

## Séchage et stockage des amandes de l'arbre de l'arganier

### [ Drying and storage of the kernels of the argan tree ]

*Abdelouahhab MOUNTASSER<sup>1</sup>, Miloud EL HADEK<sup>1</sup>, and M'barek BENCHANAA<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Département de chimie,  
Université Ibn Zohr, Faculté des sciences,  
BP 3878, Talborjt, Agadir, Maroc

<sup>2</sup>Department de chimie,  
Université Kadi Ayad, Faculté des sciences,  
Bd Prince Moulay Abdellah, B.P 2390, 40001 Marrakech, Maroc

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The *Argania spinosa* (L. Skeels) is an endemic tree of the south-west morocco. It gives a fruit that contains a seed oleaginous. Oil is produced from the kernels by press or by hands Or by an organic solvent such as hexane. This work has for objective to study parameters influencing the storage of kernels practiced before extraction of oil. Optimal storage conditions of the argan tree kernels were determine by measuring the water activity, such a measure allowed to control and optimize the manufacturing process and conservation and ensure its mechanical stability, physical, chemical, and microbiological. Thus water sorption isotherms of argan kernels were determined at different temperatures : 40 ° C and 70 ° C using the standard static gravimetric method. Six saturated salt solutions selected to give different relative humidity in the range of 0.05–0.90 were used. Results showed that temperature has a great effect on the sorption isotherms kernels. kernels lost a great part of their water when the temperature increases. Thus temperature accelerates the drying reaction. The optimum size of kernels allowing to have optimum drying is located between 0,6mm and 1mm. Increasing the thickness of the contact surface reduces the effect of drying parameters.

**KEYWORDS:** Sorption, isotherm, water activity, argan, kernel, conservation.

**RÉSUMÉ:** Le but de ce travail est la détermination des isothermes de désorption-adsorption des amandes de l'arganier *Argania spinosa* (L. Skeels) à la température 40°C et 70°C prévues pour le stockage. Dans ce cas la méthode des sels saturés est utilisée. Ainsi que l'effet des certains facteurs sur la cinétique de séchage notamment : la température, la granulométrie et la charge. Les résultats ont montré que la température a une influence importante sur les isothermes de sorption des amandes de l'arganier. Plus la température est importante plus les amandes perdent une quantité importante de leur teneur en eau. La température accélère le séchage des amandes. La granulométrie optimale permettant d'avoir un séchage optimal des amandes est comprise entre 0,6mm et 1mm. L'augmentation de l'épaisseur de la surface de contact diminue l'effet des paramètres de séchage.

**MOTS-CLEFS:** isotherme, sorption, activité de l'eau, arganier, amande, conservation.

## 1 INTRODUCTION

L'arganier, (*Argania spinosa*, L. Skeels Sapotacées), est un arbre endémique spécifiquement marocain. Son fruit renfermant l'amande est riche en huile [1]. Les études faites sur l'arganier ont été généralement focalisées sur sa morphologie ; ses aspects botaniques ; les formes de fruit ; la pulpe ; la coque et sur son huile.

Dans les régions des arbres de l'arganier, il est constaté que l'amande subit une forte altération et dégradation après une durée de quelques mois de stockage local. L'eau est l'une des composantes biochimiques les plus importantes des produits naturels et biologiques. L'importance de l'analyse l'activité de l'eau ou de la teneur en eau d'un produit alimentaire a été reconnue par les industries agroalimentaires. En effet, elle influence les phénomènes tels que : Les caractéristiques organoléptiques (goût, arôme, couleur), les propriétés physico-chimiques (réaction de dégradation des nutriments, processus de séchage) et les propriétés biologiques des aliments (croissance de microorganisme et activité enzymatique) [2].

La maîtrise technologique des opérations de transformation industrielle de séchage et d'entreposage, où interviennent toutes ces réactions ; nécessite que l'on connaisse bien la nature des interactions eau-substrat (l'état de l'eau dans ces denrées).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude. Nous avons ainsi opté pour étudier la conservation des amandes de l'arganier dans une ambiance particulière. Afin de chercher ses conditions nous avons déterminé expérimentalement leurs isothermes d'adsorption-désorption à plusieurs températures. Ceci permet de déterminer le niveau d'humidité à partir duquel on inhibe la croissance microbienne et la production de mycotoxines pendant la conservation [3] d'une part et de prévoir le comportement de l'amande au cours du séchage, du stockage et d'entreposage d'autre part. Des conditions constantes de température et d'humidité sont alors exigées. Etant donné que la technique la plus utilisée pour préserver la qualité des aliments est la réduction de l'activité de l'eau jusqu'aux niveaux suffisamment bas, nous allons déterminer ces isothermes d'adsorption-désorption par la méthode gravimétrique. En effet, la connaissance de telles informations permet de les sécher [4] dans des conditions qui assurent leur conservation sans altérer l'huile essentielle y contenue et leurs principes actifs. La détermination des isothermes de sorption est aussi un moyen indispensable pour la prédiction du transfert d'eau à travers d'un film perméable d'emballage pour denrées alimentaires [5]. Nous avons aussi suivi l'évolution de l'eau des amandes au cours de séchage en fonction de plusieurs facteurs.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODOES

### 2.1 MATÉRIEL

Les fruits mûrs ont été récoltés à partir des arbres de la forêt d'Admine située à 30 km au Sud de la ville d'Agadir au Maroc. Après enlèvement de la pulpe, les noix ont été concassées pour en sortir les amandes.

### 2.2 ISOTHERMES DE SORPTION

Pour dresser les isothermes d'adsorption/désorption, nous avons opté pour la méthode gravimétrique statique [6], et nous avons utilisé des solutions de sels saturés : KOH, ( $MgCl_2, 6H_2O$ ),  $K_2CO_3$ ,  $NaNO_3$ , KCl et ( $BaCl_2, 2H_2O$ ). L'humidité caractérisant les six solutions salines saturées citées est donnée dans le tableau 1 pour un intervalle de température compris entre 25°C et 70°C.

