

Choix et validation d'un modèle de comportement pour le séchage convectif de la datte Deglet-Nour

Mohamed Hafed BERREBEUH *, Abdelghani BOUBEKRI, Djamel MENNOUCHE
et Samira CHOUICHA

*Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides et Sahariennes (LENREZA), Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière,
Université Kasdi Merbah Ouargla, BP. 511,
30000 Ouargla, ALGERIE*

*E-mail : hafedberbeuh@yahoo.fr

مختصر: يعتبر التجفيف ظاهرة فيزيائية معقدة حيث أن التنوع البيولوجي للمواد الغذائية واللاتجانس الطبيعي لها يتطلب اللجوء إلى وسيلة النمذجة التي تعتبر ذات أهمية تقنواقتصادية كبرى. تبين المراجع الحالية المتوفرة نقص الأعمال المعالجة لنمذجة تجفيف المنتوجات الزراعيوغذائية، لكن القليل من الباحثين اهتموا بالنماذج المعرفية و النماذج السلوكية المتعلقة بتجفيف التمور. في هذا العمل نهتم باستغلال النتائج التجريبية المتحصل عليها من تجفيف تمر الدقلة نور منطقة وادي ربيع بالجنوب الجزائري، بواسطة مجفف نموذجي للتجفيف بالحمل القسري العمودي. من أجل هذا تم تحديد أربع معادلات لنماذج، بناء على الأعمال السابقة المتوفرة في المراجع، و هي (أ) معادلة باج (ب) النموذج اللوغارتمي (ج) نموذج ميدلي (د) نموذج رياضي أسّي ذو حددين. لقد قمنا بتقريب منحنيات التجفيف التجريبية باستعمال طريقة التقريب بالإنحدار اللاخطي مستعينين ببرمجي خاص بهذا الشأن **CurveExpert**. هذه العملية قادتنا بكفاية إلى اختيار النموذج الرياضي الأسّي ذو حددين والذي عمم بعد ذلك على مجال درجة حرارة التجفيف بين 35° م و 70° م. كما قمنا كذلك بتقريب جيد لوسائط المعادلة النموذجية المعممة بدلالة درجات حرارة الهواء. و بهذا الخصوص تم التأكد من صلاحية مجال الحرارة المعتمد كونه المجال المناسب للنوعية الجيدة للمنتوج النهائي و ذلك اعتمادا على المراجع البحثية المتوفرة.

كلمات دلالية: التجفيف بالحمل الحراري، نموذج سلوكي، الانحدار اللاخطي، تمر

Résumé :

Le séchage étant un phénomène physiquement complexe, la diversité biologique des produits alimentaires et l'hétérogénéité naturelle de ceux-ci font que le recours au moyen de la modélisation devienne d'un intérêt technico-économique majeur. La littérature actuellement disponible montre une abondance de travaux traitant la modélisation du séchage des produits agroalimentaires mais peu d'auteurs se sont intéressés aux modèles de connaissance ou modèles de comportement concernant les dattes. Dans le présent travail on s'intéresse à exploiter les résultats expérimentaux issus du séchage de la datte Deglet-Nour de la région de Oued-Righ dans le sud-est algérien, effectué sur un séchoir pilote à séchage convectif perpendiculaire. A cet effet quatre équations modèles ont été retenues, sur la base de travaux antérieurs disponibles en littérature, à savoir, (a) Équation de Page (b) Modèle logarithmique (c) Modèle de Midilli (d) Modèle de deux termes. Le lissage des courbes expérimentales de séchage utilisant une analyse de régression non-linéaire moyennant le logiciel CurveExpert nous a conduit, avec satisfaction, à un modèle à deux termes exponentiels lequel a été, ensuite, généralisé sur une plage de températures de séchage entre 35°C et 70°C. Les paramètres de l'équation modèle généralisée ont été correctement corrélés avec la température de l'air asséchant et la plage de validité a été vérifiée par les données bibliographiques comme étant l'intervalle de température de traitement des dattes assurant la bonne qualité du produit final.

Mots clés : Séchage convectif, modèle de comportement, régression non-linéaire, Dattes

ABSTRACT

Drying being a physically complex phenomenon, the biological diversity of the foodstuffs and their natural heterogeneity make that the recourse for modeling means becomes of a major technico-economic interest. The currently available literature shows an abundance of work treating the modeling of food drying, but few authors were interested in knowledge or behavior models related to date fruits. The main objective of this work is to exploit some experimental results of Deglet-Nour date drying carried out on a pilot drier with perpendicular convective drying. Date samples were harvested from Oued-Righ area in the south-east of Algeria. To this end four model equations were retained, on the basis of former work available in literature, namely, (a) Page equation (b) Logarithmic Model (c) Model of Midilli (d) Two terms exponential Model. The experimental drying curves were fitted by a non-linear regression analysis using the CurveExpert software. Obtained results classified the two exponential terms as the best model which was, then, generalized on a range of drying temperatures between 35C and 70C. The parameters of the generalized model equation were smoothly correlated with the drying air temperature. In addition, the adopted range of validity was checked by the bibliographical data as being the interval of heat treatment ensuring the good quality of the final product.

