

SECHAGE ET QUALITE DES DATTES DEGLET-NOUR REHUMIDIFIEES PAR UTILISATION D'UN SECHOIR SOLAIRE HYBRIDE

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

Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides et Sahariennes (L.E.N.R.E.Z.A.), Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla, Algérie

*E-mail : babdelghani@hotmail.fr

RESUME : La datte est un aliment historique de grande valeur énergétique, particulièrement la variété Deglet-Nour à haute valeur commerciale et largement produite en Algérie. 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. En proportion cette catégorie peut faire de 10% à 25% de la production de Deglet-Nour, voire plus, selon les conditions climatiques. L'objectif du présent travail est de rechercher l'amélioration de qualité des dattes « frezza » par succession d'hydratation et séchage utilisant un séchoir solaire hybride indirect en convection forcée. Les courbes de séchage aux températures 45°C, 50°C, 55°C, 60°C et 65°C ont été obtenues et commentées. Les durées de séchages respectives étaient de 9h, 7.5h, 6h, 4.5h et 3h. La qualité du produit final a été évaluée tenant en compte les critères de texture, couleur et croissance microbienne. Les conditions opératoires assurant un meilleur rapport (qualité/durée de traitement) ont été arrêtées à un prétraitement d'hydratation par trempage à l'eau suivi d'un séchage à 50°C sous courant d'air s'écoulant à 1.2 m/s

MOTS CLES : Séchage, Séchoir solaire hybride, Convection forcée, Dattes, Deglet-Nour

1. Introduction

Le gisement solaire représente l'une des sources d'énergie non polluante et économique de plus en plus demandée au niveau international. Parmi les applications intéressantes on peut considérer les traitements thermiques post-récolte du fruit dattier largement produit dans la région du sud algérien où le climat saharien aride offre un bon rayonnement solaire durant toute l'année [1].

L'Algérie occupe le sixième rang mondial parmi les pays producteurs de dattes avec une production annuelle moyenne estimée à 440000 tonnes pour plus de douze millions de palmiers dattiers, et le premier rang dans la production de la variété Deglet-Nour. Cette datte, au goût très doux, juteuse et quasi-transparente, est la plus appréciée par les consommateurs aussi bien sur le marché national qu'international [2].

La variété Deglet-Nour est un fruit climatérique à maturation échelonnée sur le même régime de telle sorte qu'à la récolte on aura des dattes mûres et d'autres immatures ; desséchées sur le palmier ce qui donne la catégorie Frezza. Cette variété nécessite un traitement post récolte afin de minimiser les pertes et éviter les accidents de conservation et de stockage selon la climatologie de l'année [3].

Dans les traditions, les dattes naturellement trop humides et les dattes sèches réhumidifiées étaient ramenées à l'humidité normale par exposition directe au soleil pendant quelques jours. Actuellement, en regardant les exigences du consommateur moderne, le séchage solaire indirect serait plus convenable par le fait qu'il permet d'écourter le temps de séchage et de préserver la qualité du produit. En effet, comme pour tout mode de séchage, le solaire est étroitement lié à la qualité du produit finalement jugée par l'appréciation du consommateur [1].

Les quelques études disponibles sur les dattes [4-10] montrent que les critères de texture, couleur, flaveur et humidité sont adoptés par la majorité des auteurs comme paramètres d'évaluation de la qualité totale des dattes au cours de mûrissement naturel ou à travers un procédé industriel tel que la maturation artificielle, la réhumidification, le séchage ou le stockage à froid. Il convient de noter que l'état de maturation de la datte représente la donnée de référence pour une meilleure

connaissance des critères de bonne qualité, cette connaissance étant la donnée de base à considérer lors des traitements post-récolte de la datte.