Tableau 1. Valeurs des humidités relatives des solutions des sels saturés pour différentes températures (%)

Températures	25 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
KOH	8,23	7,38	6,26	5,72	5,49	5,32
( $MgCl_2, 6H_2O$ )	33,00	32,38	31,59	30,54	29,26	27,77
$K_2CO_3$	42,76	43,17	42,30	40,91	39,21	37,37
$NaNO_3$	73,79	72,75	71,00	69,04	67,35	66,01
KCl	84,26	83,62	82,32	81,20	80,25	79,49
( $BaCl_2, 2H_2O$ )	90,19	89,80	89,10	88,23	87,28	86,25

Pour étudier l'adsorption ; Les échantillons ont été préalablement introduits dans une étuve à 40°C pendant 8 à 10 jours. Une masse de 2 grammes de l'échantillon des amandes est placée dans un flacon. Les flacons mesurés sont placés dans une

série de bocaux de capacité 1 litre chacun et rempli de 250ml de l'une des solutions salines saturées. Les six bocaux sont introduits dans l'étuve à température réglable de l'ambiance +20°C à +200°C. L'échantillon reste donc dans une ambiance stabilisée en température et en hygrométrie.

La variation de la masse des échantillons est suivie à intervalle de temps régulier par une balance de précision  $\pm 0,0001g$ . Les valeurs sont notées quotidiennement.

La masse reste inchangée après une durée huit jours de séchage. Cette période correspond au temps nécessaire à l'établissement de l'équilibre d'adsorption. Ensuite la masse des amandes exemptes d'eau (complètement séchées dans les conditions opératoires définies), est déterminée après étuvage à 105°C pendant 24 heures des échantillons.

La teneur en eau  $X_e$  qui serait retenue par les amandes pour une humidité et une température est donnée par la relation suivante (1) :

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \quad (1)$$

Avec  $m_e$  : masse de l'échantillon à l'équilibre pour une température donnée T,

$m_s$  : la masse de l'échantillon après étuvage à 105 °C

### 2.3 . SÉCHAGE DES AMANDES

L'étude du séchage des échantillons des amandes a été effectuée par thermogravimétrie. Cette technique consiste à suivre la variation de la masse en fonction du temps pour une température donnée à l'aide d'une balance type Mac Bain. Ce dernier comporte les éléments suivants :

- une jaquette thermostatique verticale dans laquelle se trouve un ressort accroché à l'extrémité supérieure de la jaquette, sur son extrémité inférieure, est connecté un fil de quartz qui supporte une petite nacelle porte échantillon. Cette dernière est placée dans un tube laboratoire.
- un four de chauffage du tube laboratoire. Son chauffage est réalisé à l'aide d'un bain thermostaté à circulation d'eau chaude.
- un système optique qui permet d'enregistrer les variations de la masse de l'échantillon. L'image d'une fente lumineuse solidaire du fil de suspension est transmise à travers des miroirs à un écran gradué situé au voisinage de la balance.
- un système appelé "point froid" en acier inoxydable grâce auquel, nous pouvons effectuer des expériences sous pression de vapeur d'eau désirée.

Pour réaliser cette étude, nous avons commencé par porter préalablement le four de la thermobalance à la température désirée. Une masse de 60mg de l'échantillon des amandes est mise dans une nacelle que l'on introduit dans le tube laboratoire sous atmosphère contrôlée à l'aide d'une vanne prévue à cet effet. Une fois la température du four est stabilisée le tube laboratoire est y introduit. Cet instant correspond au début de la désorption de l'eau retenue par l'échantillon. La perte de masse est alors notée toutes les 2 minutes. A mesure que l'opération de séchage progresse, les pertes pondérales sont relevées à des intervalles de temps plus élevés. Le séchage étudié a été effectué sous une pression de 760 torrs.

### 2.4 GRANULOMÉTRIE DES AMANDES

Les amandes ont été broyées à l'aide d'un mortier puis tamisées à l'aide d'une série de tamis vibrants; Ensuite, elles ont été séparées en plusieurs échantillons dont la granulométrie des amandes est variable de 0,6 à 4 mm.

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES ISOTHERMES DE SORPTION

En utilisant la méthode des solutions salines saturées nous avons établi les isothermes d'adsorption des amandes de l'arganier, dans un domaine de température allant de 40°C à 70°C. Les courbes de la figure 1 traduisent les résultats obtenus.

L'allure des isothermes est la même. L'allure sigmoïdale de ces isothermes est typique de la plupart des produits d'origine biologique ([7], [8], [9], [10]). Les courbes expérimentales obtenues montrent que pour une même humidité relative, la teneur

en eau d'équilibre augmente quand la température diminue et qu'une élévation de température diminue très légèrement la teneur en eau résiduelle des amandes pour les différents taux d'humidité. Ces observations sont en accord avec les travaux antérieurs ([11], [12], [13], [14], [15]) sur l'étude des isothermes des produits d'origine biologique.

L'intérêt d'une telle étude résiderait de déterminer l'effet que peut avoir la température lors du stockage des amandes séchées. Effectivement, pour des lots identiques stockés à la même humidité relative dans différents lieux de différentes températures celui dont la température est la plus basse sera le plus hygroscopique, donc conservera le moins ses qualités.

Au vu de ses observations, il serait donc recommandé d'éviter l'opération du séchage à basse température.

La présence de l'eau résiduelle, semble un facteur qui favoriserait la dégradation des amandes en fonction du temps (par oxydation). Elle diminuerait ainsi leurs périodes de conservation.