Key words: Convective drying, model of behavior, non-linear regression, Dates

1. Introduction

La datte Deglet-Nour est un fruit à haute valeur commerciale largement produit en Algérie [1]. C'est une variété propre aux pays du Maghreb caractérisée par sa consistance demi-molle due à une répartition des sucres équilibrée entre le saccharose et les sucres réducteurs glucose et fructose [2]. A sa récolte, cette variété est souvent triée en plusieurs catégories dont la datte sèche dite « Frezza » présente un état de maturation incomplet avec dessèchement à l'arbre par effet de climat chaud ou de mauvaise irrigation. En proportion cette catégorie peut faire de 10% à 25% de la production de Deglet-Nour, voire plus, selon les conditions climatiques [2, 3, 4].

Dans la pratique des traitements poste-récolte l'amélioration de qualité des dattes « Frezza » est faite par une succession d'hydratation par imprégnation dans l'eau suivi d'un étuvage en vapeur. Boubekri et al. [2] ont proposé une méthode de traitement par hydratation poussée suivie d'un séchage convectif à air chaud ramenant la datte à sa teneur en eau standard soit environ 26% à base humide. Une procédure semblable utilisant l'énergie solaire a été étudiée par Chouicha S. et al. [5]. L'opération de séchage dans ce cas de situation est justifiée par le fait que la qualité requise pour le fruit nécessite une préhydratation ramenant l'humidité à une valeur non tolérée pour la commercialisation. Par ailleurs la compréhension des mécanismes mis en jeu lors du séchage de la datte s'avère d'un intérêt confirmé. C'est dans ce sens que le présent travail vise à rechercher un modèle mathématique approprié pouvant décrire le comportement physique de la datte lors du séchage convectif en couche mince sans régulation de l'humidité relative de l'air. La validation d'un tel modèle peut servir comme donnée très utile pour des éventuelles applications industrielles.

2. Revue des modèles usuels

Les travaux antérieurs traitant du transfert d'humidité au sein d'un produit solide, peuvent se distinguer par leurs aspects en trois catégories : des modèles à caractère analytique, semi-empirique ou purement empirique. Ce dernier type consiste en des équations déduites à partir des courbes expérimentales de séchage [6]. Dans les ASAE standards (1999) on trouve regroupées les équations de séchage en couche mince de plusieurs produits agroalimentaires suivant un modèle empirique utilisant deux formes d'équations en exponentielle (kt) et (ktn). L'équation de chaque produit est distinguée par ses constantes k et n , et les plages d'application de la température, humidité de l'air de séchage et parfois la teneur en eau initiale du produit. On y trouve aussi la référence par auteur de chacune des équations.

Actuellement en littérature, il ya une richesse de travaux traitant de la modélisation du séchage des produits agroalimentaires mais la plupart des ces études ont été basées sur le séchage en couche mince des produits tels que le maïs, les noix de pécan, le riz, la graine de colza, la luzerne, le kénaf, et le taxol blanc [7]. Par contre, peu d'auteurs se sont intéressés aux modèles de reconnaissances ou modèles de comportement concernant les dattes [2, 7, 8, 9, 10]. Pour cela et afin de s'aligner avec la logique de notre étude, il est important de citer quelques études relatives aux dattes et à des produits similaires se caractérisant par la structure pulpe-noyau tels que les prunes, les raisins et les abricots.

Une recherche bibliographique sur la modélisation des cinétiques de séchage des dattes et des produits structurellement semblables, à savoir structure pulpe/noyau est récapitulée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Résumé des modélisations de séchage des dattes et des produits à structure pulpe-noyau