Dans le cas des dattes Deglet-Nour le recours au séchage est nécessaire dans les situations suivantes :

i- Cas des dattes récoltées mures mais dépassant les normes d'humidité acceptables (au-delà de 25% à base humide). C'est le cas traité par Belarbi A. [6] qui a étudié la stabilisation par séchage des dattes Deglet-Nour sous des conditions de températures allant de 50°C à 80°C et des humidités relatives entre 30% et 60 %. L'étude a montré que l'augmentation de la durée et la température du séchage cause un assombrissement de couleur, cela se manifeste nettement à 80°C. En revanche la vitesse de l'air n'a pas montré des changements significatifs sur les cinétiques de séchage obtenues.

ii- Cas des dattes prématurées traitées à l'eau chaude ou étuvées à la vapeur (air chaud très humidifié). C'est l'exemple de l'étude faite par Hamdi S. et Hamdi M. (1991) [3] qui ont étudié le séchage des dattes Deglet-Nour tunisiennes à une vitesse d'air de 0.33m/s sous des températures de 32°, 47° et 74°C. Les auteurs de ce travail ont utilisé le séchoir même pour assurer, et la maturation et le séchage. Ils concluent, sur la base de l'évolution des sucres totaux en fonction de l'humidité, que la maturation est largement favorisée au dépend du séchage par utilisation d'une température proche de l'activité optimale de l'invertase (autour de 45°C).

iii- Cas des dattes Deglet-Nour sèches hydratées en vue de ramollissement. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre présent travail. Nous avons ainsi opté pour étudier le séchage solaire des dattes Deglet Nour et pour ce faire, nous nous sommes fixés deux objectifs ; le premier étant l'étude de la cinétique de séchage des dattes Deglet-Nour en regardant l'influence des conditions opératoires sur la durée de séchage. Le deuxième objectif vise à prévoir l'influence de traitement thermique des dattes Deglet-Nour par séchage solaire sur l'amélioration de la qualité finale des dattes par examen des aspects qualité.

L'objectif du présent travail est de rechercher l'amélioration de qualité des dattes Deglet-Nour sèches dites « frezza » par succession d'hydratation et séchage utilisant un séchoir solaire hybride indirect en convection forcée.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description du système de séchage

Dans cette étude nous avons utilisé un est un séchoir solaire hybride indirect à convection forcée (figure 1) conçu et réalisé par l'équipe de conversion d'énergie du laboratoire LENREZA, auquel nous avons apporté quelques améliorations dont particulièrement la mise au point d'un système de pesée en continue à acquisition automatique. Les principaux éléments constitutifs sont tels que exposés ci-dessous:

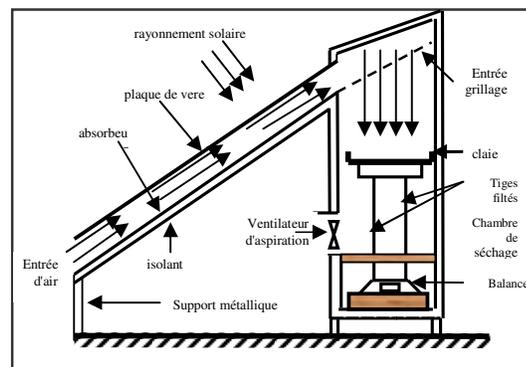


Figure 1 : schéma descriptif du système de séchage (Labo. LENREZA)

Unité de production d'air chaud : constituée d'un capteur solaire plan à air à simple circulation et à simple vitrage, de surface 2,5 m² incliné de 31° (latitude de la ville de Ouargla) par rapport au plan

horizontal et orienté vers le sud. L'absorbeur, en tôle galvanisée, est peint en noir. L'isolation thermique, d'épaisseur 50 mm, est faite en polystyrène et le vitrage est en verre ordinaire

Chambre de séchage :

La chambre de séchage est de forme parallélépipédique de hauteur 1.60m, de longueur 0.7 m et de largeur 0,6 m. Les parois extérieures sont en tôle galvanisée avec une isolation interne en polystyrène. A l'entrée de la chambre de séchage sont placées des résistances électriques de puissance 1500 kW pilotées par un thermostat. Un ventilateur d'aspiration de marque (KFA-30A) (vitesse 1400 tours/min, débit volumique 19,5 m³ / min) permet la circulation forcée de l'air avec un débit réglable. Une claie de forme rectangulaire en grillage galvanisé sert de support pour le produit à sécher.

2.2. Fonctionnement du système

L'air frais provenant de l'ambiance extérieure est préalablement chauffé dans le capteur solaire ; le contact air absorbeur ainsi que le transfert convectif permet d'élever la température de l'air. Ce dernier arrive à l'entrée de la chambre de séchage et avant de traverser la claie l'air est chauffé par une résistance électrique qui fournit, en cas de besoin, un appoint en énergie permettant d'assurer une température de séchage fixe et réglable. L'aspirateur aspire l'air de séchage qui traverse la claie, et l'évacue vers l'extérieur.