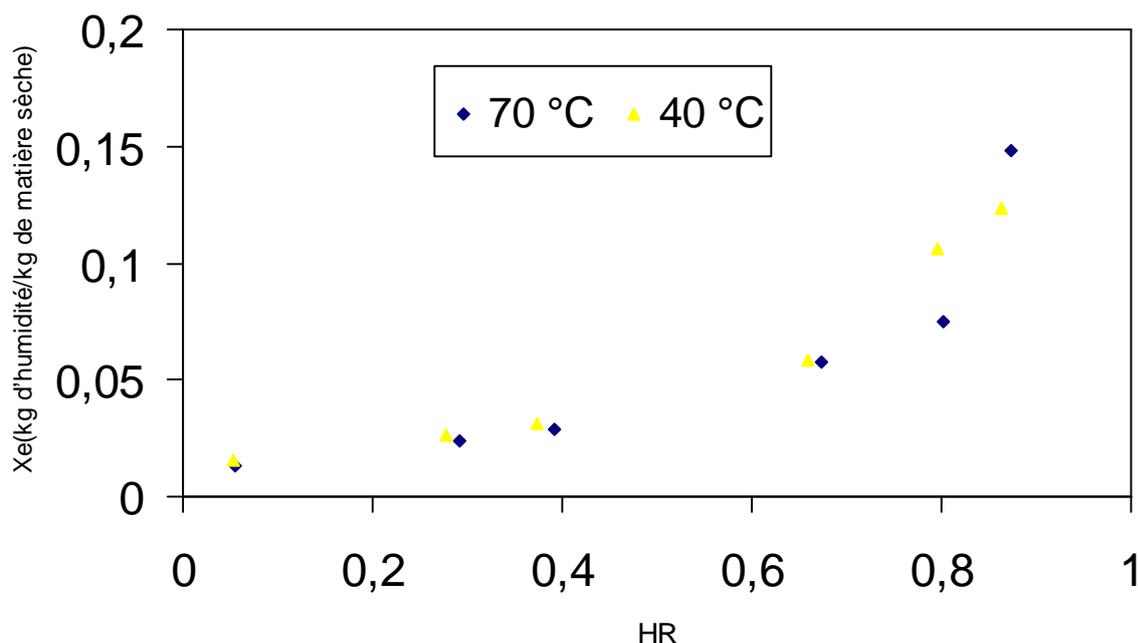


Fig. 1. Effet de la température sur les isothermes d'adsorption des amandes (HR : humidité relative)

Nous nous sommes alors intéressés au comportement des amandes lors de leur séchage. Les courbes de la figure 2 traduisent les isothermes de désorption de la teneur en eau à l'équilibre en fonction de l'humidité du milieu. L'allure des isothermes est la même. La température influe également sur l'isotherme de désorption. Pour une même humidité relative, la teneur en eau adsorbé par les amandes n'est pas la même pour des valeurs de températures 40°C et 70°C.

D'autre part la superposition des courbes d'adsorption et de désorption de la vapeur d'eau par les amandes, obtenues à une même température, montre que ces dernières ne se confondent pas pour tout l'intervalle des humidités relatives d'étude. La teneur en eau de désorption est supérieure à celle d'adsorption. Les courbes de désorption et d'adsorption forment par là un cycle d'hystérésis à différents températures (figure 3a et 3b). Ceci s'expliquerait par la structure texturale des amandes. Les cycles d'hystérésis observés généralement sont dus à une porosité du substrat. L'état des pores n'est pas le même lorsque les deux phénomènes commencent à se produire.

L'hystérésis se manifeste essentiellement dans la région intermédiaire de l'isotherme (eau faiblement liée). La perte d'eau (désorption) entraîne une condensation dans les pores qui sont généralement plus faibles en épaisseur que ceux de la profondeur du tissu. La pression de vapeur d'eau nécessaire à leur remplissage (adsorption) est plus élevée que celle à laquelle ils se vident.

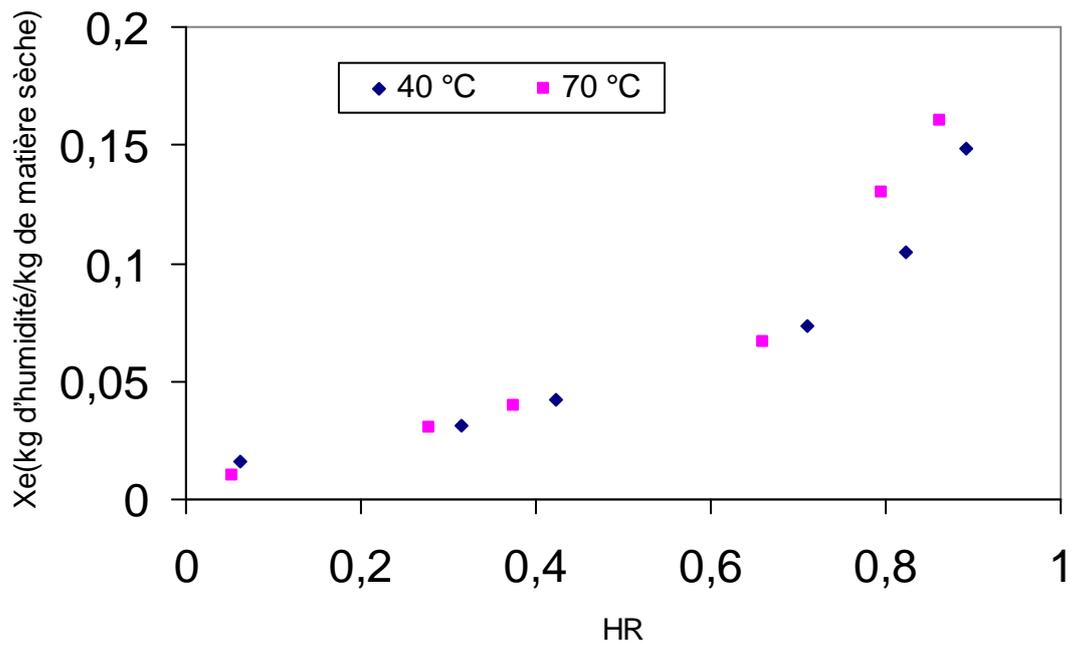


Fig. 2. Effet de la température sur les isothermes de désorption des amandes (HR : humidité relative)