Produit d'étude	Auteur	Nombre de modèles utilisés	Critères de choix	Modèle approprié	Référence
Dattes	Kechaou et al. (1996), (2000)	03	- Le coefficient de détermination le plus élevé	L'équation de page	[11]
	Baskri H. Hassan et Ali I. Hobani. (2000)	02	- La recherche bibliographique - L'interprétation des figures	L'équation de page $XR(t) = \exp(-k t n)$	[07]
	Boubekri A, Benmoussa H et Mennouche Dj (2007)	03	-L'erreur standard minimale - Le coefficient du corrélation le plus élevé	Logarithmique $XR(t) = A_1 \exp(-k t) + A_2$	[10]
Abricots	İnci Türk Toğrul et al. (2003)	14	- Chi-2. (χ^2) minimale - REQM minimale - E S M l'erreur systématique moyenne (M B E) minimale - Le coefficient de corrélation le plus élevé.	Logarithmique $XR(t) = A_1 \exp(-k t) + A_2$	[12]
	Oğuz Bozkır (2005)	01	- Comparaison entre les valeurs de l'exposant de séchage expérimentale et calculé avec le coefficient du corrélation	L'équation de page $XR(t) = \exp(-k t n)$	[13]
Prunes	Hakan Okyay Menges, Can Ertekin, (2006)	14	- Chi-2. (χ^2) minimale - REQM minimale - (E-F) l'efficacité de modélisation le plus élevé	Midilli et autres $XR(t) = A_1 \exp(-k t n) + A_2 t$	[14]
	R. K. Goyal et al. (2007)	05	- Chi-2. (χ^2) minimale - REQM minimale - Le coefficient du corrélation le plus élevé	Logarithmique $XR(t) = A_1 \exp(-k t) + A_2$	[15]
	Kamil Sacilik, Ahmet Konuralp Elicin, Guran Unal (2006)	04	- Chi-2. (χ^2) minimale - REQM minimale - EMD la déviation relative moyenne pour cent minimale - Le coefficient de détermination (R2) le plus élevé	Deux termes $XR(t) = A_1 \exp.(-k_1 t) + A_2 \exp.(-k_2 t)$	[16]

Selon le tableau 1 on peut ressortir ci-dessous les modèles les plus couramment utilisés pour le séchage de ce genre de produits pouvant être jugés comme les plus appropriés, du moins pour une première sélection :

- 1) Equation de Page
- 2) Modèle Logarithmique
- 3) Modèle de Midilli et autres
- 4) Modèle à Deux termes

Le tableau 2 ci-dessous récapitule la formulation mathématique de ces modèles.

Tableau 2 : Formulation mathématique des modèles investis

	Modèle	Expression mathématique
01	Page	$XR(t) = \exp(-k t n)$
02	Logarithmique	$XR(t) = A_1 \exp(-k t) + A_2$
03	Midilli et autres	$XR(t) = A_1 \exp(-k t n) + A_2 t$
04	deux termes	$XR(t) = A_1 \exp(-k_1 t) + A_2 \exp(-k_2 t)$

Avec XR représentant la teneur en eau réduite donnée par la relation suivante :

$$XR(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \tag{1}$$

Où,

- X (t) dénote la teneur en eau instantanée en kg eau/ kg de matière sèche
- X0 dénote la teneur en eau initiale en kg eau/ kg de matière sèche
- Xeq représente la teneur en eau d'équilibre calculée selon Kechaou et Maalej [17] par la relation donnée ci-dessous :

$$\frac{X_{eq}}{X_m} = \frac{C.K.HR}{(1 - K.HR).(1 - K.HR + C.K.HR)} \tag{2}$$

Avec,

$$C = 1.514 \cdot 10^{-09} \exp [61089 / R.T]$$

$$K = 72.765 \exp [-11710 / R.T]$$

$$X_m = 1.067 \cdot 10^{-09} \exp [47614 / R.T]$$

Où R [J/mol.K] représente la constante des gaz parfaits, T [K] la température absolue, X_m la teneur en eau de la monocouche et HR l'humidité relative de l'air.

3. Méthodologie de sélection du modèle à adopter

3.1. Source des données

Les données exploitées dans cette partie de l'étude sont tirées des résultats déterminés expérimentalement par Boubekri A. et al. [10], pour des cinétiques de séchage des dattes Deglet-Nour effectuées sur un séchoir pilote installé au laboratoire de séchage du département de génie des procédés alimentaires de AgroparisTech (ex-ENSIA) Massy (France).

Il est utile de rappeler ici que les échantillons séchés, dans les expériences exploitées, représentent des dattes triées et classées comme catégorie naturellement sèche (dessèchement à l'arbre par climat chaud) qui ont été préalablement réhydratées par trempage à l'eau chaude ultra pure permettant ainsi d'assurer une teneur en eau initiale au séchage de l'ordre de 0.5 kg d'eau/kg de matière sèche. Les conditions opératoires des essais utilisés sont récapitulées sur le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Conditions expérimentales des cinétiques de séchage exploitées

Essai N °	Température Imposée °C	Température moyenne Mesurée °C	Erreur Standard	HR moy	Erreur Standard	X ₀ Kg d'eau /Kg Ms	Vitesse d'air m /s
01	35	37.26	0.15	0.11	0.01	0.563282	1.5
02	45	46.96	0.49	0.08	0.01	0.452787	1.5
03	60	61.48	0.73	0.02	0.00	0.490737	1.5
04	75	75.51	0.72	0.01	0.00	0.482896	1.5
05	85	85.26	1.83	0.00	0.00	0.494686	1.5

La méthodologie suivie dans ce travail est donc de déterminer les valeurs optimales des paramètres des différents modèles à chaque température de séchage puis choisir le modèle approprié utilisant une analyse de régression. L'étape suivante sera de rechercher une équation modèle généralisée et validée dans une plage de température correspondante aux conditions opératoires appliquées en industrie.

