshydrater le produit. Q_{st} peut être calculée en utilisant les courbes de sorption obtenues à différentes températures et l'équation de Clausius-Clapeyron [11].

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial(T)} = \frac{Q_{st}}{RT^2} \quad (4)$$

III. Résultats Et Discussions

III.1. Isothermes de sorption

Les isothermes de désorption sont déterminées expérimentalement en partant des échantillons humides. Les figures n°1 et 2 illustrent les isothermes d'adsorption et de désorption obtenues pour les feuilles de *Laurus nobilis.L* aux températures 40, 50 et 60°C.

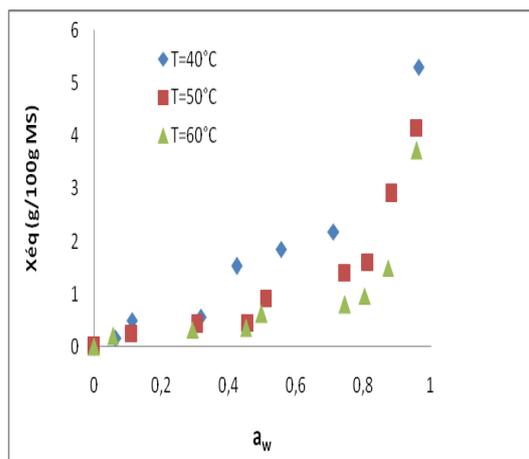


Fig 1: Isothermes de désorption des feuilles de *Laurus nobilis.L*.

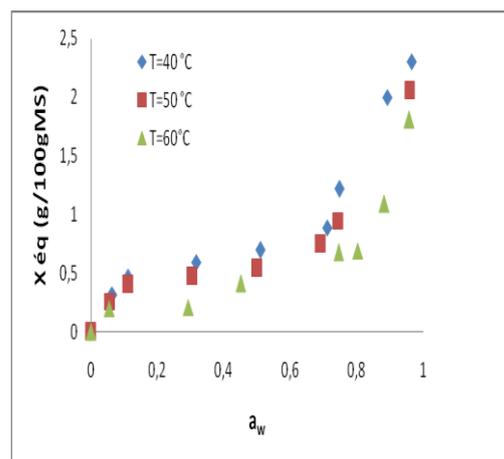


Fig 2: Isothermes d'adsorption des feuilles de *Laurus nobilis.L*.

Les figures n°1 et 2 montrent que pour une même activité de l'eau, plus la température augmente plus la teneur en eau d'équilibre diminue donc on peut dire que la teneur en eau d'équilibre augmente inversement avec la température et aussi pour une température constante, on remarque que la teneur en eau d'équilibre augmente avec l'activité de l'eau. Selon la classification de BET, les isothermes de désorption obtenues pour les feuilles de *Laurus nobilis.L* sont de type II. L'allure des isothermes de sorption est la même que celle trouvée pour plusieurs autres plantes comme le *Citrus aurantium* [12] et les feuilles d'absinthe et de menthe pouliot [13].

Comme le montrent les courbes de sorption, l'effet de la température à la fois sur les isothermes d'adsorption et de désorption pour la gamme complète des activités de l'eau (a_w) a été remarqué. La teneur en eau (X_{eq}) augmente avec la diminution de la température à une activité de l'eau constante.

En règle générale, à la fois l'activité de l'eau et la température ont un effet significatif sur la teneur en eau d'équilibre. La figure n°3 regroupe les isothermes d'adsorption et de désorption à $T = 40^\circ\text{C}$. Cette figure montre que pour une même activité de l'eau, les teneurs en eau de l'équilibre en cas d'adsorption sont inférieures à celles obtenues en cas de désorption.