2.3. Mesures effectuées :

On règle la température de séchage pour chaque expérience (65°C ,60°C ,55°C ,50°C 45°C) à l'aide du thermostat.

L'étude expérimentale, entreprise sur ce séchoir, consiste en la mesure systématique :

- du rayonnement global reçu sur le plan du capteur à l'aide d'un solarimètre dont les résultats obtenus sont affichés numériquement.
- des températures à l'aide des thermocouples de type K à l'entrée, à la sortie du capteur solaire, du milieu ambiant (extérieur), au niveau du produit à sécher et avant la claie portant le produit.
- de l'humidité relative à l'intérieur du séchoir solaire et du milieu extérieur à l'aide d'un hygromètre à affichage numérique connecté à un appareil de marque Testo 645.
- des pesées systématiques des produits séchés à l'aide d'une balance de précision 0.01g.

2.4. Matériel végétal :

Les échantillons de dattes utilisés dans les essais sont de la variété Deglet-Nour récoltée au mois d'octobre 2009 dans les palmeraies de Ghardaïa. Le choix de cette variété se justifie par son abondance au niveau du marché national et sa qualité gustative appréciée par le consommateur. La préparation des échantillons avant les essais de séchage comprend trois étapes :

- (a) Un triage pour éliminer manuellement tous les fruits écrasés ou noircis, ce qui permet d'homogénéiser le lot définissant au mieux l'état initial du produit.
- (b) Une hydratation par trempage du produit dans un bain thermostaté contenant de l'eau distillée (T = 30°C) jusqu'à atteindre une teneur en eau approximativement égale à 0.5kg d'eau par kg de matière sèche.
- (c) Stockage du produit dans un endroit sec au froid de +4°C afin d'éviter toute réhydratation réactions de sucres.

2.5. Protocole expérimental

Le suivi de la perte de masse du produit au cours du séchage est assuré par des mesures de masse effectuées à intervalles de temps réguliers de 30 minutes utilisant une balance de précision à 0.01g près. La durée de séchage étant le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale souhaitée, à une température inférieure ou égale à la température maximale

tolérée par celui-ci. Pour la variété de datte étudiée la teneur en eau finale est de 0,35 kg eau/kg de matière sèche qui représente l'humidité standard de stockage et commercialisation de la datte Deglet-Nour [11]. Les mesures de température, du rayonnement, et de la vitesse de l'air sont effectuées régulièrement chaque 30 minute.

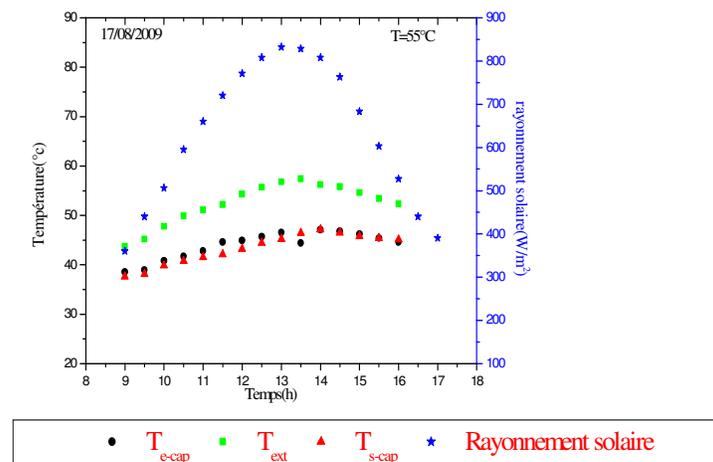
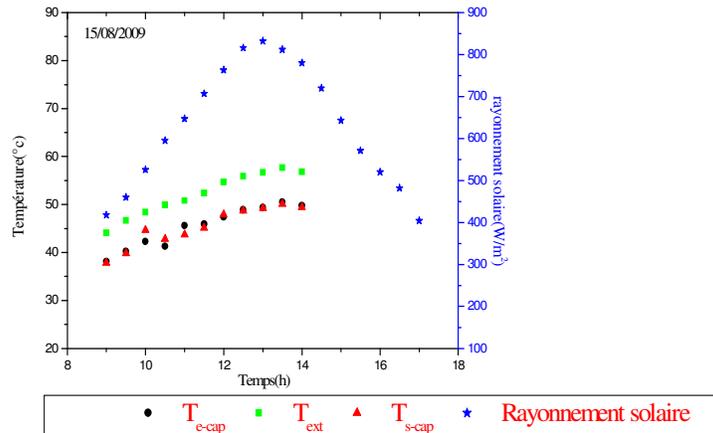
Le protocole expérimental consiste à réaliser quotidiennement le séchage du produit entre 9h et 17h soient huit heures de traitement en continu. A la fin de chaque journée le produit est emballé sous film plastique et stocké dans un endroit sec au froid de +4°C afin de prévenir toute réhydratation. La manipulation est arrêtée lorsque la teneur en eau souhaitée est atteinte.