3.2 Formulation mathématique des critères de choix

Le choix d'un modèle approprié à la description du comportement physique de la datte Deglet-Nour lors du séchage convectif, est basé sur la confrontation des courbes estimées par chacun des quatre modèles à celles expérimentales en appliquant aux différentes températures. On a procédé d'autre part à l'analyse statistique utilisant les critères suivants :

- Coefficient de corrélation (r) élevé
- Erreur standard de l'évaluation (S) minimale

Ces paramètres statistiques sont définis par :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{point}} (y_i - f(x_i))^2}{n_{point} - n_{param}}} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{\frac{S_t - S_r}{S_t}} \quad (4, a)$$

où

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_{point}} (\bar{y} - y_i)^2 \quad (4, b)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n_{point}} \sum_{i=1}^{n_{point}} y_i \quad (4, c)$$

et

$$S_r = \sum_{i=1}^{n_{point}} (y_i - f(x_i))^2 \quad (4, d)$$

Où $y=f(x_i)$ dénote la valeur calculée par le modèle de régression, y_i dénote les données mesurées, et le n_{param} est le nombre de paramètres dans le modèle particulier et \bar{y} (y bar) la moyenne des données pointe

4. Résultats et interprétations

4.1. Paramètres statistiques

Les calculs des XR (t) à partir des X (t) sont effectués par Excel et différents calculs de régressions ont été faits moyennant le logiciel CurveExpert par utilisation des options « modèle utilisateur » et « recherche du meilleur modèle ». Les premiers résultats des critères statistiques d'évaluation pour chacun des quatre modèles investis, sont regroupés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Critères statistiques selon les quatre modèles

T [°C]	1. Equation de Page		2. Logarithmique		3. Midilli		4. Deux termes	
	S	(r)	S	(r)	S	(r)	S	(r)
35	0.0059	0.9990	0.0048	0.99934	0.0032	0.9997	0.0028	0.9997
45	0.0051	0.9993	0.0028	0.9998	0.0023	0.9999	0.0027	0.9998
60	0.0177	0.9933	0.0065	0.9991	0.0033	0.9997	0.0028	0.9998
75	0.9942	0.9943	0.0124	0.9973	0.0058	0.9994	0.0034	0.9998
85	0.0249	0.9944	0.0182	0.9944	0.0058	0.9994	0.0081	0.9989

Une lecture globale du tableau 4 dans un point de vue comparatif indique que les valeurs des deux critères statistiques utilisés paraissent très proches, ce qui rend difficile la bonne distinction entre les quatre modèles. Pour cela et afin de permettre une comparaison plus claire on a choisi la représentation graphique sous forme d’histogrammes comparatifs des valeurs de chacun des critères statistiques pour les cinq températures utilisées en application aux quatre modèles examinés.

En fait l’analyse des résultats présentés sur les figures 1 et 2 mène à dire que les modèles de Midilli et celui de deux termes sont tout deux mathématiquement acceptables. On peut facilement noter que :

- Les valeurs les plus élevées des coefficients des corrélations sont celles du modèle à deux termes à 35, 60, 75 °C, du modèle Midilli à 45 et 85 °C.
- Les valeurs minimales d’erreurs standards sont celles du modèle à deux termes à 35, 60 et 75 °C, du modèle Midilli à 45, 85 °C.

Sur ce et afin de raffiner notre choix, nous allons, dans la suite, procéder à des comparaisons graphiques portant uniquement sur les deux derniers modèles à savoir modèle de Midilli et modèle à deux termes.