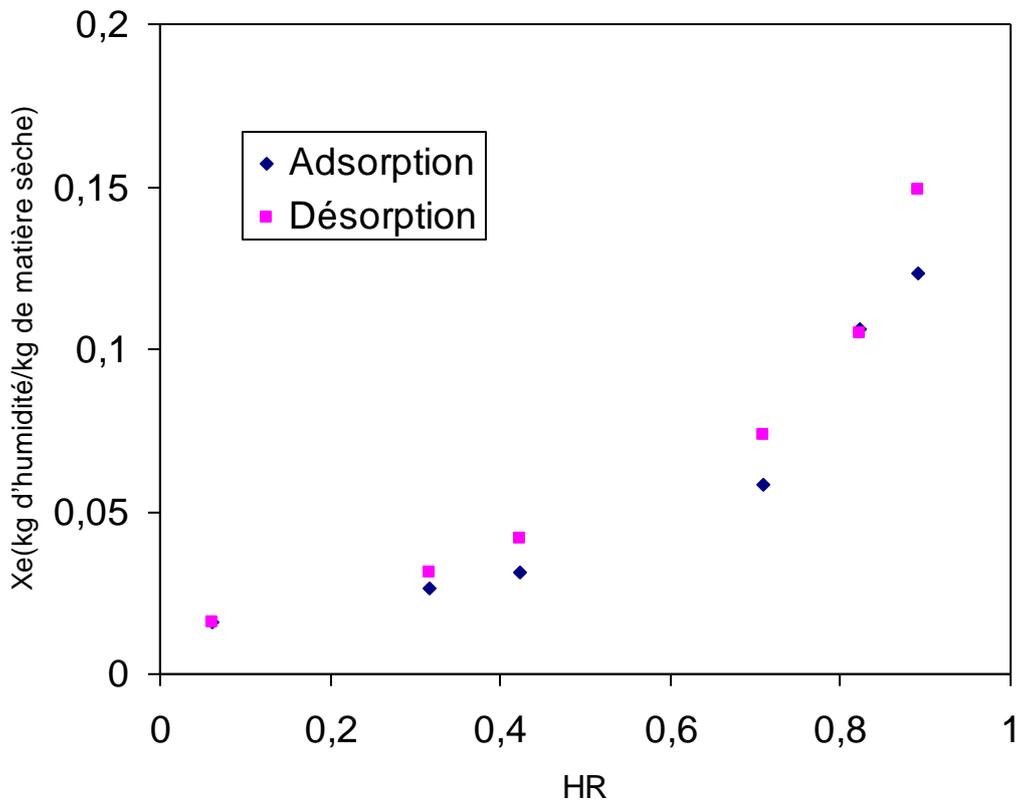


Figure 3a. Isothermes de sorption des amandes à 40 °C, phénomène d'hystérésis (HR : humidité relative)

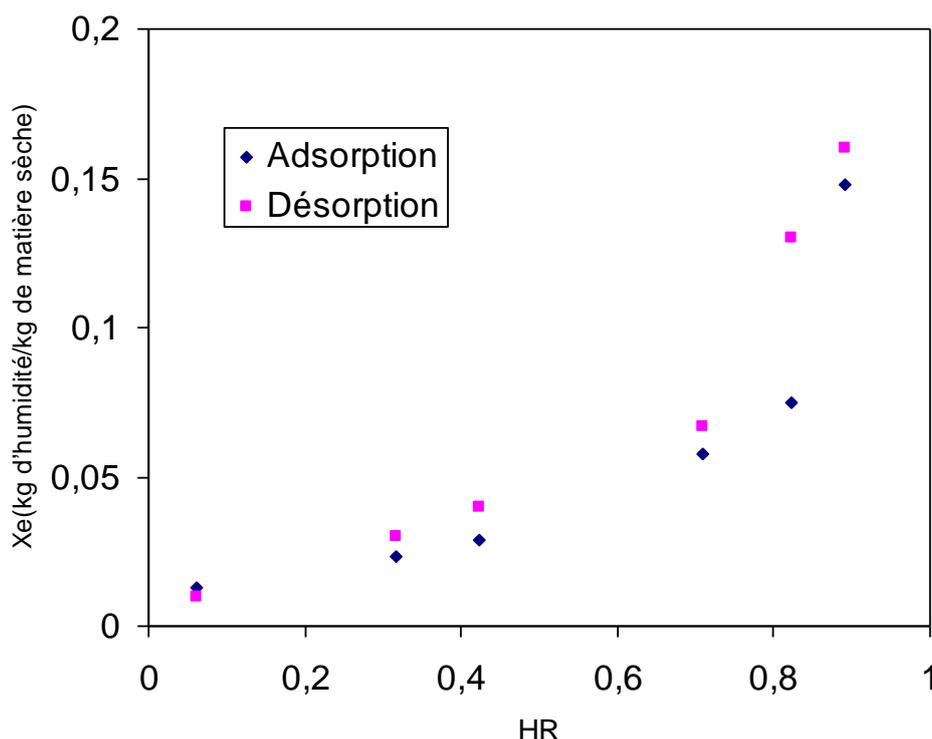


Figure 3b. Isothermes de sorption des amandes à 70 °C, phénomène d'hystérésis (HR : humidité relative)

### 3.2 CINÉTIQUE DE SÉCHAGE

#### 3.2.1 INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

Le suivi de l'évolution de la masse des échantillons soumis à cinq régimes de températures (40°C, 50°C, 60°C, 70°C et 80°C) a permis de mettre en évidence l'influence de la température sur la cinétique du séchage. L'étude de la cinétique du séchage a été réalisée à partir du tracé des courbes  $\alpha = f(t)$ . Le taux d'avancement  $\alpha$  est définie comme étant le rapport masse de l'eau perdue pendant un temps donné  $t$  ( $m_t$ ) sur la masse de l'eau perdue sur l'équilibre ( $m_\infty$ ) (2) :

$$r = \frac{m_t}{m_\infty} \quad (2)$$

L'évolution du taux d'avancement de la cinétique de séchage à différentes températures est présentée sur la figure 4.