2.6. Série d'expériences : Séchage solaire hybride avec un système d'appoint (réseau électrique)

Les échantillons préparés comme exposé ci-dessus (§2.4) sont introduits dans le séchoir en mode de fonctionnement avec appoint d'énergie par résistance électrique alimentée via le réseau domestique. Les essais présentés dans ce travail ont été effectués dans la période du 15/08/2009 au 21/08/2009 aux températures de séchage de 65°C, 60°C, 55°C, 50°C et 45°C).

3. Résultats et discussions

3.1. Influence du rayonnement solaire sur la température



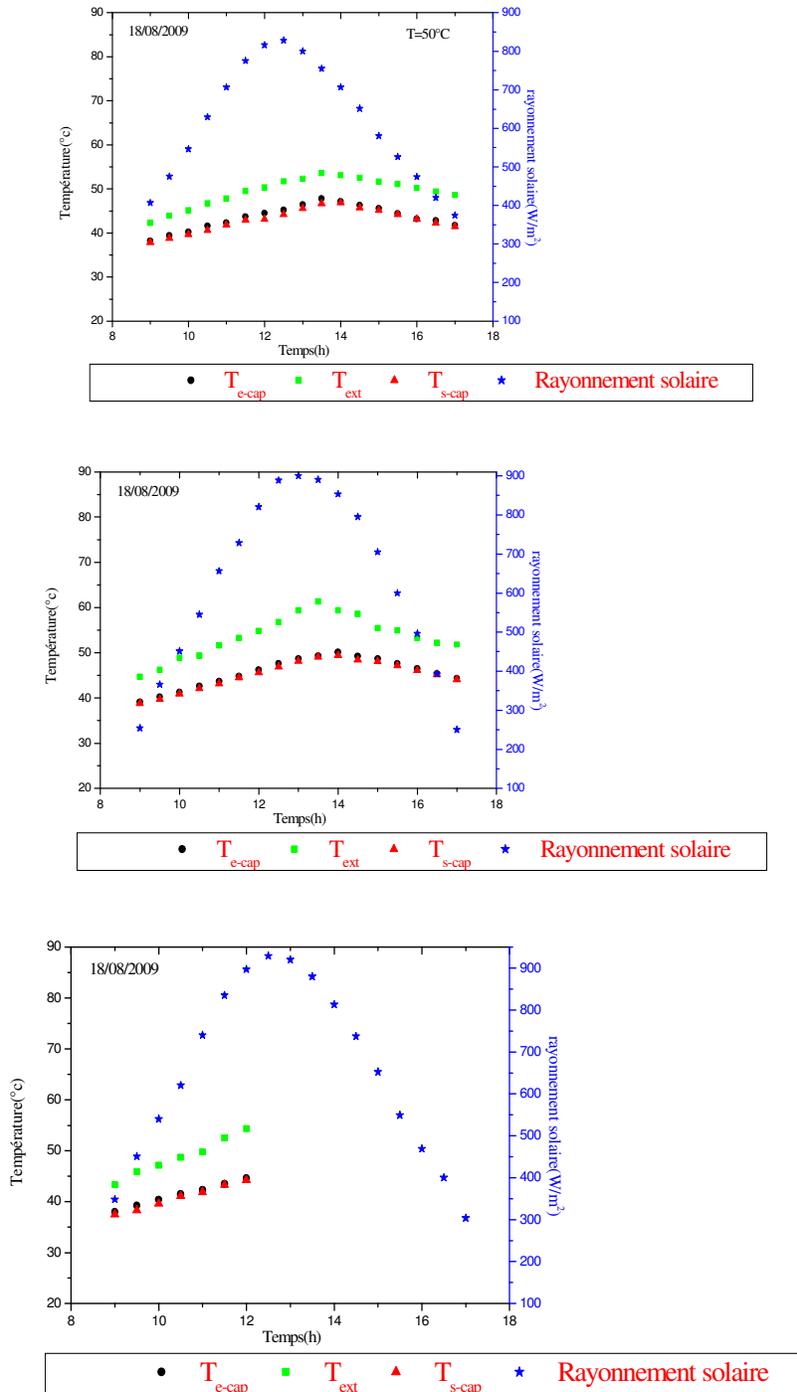


Figure 2 (a, b, c, d, e, f) :
Variation des températures et du rayonnement solaire en fonction du temps

La figure 2 montre la variation journalière de la température de l'air ambiant, la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur solaire, et les rayonnements solaires en fonction du temps. On remarque que l'allure des températures est identique à celle du rayonnement solaire.

Pendant les jours de séchage solaire, les valeurs moyennes quotidiennes d'air ambiant, la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur et le rayonnement solaire varient selon le tableau suivant. Elles ont atteint leurs valeurs maximales entre 12 h et 14 h.

On peut aussi observer une élévation de température significative entre l'entrée et la sortie du capteur solaire. Cette différence atteint un maximum de 12.4°C, pendant la durée de l'expérience. L'écart est dû à l'influence du rayonnement solaire sur l'absorbeur et à l'effet de serre qui en résulte entre l'absorbeur et la vitre qui joue un rôle important dans l'échauffement de l'air circulant à l'intérieur du capteur solaire.