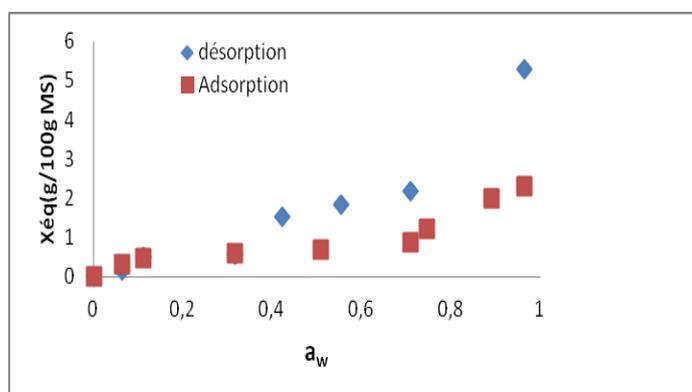


Fig 3 : Isothermes d'adsorption-désorption des feuilles de *Laurus nobilis.L* à $T = 40^\circ\text{C}$

Ceci met en évidence le phénomène d'hystérésis [14]. Les deux courbes sont en général différentes car le séchage d'un produit entraîne des modifications de structure et de porosité irréversibles. Le même résultat a été trouvé pour les feuilles de *Laurus nobilis L* algérien [5].

III.2. Modélisation des isothermes d'adsorption- désorption

Afin de trouver le modèle qui lisse le mieux les résultats expérimentaux relatifs aux isothermes de sorption on a appliqué plusieurs modèles (Peleg, GAB, Henderson, Chung P-fost et Oswin) . En comparant les coefficients de régressions et les erreurs relatives moyennes obtenus pour les différents modèles on a pu conclure que le modèle de GAB est le modèle le plus adéquat pour le lissage des isothermes de sorption des feuilles du *Laurus nobilis.L*. En effet, les erreurs relatives moyennes du modèle de GAB pour les courbes de sorption de *Laurus nobilis.L* sont de l'ordre de 0,01. Les valeurs obtenues pour les paramètres du modèle de GAB appliqué aux isothermes de sorption des feuilles de Laurier du sud tunisien sont regroupés dans le tableau n°2.

Tableau 2 : Paramètres du modèle de GAB pour les isothermes de sorption du *Laurus nobilis.L*

	Température 40°C		Température 50°C		Température 60°C	
	adsorption	désorption	adsorption	désorption	adsorption	désorption
K	0,8787	0,8428	0,8764	0,9948	0,9581	0,9826
X_m (g/100g)	0,3828	1,1002	0,3111	0,3087	0,1717	0,2106
C	234,025	3,6082	516,5496	20,1784	150,3810	947,5275

Sur les figures n°4 et n°5 on donne à titre indicatif les points expérimentaux et les courbes obtenues par le modèle de GAB pour les feuilles de *Laurus nobilis.L* dans le cas de la désorption à 50°C et de l'adsorption à 60°C.

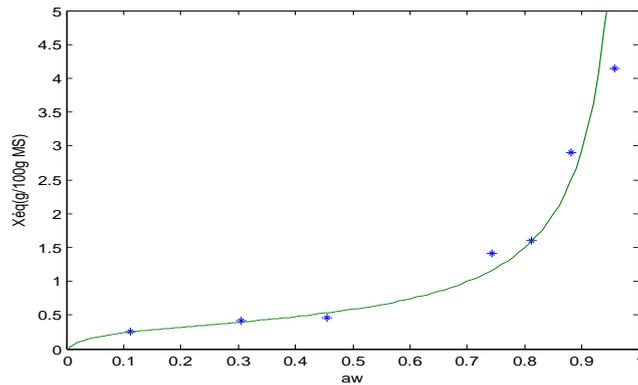


Fig4 : Isotherme de désorption $T=50^{\circ}\text{C}$ (Points expérimentaux et courbes relatives au modèle de GAB)