Les courbes de cette figure ont les mêmes allures, leurs pentes sont d'autant plus petites que la température est faible. Ceci montre que la température influe sur le temps et la vitesse de déshydratation des amandes de l'arganier. En effet, plus la température est élevée, plus le produit sèche rapidement (temps de séchage court). Egalement, la masse d'eau éliminée à l'équilibre augmente linéairement avec la température, comme le montre la figure 5. Au bout de 1200 s, l'équilibre est atteint pour une température 80°C, alors qu'il n'est atteint qu'au bout de 3000 s pour la température 40°C. Egalement, l'augmentation de la température de 40°C à 80°C engendre une augmentation de la quantité d'eau éliminée du produit. Ce qui peut s'expliquer par l'augmentation de l'apport en chaleur du produit. Ce résultat est comparable à ceux trouvés par [16] au cours de l'étude de séchage des prunes.

En premier temps, on observe une forte évaporation d'eau libre du produit pour les cinq températures. L'eau qui s'évapore à la surface du produit constitue l'eau libre renouvelée par la montée capillaire de l'eau libre interne [17].

En deuxième temps, l'évaporation de l'eau commence à diminuer. Le ralentissement commence lorsqu'il n'y a plus d'eau libre en surface. On pense à un 'front de vaporisation' qui s'enfonce progressivement dans le produit [18]. Cette phase correspond à l'équilibre du produit avec les conditions extérieures constantes.

L'influence de la température sur la cinétique de séchage est toujours importante. Dans tous les cas, une augmentation de la température se traduit par une diminution plus importante de la teneur en eau. Ces échanges sont de moins en moins importants au fur et à mesure que le séchage se fait car la quantité d'eau que l'on peut retirer du produit est plus faible et la différence de teneur en eau entre le produit et l'air est de plus en plus faible. Donc les échanges se font plus difficilement [18].

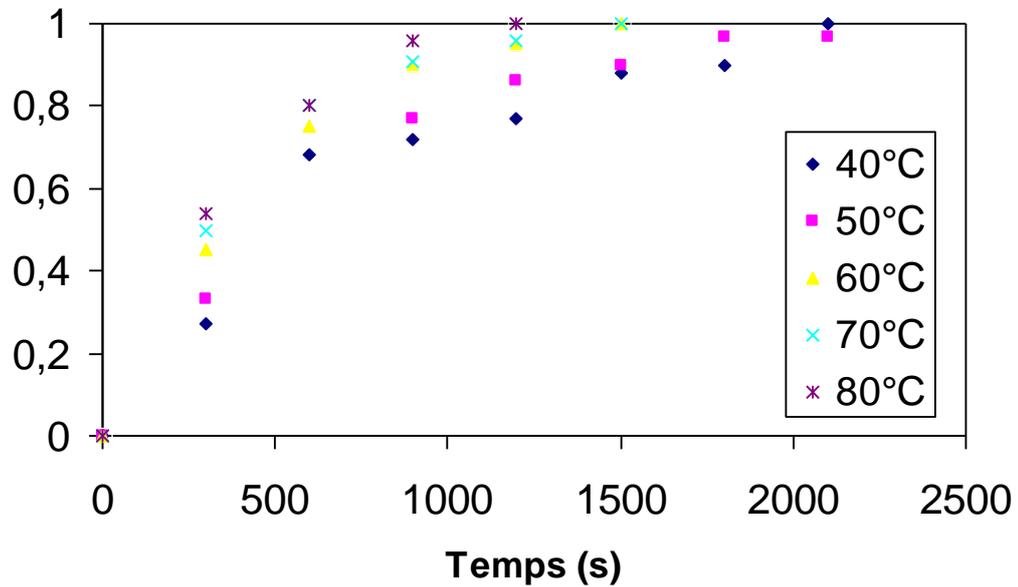


Figure 4. Effet de la température sur la cinétique de séchage des amandes (Le taux d'avancement  $\alpha$  est le rapport masse de l'eau perdue pendant un temps  $t$  sur la masse de l'eau perdue à l'équilibre)