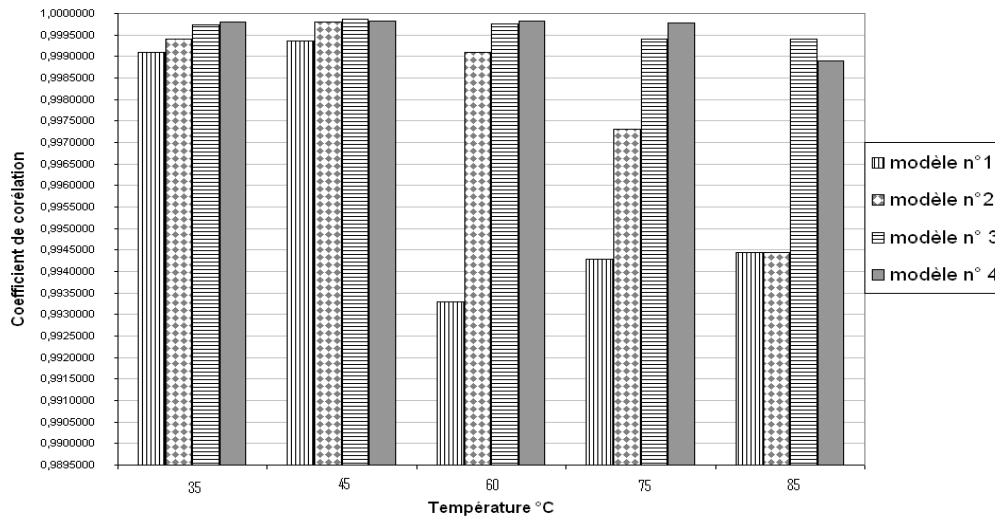


Figure 1 : Évaluation des coefficients de corrélations (r) pour différentes températures

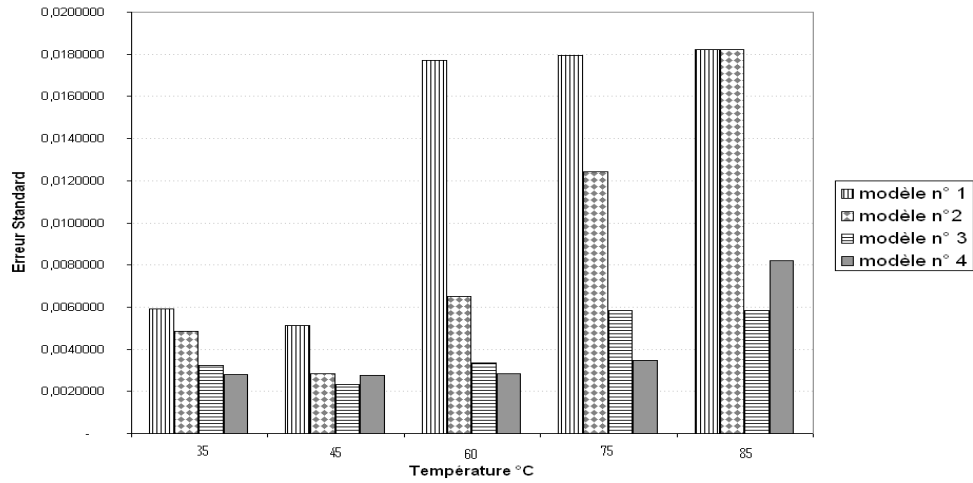


Figure 2 : Évaluation de l'erreur standard (S) à chaque température pour les quatre modèles