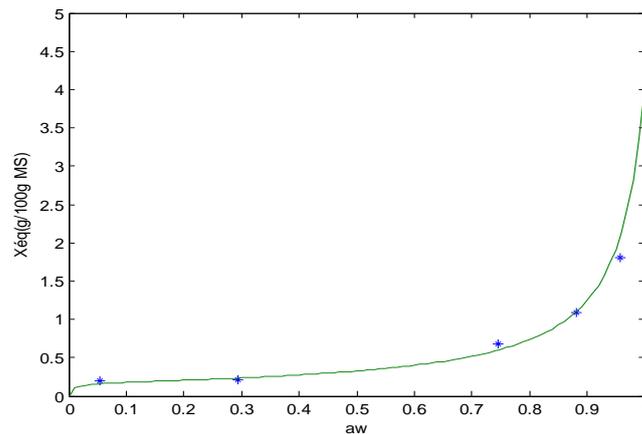


Fig5 : Isothermes d'adsorption à $T=60^{\circ}\text{C}$ (Points expérimentaux et courbes relatives au modèle de GAB)

III.3. Chaleur isostérique de sorption

Après avoir déterminé les isothermes de sorption et en se basant sur l'équation n°3, on a déterminé les chaleurs isostériques d'adsorption et de désorption. Les valeurs trouvées sont portées sur la figure n°6.

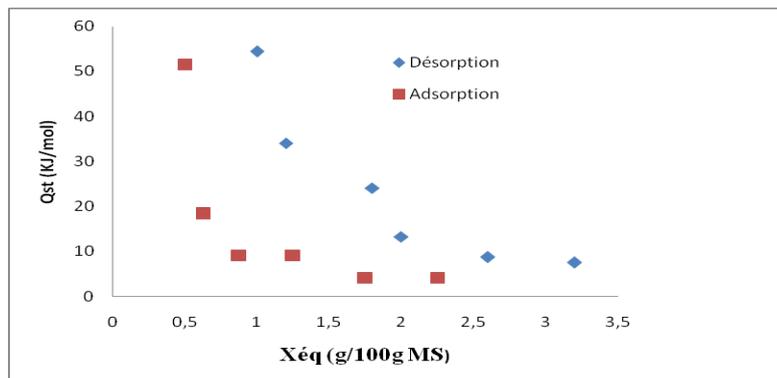


Fig6: Chaleurs isostériques d'adsorption-désorption des feuilles de *Laurus nobilis.L*

La figure n°6 montre que la chaleur isostérique de sorption est élevée, à faible teneur en eau d'équilibre et ensuite elle diminue pour atteindre des valeurs presque constantes de teneur en eau. Pour les faibles teneurs en eau les chaleurs isostériques sont supérieures à celles requises pour les teneurs en eau. ce résultat a été trouvé pour d'autres types de plantes [15]. Il peut aussi être vu que la chaleur isostérique de désorption est supérieure à celle de l'adsorption. Ceci est en accord avec ce qui a été trouvé dans la littérature [16]. Ce fait indique que l'énergie nécessaire dans le processus de désorption est supérieure à celle dans le processus d'adsorption.

IV. Conclusions

Les résultats expérimentaux montrent que la teneur en eau à l'équilibre est inversement proportionnelle à la température et que pour la même température cette teneur croît si on augmente l'activité. Ces résultats mettent également en évidence le phénomène d'hystérésis pour une même température. Les isothermes d'adsorption-désorption trouvées sont de type II selon la classification de BET. Suite au lissage des résultats expérimentaux par différents modèles trouvés dans la littérature en utilisant le logiciel matlab on a trouvé que le modèle de GAB permet d'avoir les erreurs relatives moyennes les plus faibles. Ceci nous permet de conclure que le modèle de GAB est le modèle le plus adéquat pour les isothermes de sorption de l'humidité sur les feuilles du *Laurus nobilis.L*. Enfin et Ayant les isothermes d'adsorption-désorption des feuilles du *Laurus nobilis.L*, on a déterminé les chaleurs isostériques correspondantes.