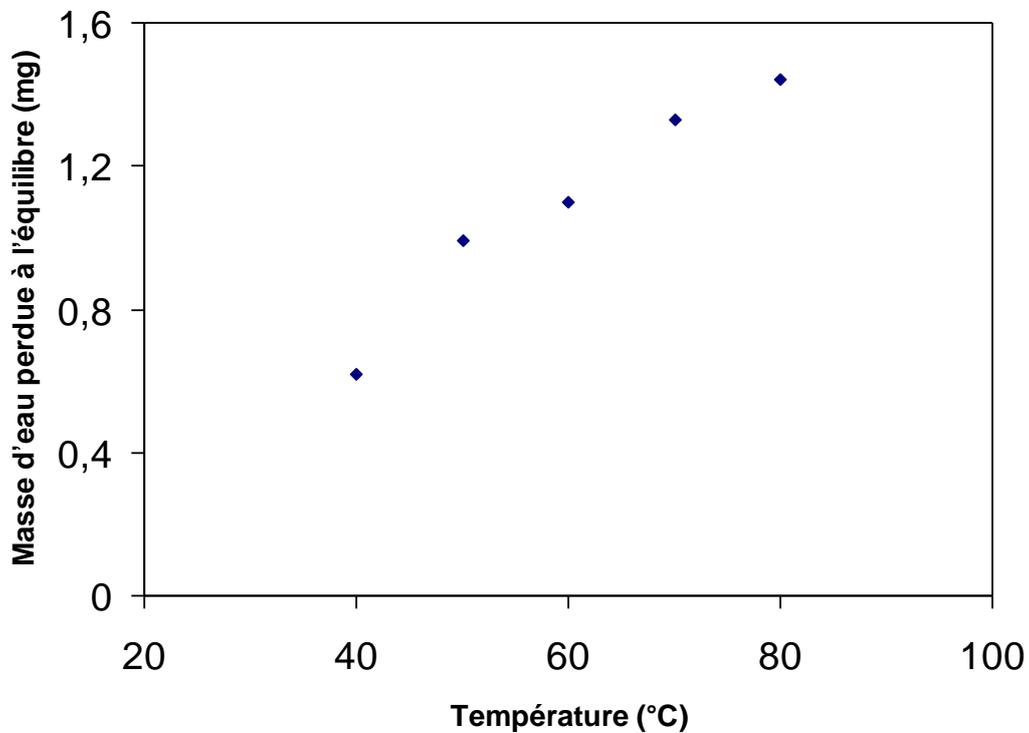


Figure 5. Variation de la masse d'eau éliminée à l'équilibre avec la température de séchage des amandes durant 3000 s

### 3.2.2 EFFET DE LA GRANULOMÉTRIE

Pour mieux voir son effet, la vitesse du séchage des amandes de l'arganier en fonction de la granulométrie est décrite par les courbes de variation de la masse d'eau perdue des amandes à l'équilibre en fonction du temps à 40°C (figure 6) et à 70 °C (figures 7,8).

Les résultats obtenus montrent que la vitesse de séchage dépend de la taille des amandes. On constate l'existence d'une granulométrie optimale comprise entre 0,6 mm et 1 mm pour laquelle, on aboutit à un séchage maximal des amandes soit à 40°C ou à 70°C. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'augmentation de l'énergie nécessaire pour le transfert de l'eau [19] en fonction de la taille de l'amande; en effet par diminution de la taille de l'amande, on diminue la surface du contact entre l'air desséchant et le produit étudié; la vitesse de migration de l'eau de l'intérieur de la particule vers l'extérieur se fait alors plus vite.

### 3.2.3 EFFET DE L'ÉPAISSEUR DE LA SURFACE DE LA CHARGE DE L'ÉCHANTILLON

Pour effectuer cette partie, nous avons choisis des masses initiales différentes variant de 10 à 60 mg en utilisant des nacelles de mêmes dimensions et de volumes égaux.

Les courbes donnant la variation du taux d'avancement  $\alpha$  en relation avec le temps sont représentées sur la figure 9 pour différentes masses initiales de l'échantillon. Il ressort de ces courbes expérimentales, que la masse influence la cinétique de réaction de désorption. On peut dire par là que la cinétique de réaction de désorption de la vapeur d'eau dépend de la masse initiale. Plus la masse est faible plus le temps de fin de la réaction est rapide. En effet, si l'épaisseur de la charge est de plus en plus grande, cela signifie que la vapeur d'eau doit traverser un parcours plus long expliquant ainsi et en grande partie le ralentissement de l'allure de séchage. La cinétique d'une réaction peut être influencée non seulement par la température et la granulométrie, mais aussi par d'autres paramètres telle que la masse de l'échantillon.

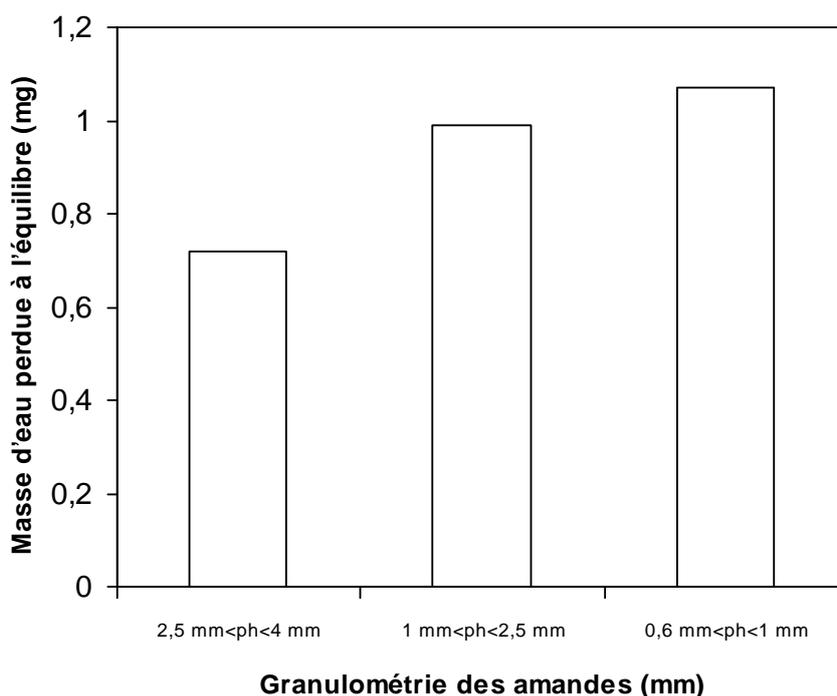


Figure 6. Variation de la masse d'eau éliminée à l'équilibre de la réaction de séchage à 40°C en fonction du temps et de la granulométrie des amandes (ph) durant 1800 s.