Tableau 1 : Valeurs minimales, maximales et tendances moyennes des températures et rayonnement

	15-08-09	16-08-09	17-08-09	18-08-09	19-08-09	20-08-09
T_e cap min	38.1	38.1	38.5	38.2	39.1	38
T_e cap max	50.5	50.2	47.1	47.8	44.7	44.6
T_e cap moy	45.4	45.1	43.8	43.5	50.1	41.4
T_s cap min	44.1	42	43.7	42.3	45.5	43.3
T_s cap max	57.7	58.1	57.4	53.7	53.3	54.3
T_s cap moy	52.2	53.1	52.2	49.3	52.1	48.8
T_{ext} min	37.8	37.6	37.6	37.9	38.8	37.5
T_{ext} max	50.1	50.2	47.1	46.9	49.9	44.2
T_{ext} moy	45.3	45.6	43.2	42.9	45.1	40.6
Ray min	404	405	360	374	321	304
Ray max	832	857	832	828	900	893
Ray moy	625	656	627	615	618	640

3.2. Profile des températures air/produit

L'évolution des températures de l'air asséchant, avant la claie et la température intérieure d'un échantillon de dattes, en fonction du temps de séchage, pour les différentes expériences, est représentée sur la figure 3.

La tendance des valeurs moyennes quotidiennes des températures de l'air à l'entrée de la claie et celle du produit est montrée sur tableau 2. Il est clair sur ces résultats que la différence de température air/produit commence assez élevée (11-13°C) durant les deux premières journées de séchage mais cette différence diminue ensuite pour se stabiliser à environ 5°C. Cette évolution serait due au taux d'évaporation important au début du séchage, le produit étant encore riche en humidité.