3.2 Analyses et interprétations

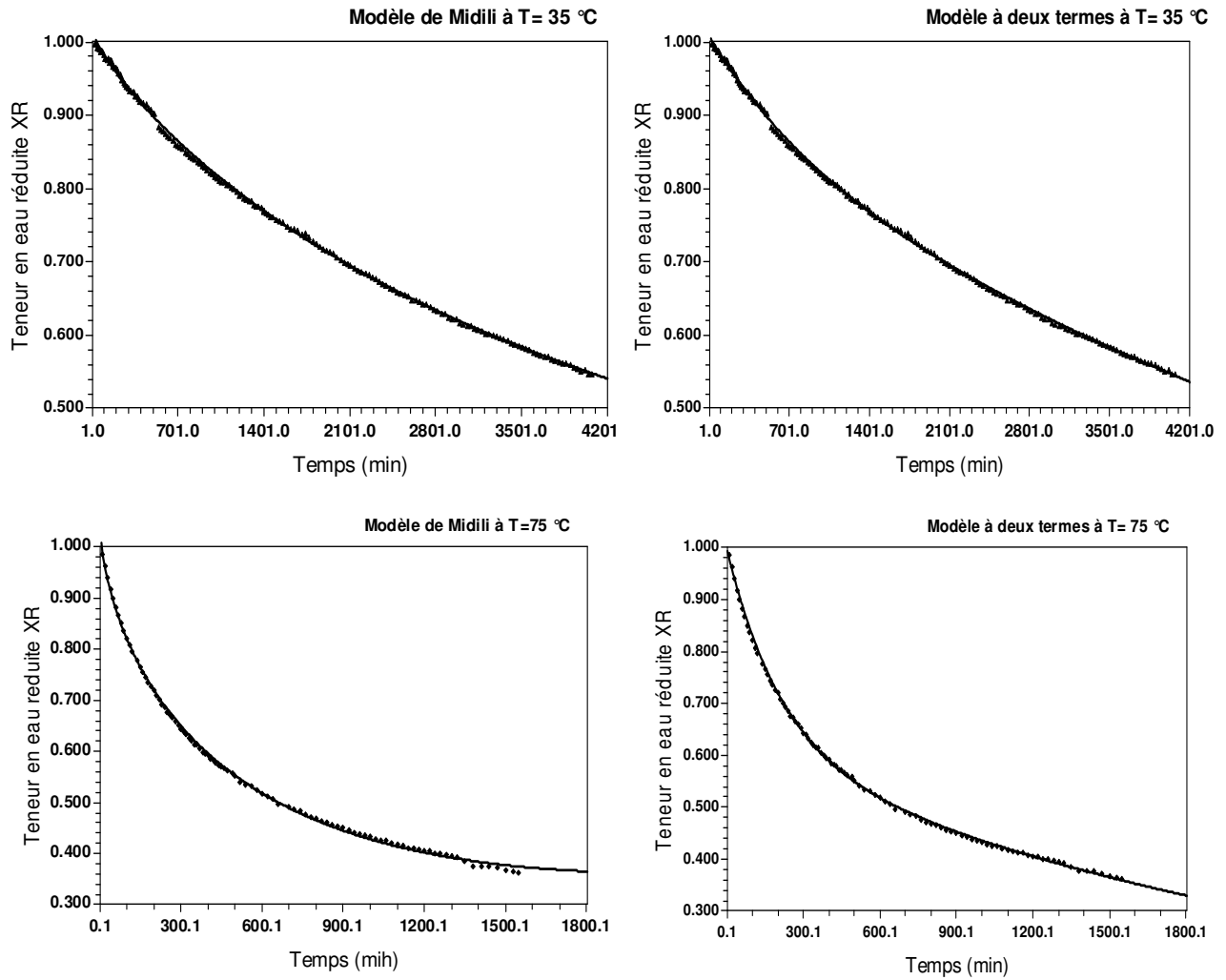


Figure 3 : Évolution de teneur en eau réduite estimée et mesurée en fonction du temps

En examinant cas par cas les graphes représentés dans la figure (3) et si on rassemble les résultats d'analyse obtenus le long de ce chapitre on peut adopter le choix de l'équation du modèle à deux termes comme étant la plus appropriée pour décrire le séchage en couche mince de la variété de dattes Deglet-Nour dans une plage de températures allant de 35°C à 75 °C. Il est aussi utile de noter que la température de séchage assez élevée de 85°C n'a pas donné de résultats satisfaisants lors de la modélisation. Cette remarque fait limiter la plage de validité en température du modèle choisi, mais ne pose pas de problème réel dans la pratique de séchage des dattes. En effet les sources bibliographiques disponibles [04, 08] évoquent le problème de brunissement du fruit lors du séchage au-delà de 70°C.

Enfin l'expression de l'équation du modèle approprié est donnée par :

$$XR(t) = A_1 \exp(-k_1 \cdot t) + A_2 \exp(-k_2 \cdot t) \quad (5)$$

Les valeurs des paramètres de cette équation pour chacune des températures de séchage appliquées sont détaillées sur le tableau.4 ci-dessous.

Tableau 4 : Valeurs des paramètres A_1 , A_2 , k_1 et k_2

Température °C	A_1	K_1	A_2	K_2
35	0.87719	0.000112	0.12926	0.00121
45	0.59656	0.00010	0.39634	0.00079
60	0.422189	0.00020	0.57070	0.00013
75	0.60555	0.00034	0.389289	0.00469

4.3 Généralisation de l'équation de séchage

Utilisant les données du tableau 4 et moyennant la fonction lissage de courbes sur Curve-Expert permettant de rechercher un meilleur modèle nous avons obtenu les fonctions de tendance pour chacun des paramètres de l'équation 3 comme présentée sur le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Fonctions de tendance avec critères statistiques

	Équation appropriée	Erreur Standard (S)	Coeff. de corrélation (r)
A_1	$A_1 = a + bT + cT^2$	0.01472	0.99897
K_1	$K_1 = a + bT + c/T^2$	0.000006	0.99947
A_2	$A_2 = \exp(a + b/T + c \cdot \ln(T))$	0.014079	0.99900
K_2	$K_2 = \exp(a + b/T + c \cdot \ln(T))$	0.000120	0.99926