Références

- [1]. Y, B. Yurthu, "Drying characteristics of bay laurel (*Laurus nobilis.L*) fruits in a convective hot air dryer", *African Journal of biotechnology*, 10(47), 2011, 9600-9605.
- [2]. S. Nehir El, N. Karagozlu, S. Karakaya, S. Sahn, "Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oils Extracted from *Laurus nobilis L*. Leaves by Using Solvent-Free Microwave and Hydrodistillation", *Food and Nutrition Sciences*, 5, 2014, 97-106, .
- [3]. K. Ould Yerou, B. Meddah, A. Tir Touil, "Essentials oils of *Laurus nobilis* from the west of Algeria", *Electronic journal of biology*, 2016.
- [4]. I. Kahouli, "Effet antioxydant d'extrait de plantes (*Laurus nobilis L.*, *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Oléa Europea L.*) dans l'huile de Canola chauffé", *Faculté des études supérieures de l'Université Laval*, 2010.
- [5]. N. Ouafi, H. Moghrani, N. Benaouada, N. Yassa, R. Maachi et R. Younsi, "Moisture sorption isotherms and heat of sorption of algerian bay leaves (*Laurus nobilis*)", *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(4): ,2015, 759 - 772.
- [6]. Y. Jannot, «Du séchage des produits alimentaires tropicaux à la caractérisation thermo-physique des solides», mémoire à l'université de Bordeaux, 2006, France.
- [7]. H. Pahlevanzadeh et M. Yazdani « Moisture adsorption isotherms and isosteric energy for almond », *Journal of Food Pcessing Engineering* 28, 2005.
- [8]. M. Aghfir, M. Kouhila, A. Jamali, A. Idlimam, A. Lamharrar et M. Rhazi, "isothermes d'adsorption-désorption des feuilles de Romarin", 12^{ème} Journées internationales de thermique, 2005, Maroc.
- [9]. M. Kouhila, M. Daguinet et B. C. Boutaleb, "Experimental determination of the sorption isotherms of mint, sage and verbena", *Journal of Food Engineering*, 2001, Maroc.
- [10]. A. Ferradji, M. A. A. Matallah et A. Malek, "Conservation des dattes 'Deglet Nour' Isothermes d'adsorption à 25,30 et 40°C", *Revue des Energies Renouvelables*, 2008.
- [11]. K. Bejar, A. Boudhrioua Mihoubi, N. Kechaou N, "Moisture sorption isotherms- Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves", *Food chemistry*, 2011.
- [12]. L. Ait Mohamed, M. Kouhila, A. Jamali, S. Lahsasni et M. Mahrouz, "Experimental study of adsorption-desorption isotherms of bitter orange leaves (*Citrus aurantium*)", *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, São Paulo, Brazil, vol. B, 1404-1410, 22-25 August 2004.
- [14]. A. Lamharrar, C. S. E. Kane, A. Idlimam, S. Akkad, M. Kouhila, A. Mimet et M. Ahachad, "Détermination expérimentale des isothermes de sorption et de la chaleur isostérique des feuilles d'absinthe et de menthe pouliot", 13^{èmes} Journées Internationales de Thermique, Albi, France 28 au 30 Août 2007.
- [15]. A. Jamali, M. Kouhila, L. Ait Mohamed, A. Idlimam, A. Lamharrar, "Moisture adsorption-desorption isotherms of Citrus reticulata leaves at three temperatures", *Journal of Food Engineering* 77, 2006, 71-78.
- [16]. L. Ait Mohamed, M. Kouhila, S. Lahsasnia, A. Jamalia, A. Idlimama, M. Rhazia, M. Aghfira et M. Mahrouz, "Equilibrium moisture content and heat of sorption of *Gelidium sesquipedale*", *Journal of Stored Products Research* 41, 2005, 199-209.
- [17]. S. Lahsasni, M. Kouhila et M. Mahrouz, "Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*)", *Energy Conversion and Management* 45, 2004, 249-261.