Tableau 2 : Températures moyennes journalières de l'air avant la claie et celles du produit

	15-08-09	16-08-09	17-08-09	18-08-09	19-08-09	20-08-09
T_e claie moy (°C)	64.9	60.8	56.3	51	46.8	46.3
T_p moy(°C)	51.9	51.7	49.7	45.2	43.2	39.2

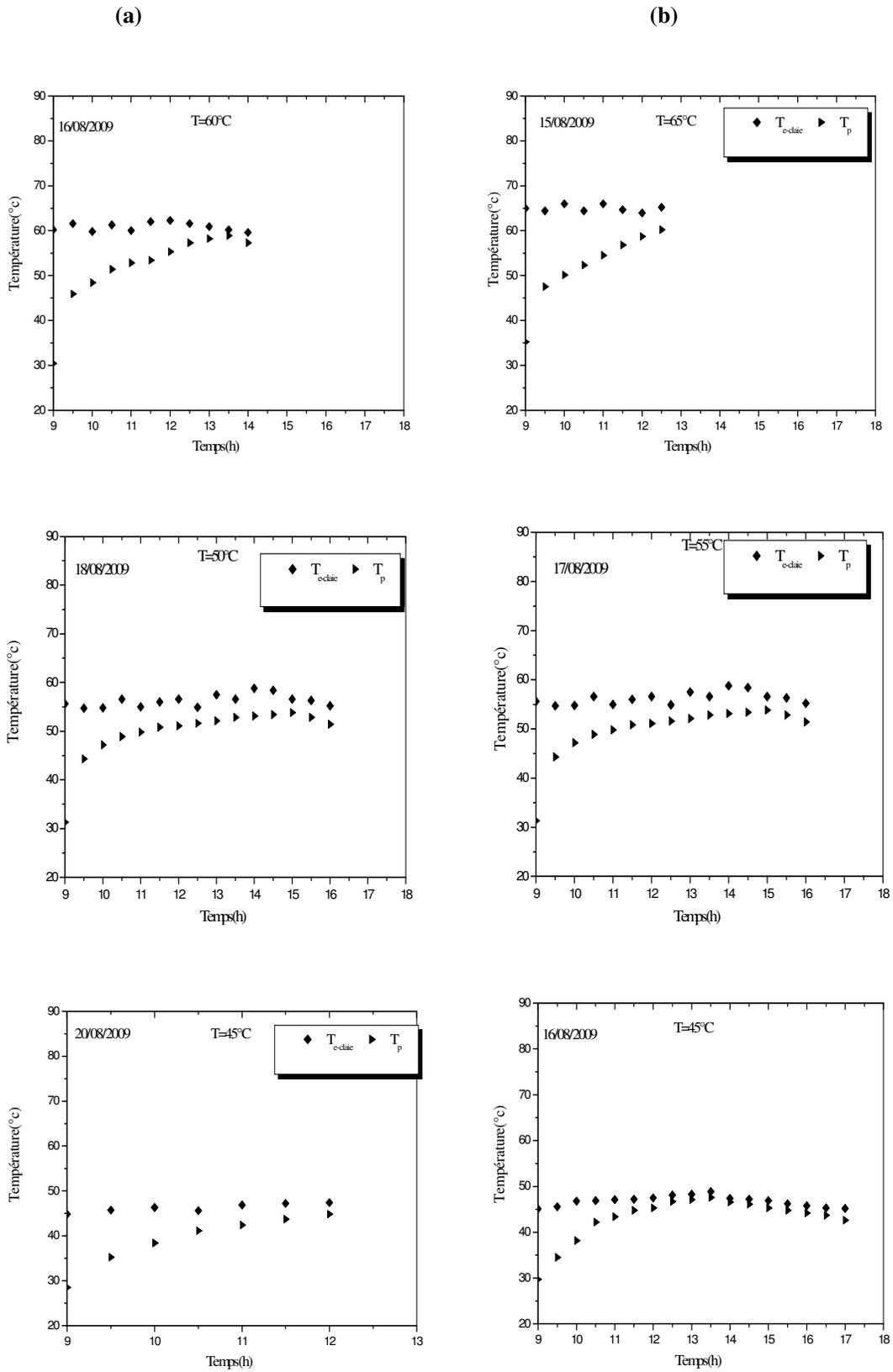


Figure 3 (a, b, c, d, e, f) :
Profils des températures air/produit pour six jours de séchage en discontinu

3. 3. Influence de la température sur la durée de séchage

La figure 4 montre l'évolution de la teneur en eau du produit en fonction du temps pour les températures de séchage allant de 45°C à 65°C. L'influence de la température de l'air paraît très logique dans les courbes. Plus la température est élevée plus le temps de séchage est réduit.