Se basant sur ces résultats, nous pouvons écrire les expressions de l'équation générale et des paramètres du modèle telles que données ci-dessous :

$$XR(t, T) = A_1(T) \exp(-k_1(T) \cdot t) + A_2(T) \exp(-k_2(T) \cdot t) \quad (6)$$

Où :

$$A_1(T) = 3.4502 - 0.0994 \cdot T + 0.0008 \cdot T^2$$

$$k_1(T) = -0.0006 + 1.19298 \cdot 10^{-05} \cdot T + 0.4352/(T^2)$$

$$A_2(T) = \exp(64.6147 - 754.5035 / T - 12.8474 \ln(T))$$

$$k_2(T) = \exp(-96.1166 + 854.7179 / T + 18.3685 \cdot \ln(T))$$

et avec la plage des températures de l'air : $35^\circ\text{C} \leq T \leq 75^\circ\text{C}$

4.4. Validation de l'équation générale de séchage

Afin d'assurer une bonne vérification de cette nouvelle équation empirique générale $XR=f(t,T)$ on se propose de faire des tracés des courbes représentant les teneurs en eau réduites expérimentales et prédites en fonction du temps, d'une part et d'autre part les courbes représentant les teneurs en eau réduites prédites en fonction de celles expérimentales (méthode de la bissectrice) [13, 14]. Pour cela nous avons choisi les cas des températures limites de validité du modèle, à savoir 35°C et 75 °C.

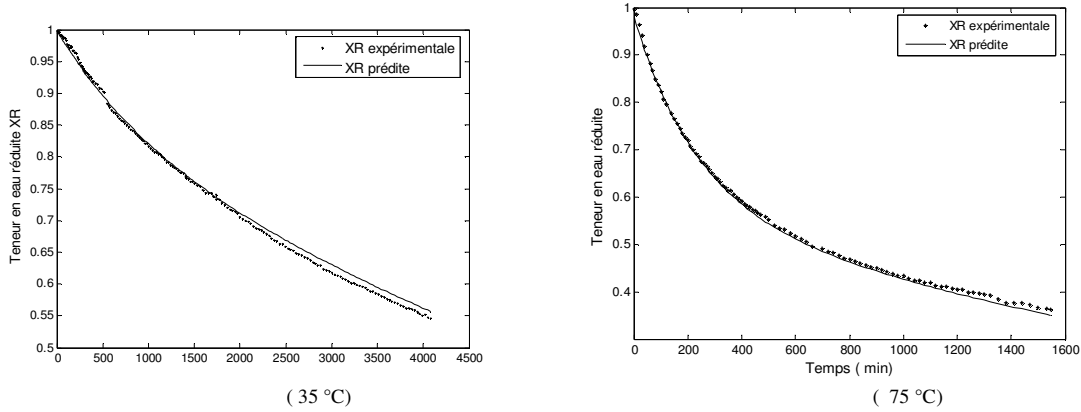


Figure 4-a : Evolutions des teneurs en eau réduite expérimentale et prédite par le modèle à deux termes à T = 35 °C ; 75 °C

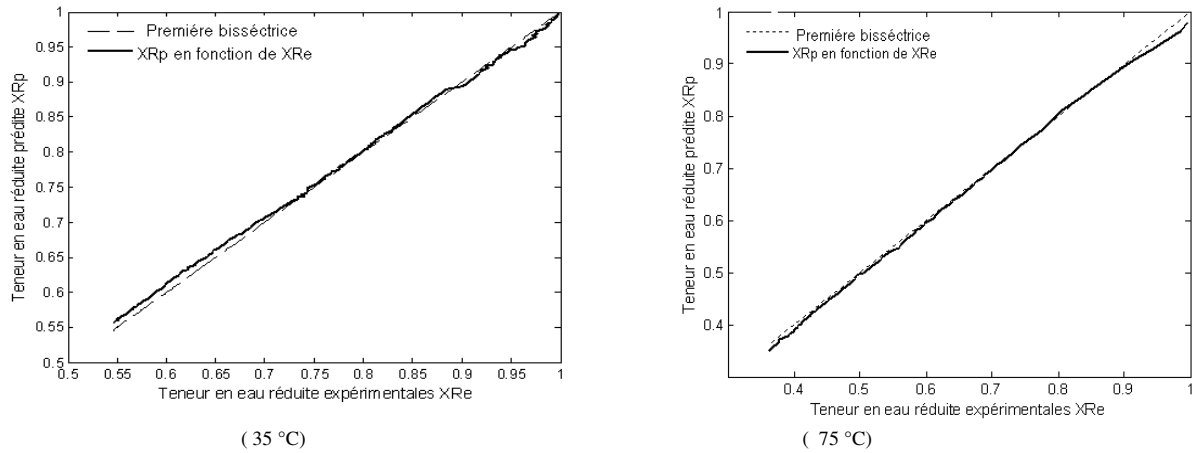


Figure 4-b : Teneur en eau réduite prédite par le modèle à deux termes en fonction des teneurs en eau réduite expérimentale à T = 35 °C ; 75 °C