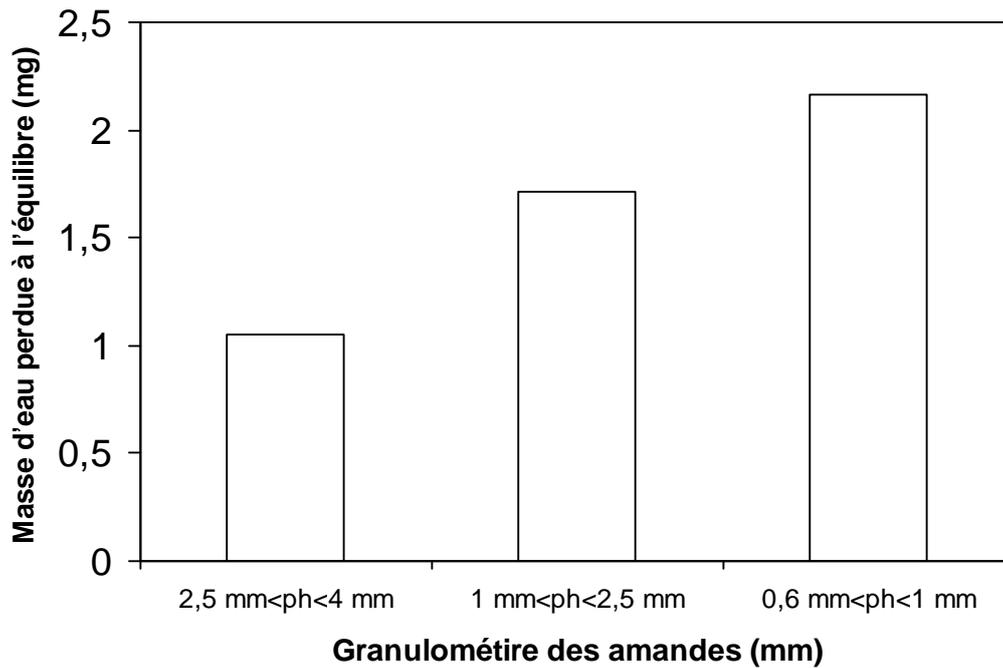


Figure 7. Variation de la masse d'eau éliminée à l'équilibre de la réaction de séchage à 70°C en fonction du temps et de la granulométrie des amandes ( $\phi$ ) à 2100 s.

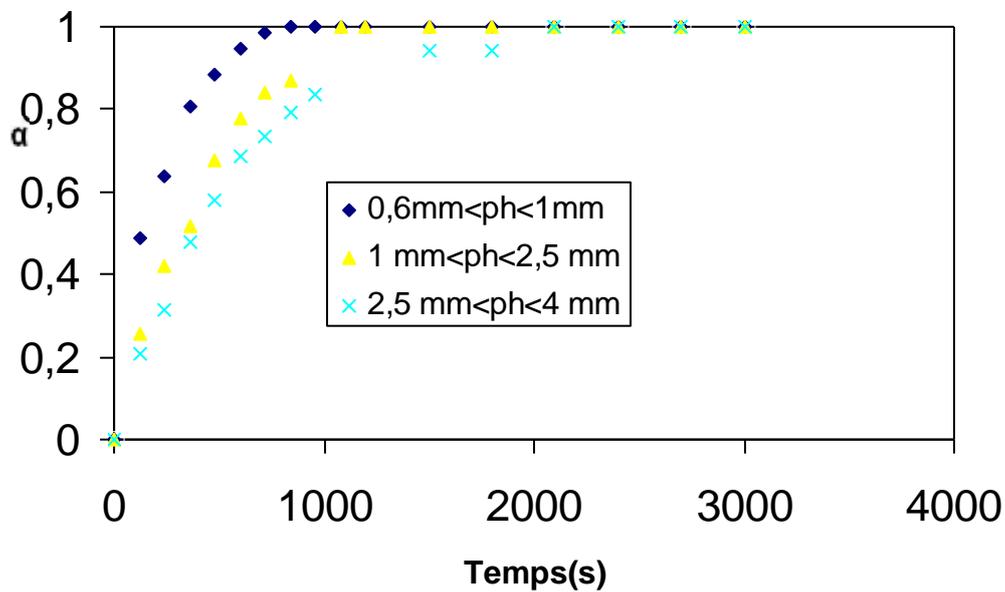


Figure 8. Degré d'avancement de la réaction de séchage à 70°C en fonction du temps et de la granulométrie des amandes ( $\phi$ ) (Le taux d'avancement  $\alpha$  est le rapport masse de l'eau perdue pendant un temps  $t$  sur la masse de l'eau perdue à l'équilibre).

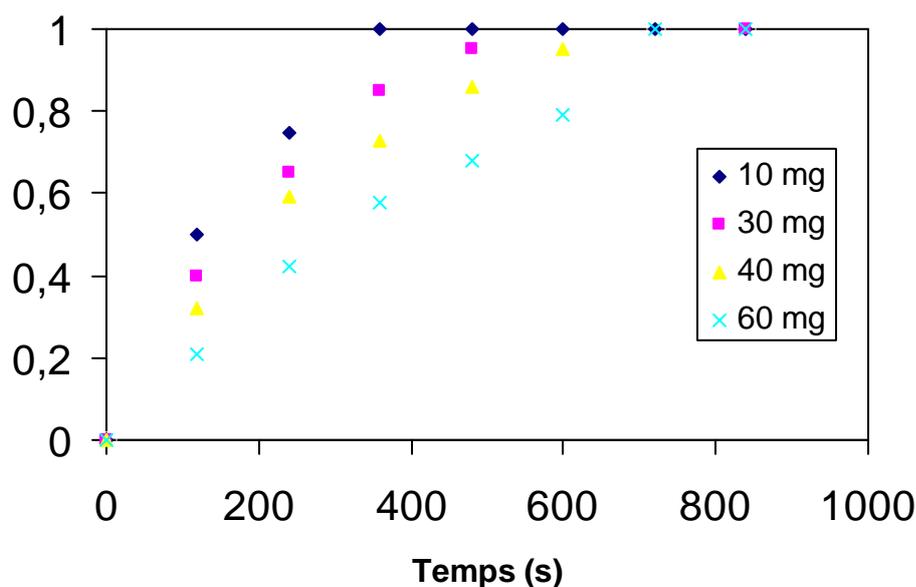


Figure 9. Effet de la taille de l'échantillon sur la cinétique de désorption à 40°C (Le taux d'avancement  $\alpha$  est le rapport masse de l'eau perdue pendant un temps  $t$  sur la masse de l'eau perdue à l'équilibre).

#### 4 CONCLUSION

Notre étude s'est axée sur l'étude des isothermes de sorption des amandes de l'arganier obtenues à l'aide de la méthode gravimétrique statique en utilisant des solutions salines saturées et de l'effet des différents facteurs sur la cinétique de séchage.