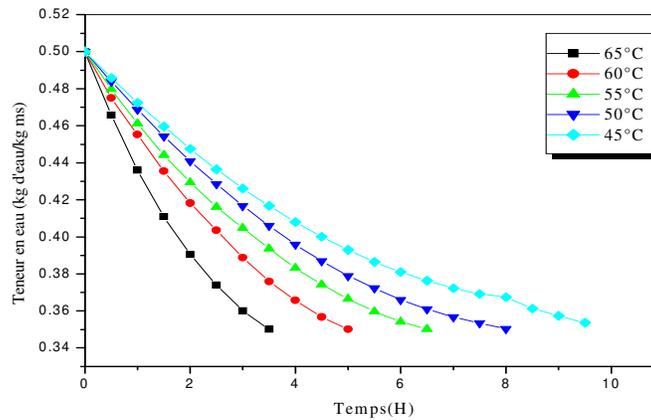


Figure 4 : Influence de la température de l'air sur la variation de la teneur en eau des dattes

Le tableau 3 montre que le temps de séchage pour atteindre une teneur finale $X_f = 0,35$ [11], [12] est plus court quand la température de l'air est plus élevée. Et par conséquent, plus la température augmente plus la cinétique de séchage croît et plus le temps de traitement est réduit. Ceci résulte d'une part de l'augmentation de flux de chaleur apporté par l'air au produit et d'autre part de l'accélération de la migration interne de l'eau [13]. Les durées de séchage données sur le tableau 3 montrent aussi qu'il est possible de ramener le produit à la teneur en eau commerciale dans moins d'une journée de traitement et ce pour des températures de l'air au-delà de 50°C. Le choix d'une température de séchage convenable en cas de procédé industriel reste lié aux observations relatives aux paramètres de qualité du produit fini. L'attention doit être portée sur la prévention des phénomènes de brunissement de la couleur, de caramélisation des sucres et de la texture du fruit.

Tableau 3 : Durées de séchage pour atteindre $X_{finale}=0.35$ kg/kg m.s

Température	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C
Durée (h)	9.5	8	6.5	5	3.5

4.2. Evaluation de la qualité totale du produit final

Les dattes Deglet-Nour séchées ont été obtenues sous différentes conditions opératoires. En termes de qualité, les meilleurs résultats correspondent aux dattes les mieux appréciées par le consommateur. Il s'agit d'un fruit non altéré de bonne qualité organoleptique de couleur spécifique marron clair quasi transparente, de texture demi-molle et ne présentant aucune croissance microbienne. La norme ONU-CEE DF-08 définit 0.35 kg eau/kg de matière sèche comme teneur en eau standard de stockage et commercialisation de cette variété de dattes.

D'après les expériences réalisées au cours de ce travail, nous avons remarqué que les dattes séchées, avec un apport d'énergie, sous conditions constantes contrôlées à $T=45^\circ\text{C}$, $T=50^\circ\text{C}$ semblent avoir les caractères organoleptiques les plus intéressants : un goût sucré, dû à la présence de fructose qui confère à la datte une saveur relativement sucrée. Il a été vérifié aussi, dans ces conditions de traitement, la présence d'un arôme fruité de datte fort avec une couleur marron acceptable pour le produit final. Ce sont les constatations résumées dans les tableaux 4 et 5 ci-dessous et illustrées sur la figure 7 par prise de photos des échantillons avant et après traitement aux températures ci-dessus discutées. Selon la littérature disponible et en référence aux consommateurs habitués de ce fruit, ces résultats représenteraient des caractères originaux de la variété Deglet-Nour. L'examen attentif de ces résultats classe les températures 45°C et 50°C comme meilleures conditions de traitement du

point de vue qualité. En outre si on tient compte des durées de séchage (cf. tab. 3) il en sort que la température 50°C présente le meilleur choix du fait qu'on n'ait pas besoin de continuer le processus de séchage pour une deuxième journée, étant donné que la durée de l'opération par jour ne peut dépasser les huit heures. Ce qui n'est pas le cas pour 45°C qui va au-delà de neuf heures.

D'autre part les analyses effectuées concernant le développement des microorganismes nous ont donné des résultats très positifs; aucune altération microbienne (levures, moisissures) n'a été signalée dans le produit durant les phases de prétraitement par trempage et dans la phase de séchage. Par ailleurs, dans la figure 8 nous avons montré par prise de photos les résultats obtenus pour les dattes séchées aux températures de 55°C 60°C et 65°C. Celles-ci acquièrent un goût caramel, une couleur brune avec un arôme de datte assez léger. Cette situation s'explique très probablement par le brunissement non enzymatique qui altère la valeur nutritive de la datte.