5. Conclusion

Le lissage des courbes expérimentales de séchage utilisant une analyse de régression non-linéaire moyennant le logiciel CurveExpert nous a conduits, avec satisfaction, à un modèle à deux termes exponentiels lequel a été ensuite généralisé sur une plage de températures de séchage entre 35°C et 75°C. Les paramètres de l'équation du modèle généralisé ont été correctement corrélés avec la température de l'air asséchant et la plage de validité des températures a été vérifiée par les données bibliographiques comme étant l'intervalle de température de traitement des dattes assurant la bonne qualité du produit final. Les résultats ainsi obtenus pourront être utiles à la mise en place des bonnes conditions opératoires lors des applications industrielles relatives aux traitements thermiques de la datte Deglet-Nour algérienne.

Références bibliographiques

- [1] عزاوي عمر, استراتيجية تسويق التمور في الجزائر, مجلة الباحث بجامعة قاصدي مرباح ورقلة العدد 01 ص 44, 50 (2002).
- [2] A. Boubekri, H. Benmoussa, F. Courtois et C. Bonazzi ; Softening of over-dried “Deglet-Nour” dates to obtain high-standard fruits: impact of rehydration and drying processes on quality criteria. *Drying Technology, an International Journal*, Vol. **28**, issue 2, 222-231 (2010)
- [3] حسين عبد الرحمان شبانة, ثمار النخيل فسلجتها, جنيتها, تداولها والعناية بها, الفصل الخامس, مطبوعات منظمة الأغذية و الزراعة (2006)
- [4] A. Zaid et E. J. Arias-Jiménez ; *Date Palm Cultivation*. FAO, Rome (2002).
- [5] S. Chouicha, A. Boubekri, H. Bouguetaia, D. Mennouche et M. H. Berrebeuh , Séchage et qualité des dattes deglet-nour rehumidifiées par utilisation d’un sechoir solaire hybride ; *Annales des Sciences et Technologie* Ouargla, Vol. **2**, N° 1, 37-47 (2010)
- [6] O. R. Clara, S. Constantino et Pascual E. Viollaz ; Drying of Foods: Evaluation of a Drying Model, *Journal of Food Engineering* Vol. **26** page-1-12 (1995)
- [7] H. Bakri et Ali I. Hobani ; Thin-layer drying of date ; *Journal of Food Processes Engineering*, **23**, 177-189 (2000).
- [8] A. Belarbi ; Stabilisation par séchage et qualité de la datte Deglet Nour ; *Thèse de Doctorat de l’ENSIA*, Massy (2001).
- [9] N. Kechaou et M. Maalej ; A simplified model for determination of moisture diffusivity of date from experimental drying curves ; *Drying Technology An International Journal*, **18**(4/5) : 1109-1125 (2000).
- [10] A. Boubekri, H. Benmoussa, F. Courtois et C. Bonazzi ; Influence of drying on “Deglet-Nour” date quality ; *European Drying Conference*, Cahier de l’AFSIA n°22, 104-105 (2007).
- [11] N. Kechaou, M. Maalu et C. Kapseu ; Empirical approach of drying kinetics of dates. *Sciences des Aliments* **16** (6), 593-606 (1996).
- [12] T. T. Inci et P. Dursun ; Modeling of drying kinetics of single apricot ; *Journal of Food Engineering*, **58**, 23-32 (2003).
- [13] B. Oğuz ; Thin-layer drying and mathematical modeling for washed dry apricots ; *Journal of Food Engineering*, Vol. **77**, 146-151 (2005).
- [14] O. M. Hakan et E. Can ; Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums; *Journal of Food Engineering*, Vol. **47**, 2337–2348 (2006).
- [15] R.K. Goyal, A.R.P. Kingsly, M.R. Manikantan et S.M. Ilyas ; Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer ; *Journal of Food Engineering*, Vol. **79**, 176-180 (2007).
- [16] S. Kamil, K. E. Ahmet et U. Guran ; Drying kinetics of Üryani plum in a convective hot-air dryer ; *Journal of Food Engineering*, Vol. **76**, 362-368 (2006).
- [17] N. Kechaou et M. Maalej ; The characteristic drying equation of the Tunisia Deglet-Nour dates; In *Drying’-Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS’98)*. Halkidiki, Greece, August 19-22; Vol. (C), 2049-2056 (1998).