Les résultats montrent que les isothermes obtenues sont des courbes d'allure semblable à celles de la plupart des produits alimentaires et que l'augmentation de la température entraîne une diminution du taux d'humidité des amandes. La teneur en eau d'équilibre décroît lorsqu'on augmente la température. Le séchage des amandes de l'arganier a été étudié par entraînement à l'air chaud dans le but de valoriser ce produit et de mettre en évidence l'influence de différents paramètres. Plus la température est élevée, plus le temps de séchage est court et que la vitesse de déshydratation est rapide. Le temps de séchage nécessaire pour minimiser la teneur en eau des amandes croît rapidement quand la température augmente. En plus de l'effet de la température, d'autres facteurs ont un effet important sur le séchage des amandes de l'arganier : la granulométrie et la masse ; La granulométrie optimale des amandes pour laquelle on a une élimination maximale d'humidité au cours du séchage est comprise entre 0,6mm et 1 mm. La cinétique de réaction de désorption de la vapeur d'eau dépend de la masse initiale. Plus la masse est faible plus la réaction est rapide.

#### RÉFÉRENCES

- [1] A. Mountasser et M. El hadek, "Optimisation des facteurs influençant l'extraction de l'huile d'argan par une presse", *Oléagineux, corps et lipides*, vol. 6 no. 3, pp. 273-279, 1999.
- [2] J. L. Multon, "Conservation et stockage des gains et graines et produits dérivés : céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux", Technique et documentation" Ed. Lavoisier 1982.
- [3] R.A. Lemus, M. Perez, A. Andres, T. Roco, C.M. Tello and A. Vega, "Kinetic study of dehydration and desorption isotherms of red alga Gracilaria. LWT.", *Food Sciences. Technology*, vol. 41 no. 9, pp. 1592-1599, 2008.
- [4] M. DAGUENET, "Les séchoirs solaires: théorie et pratique", Publication de l'UNESCO, Paris, France 1985. [Online] Available : sur le Web : <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001234/123413Fb.pdf>.
- [5] A.B Azanha and J.A.F. Faria, "Use of mathematical models for estimating the shelf-life of cornflakes in flexible packaging", *Packaging Technology Sciences*, vol. 18 no. 4, pp. 171-178, 2005.
- [6] E. Dumoulin, J.J Bimbenet, C. Bonazzi, J.D. Daudin, E. Mabonzo, T. Turchiulj, "Activité de l'eau, teneur en eau des produits alimentaires: isothermes de sorption de l'eau, Industries Alimentaires et Agricoles", *Cahier. Scientifique*, pp. 8-9, 2004.
- [7] F. Gogus and M. Maskan, "Water adsorption and drying characteristics of okra (Hibiscus Esculentus L.)", *Drying technology*, vol. 17, no. 4, pp. 883-894, 1999.

- [8] N. Kechaou, M. Bagane, M. Maalej et C. Kapseu, "Approche empirique de la cinétique du séchage des dattes", *Sciences des aliments*, vol. 16, pp. 593-606, 1996.
- [9] R. M Myhara, M.S. Taylor, B. A. Slominski, I. Al-Bulushi, "Moisture sorption isotherms and chemical composition of omani dates", *Journal food engineering*, vol. 4 no. 37, pp. 471-479, 1998.
- [10] K. J. PARK, L. F. T. ALONSO, R. A. RODRIGUES and C. M. S. SCAVRONI, *Drying*, (1996) p 1023-1028. Park K.J., Alonso L.F.T., Rodrigues R.A., Scavroni C.M.S. (1996), Desorption isotherms of red ginger (sho-ga): experimental determination and evaluation of mathematical models, *Drying*, 1023-1028.
- [11] C. Ahouannou, Y. Jannot, B. Lips, A. Lallemand (2000), "Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux: manioc, gingembre et gombo", *Sciences des aliments*, vol. 20 no. (4/5), pp. 413-432, 2000.
- [12] O.O. Ajibola, and B.A. Adams, "Desorption equilibrium moisture content of cassava at several temperatures", *International. Agrophysics*, vol. 2 no. 3, pp. 235-239, 1986.
- [13] E. Belahimidi, A. Belghit, A. Mrani, A. Mir et M. Kaoua, "Approche expérimentale de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires: application aux peaux d'oranges et à la pulpe de betterave", *Revue Générale de Thermique*, vol. 20, pp. 1073-1089, 1993.
- [14] J.P Do Amaral Sobral, A. Lebert, J.J. Bimbenet, "Isothermes de désorption de la pomme de terre entre 40 et 70 °C", *Sciences des aliments*, vol. 19, pp. 711-720, 1990.
- [15] N. Kechaou, M. Maalej, "Desorption isotherms of imported banana – Application of the GAB theory", *Drying technology*, vol. 17 no. 6, 1203-1213, 1999.
- [16] G. M Newman., W. E. Price, L. A. Woolf, "Factors influencing the drying prunes. 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying", *Food chemistry*, vol. 57 no. 2, pp. 241-244, 1996.
- [17] J.C. CHEFTEL, H. CHEFTEL et P. BESANÇON, « Introduction à la biochimie et à la technologie alimentaire », *Technique et Documentation* Ed. Lavoisier (1992). Cheftel J.C., Cheftel H., Besançon P. (1992), *Introduction à la biochimie et à la technologie alimentaire*, Technologie et Documentation, Technique et Documentation-Lavoisier.
- [18] J.J. BIMBENET, A. DUQUENOY, et G. TRYSTRAM, « Génie des Procédés Alimentaires : des bases aux applications », Ed. Dunod. (2007). Bimbenet J.J., Duquenoy A., Trystram G. (2007), *Génie des Procédés Alimentaires : des bases aux applications*, Dunod.
- [19] J Wang and Y.S Xi., "Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process", *journal food Engineering*, vol. 68, pp. 505-511, 2005.