Tableau 4 : Caractérisation des dattes Deglet Nour séchées

Essai de séchage	Couleur	Consistance	texture	Croissance microbienne
T=45°C	Marron clair brillant	Demi molle	fibreuse	aucune
T=50°C	Marron clair brillant	Demi molle	fibreuse	aucune
T=55°C	Marron un peu foncé	Demi molle	fibreuse	aucune
T=60°C	Marron foncé début de brunissement	Demi molle	fibreuse	aucune
T=65°C	Brunissement	Demi molle	fibreuse	aucune

Tableau 5 : Les caractéristiques organoleptiques

caractéristiques Température de séchage	Goût	Arome Fruité de datte
T=45°C	Sucré	Fort
T=50°C	Sucre	Fort
T=55°C	Caramélisé	Léger
T=60°C	Caramélisé	Léger
T=65°C	Caramélisé	Léger



Dattes sèches à 10.29% d'eau
(Etat initial)



Dattes hydratées à 50% d'eau
(Prétraitement)



Dattes séchées à 45°C
(fin 1^{er} jour de séchage)



Dattes séchées à 45°C (0.35%kg/kg m.s)
(2^{ème} jour de séchage)



Dattes séchées à 50°C

Figure 7 : Dattes Deglet-Nour de qualité améliorée



Dattes séchées à 65°C



Dattes séchées à 60°C



Dattes séchées à 55°C

Figure 8 : Brunissement des dattes Deglet Nour séchées à haute température

5. Conclusion

Une étude d'amélioration de la qualité des dattes de variété Deglet-Nour algériennes a été faite par utilisation du séchage à l'énergie solaire. Cette méthode semble promettante vu le faible cout induit quoiqu'un appoint thermique soit rajouté dans cette application. Suite à un prétraitement de réhumidification par trempage à l'eau tiède, les résultats des essais de séchage, utilisant un système solaire hybride, ont conduit vers le choix du traitement sous température de l'air contrôlée à 50°C et une vitesse de 1.2 m/s assurant ainsi un rapport optimum (qualité du produit) / (durée de traitement). En effet à cette température le produit final a pu conserver sa couleur claire, sa consistance demi-molle avec son goût original sans aucune croissance microbienne. La durée de séchage relative était d'environ 8 heures présente l'avantage de pouvoir éviter la discontinuité du traitement et les problèmes de conservation nocturne. Par ailleurs il a été remarqué que les températures au-delà de 50°C engendrent un phénomène de brunissement non enzymatique et de caramélisation des sucres plutôt dus aux réactions de Maillard. Une alternative d'amélioration du système utilisé serait l'intégration d'un appoint thermique par panneaux photovoltaïques, d'une part, et d'autre part la résolution du problème de discontinuité par recours au stockage thermique.

Références bibliographiques

- [1] Boubekri A., Benmoussa H. et Menouche D. ; 'Solar drying kinetics of date palm fruits assuming a step-wise air temperature change' ; Journal of Engineering Science and Technology., Vol. 4, No. 3, 292–304 (2009).
- [2] Iibert H. et Iaam C. ; 'Produits du terroir méditerranéen : conditions d'émergence, d'efficacité et modes de gouvernance' ; Rapport. Institut de la méditerranéen, Juin (2005).
- [3] Hamdi S. et Hamdi M ; 'Maturation artificielle et séchage des dattes Deglet Nour' ; Fruits, 465, 587-592 (1991).
- [4] Al-Bekr Abdul-Jabbar ; 'The date palm: A review of its past and present and the recent advances in its culture, industry and trade' ; 1085p ; (Edition originale en arabe, imprimée en IRAK), Bagdad (1972).
- [5] Barreveld W. H.; Date palm products, FAO agricultural service bulletin n°101, Rome (1993).
- [6] Belarbi A. ; 'Stabilisation par séchage et qualité de la datte Deglet Nour' ; Thèse de Doctorat de l'ENSIA, Massy (2001).
- [7] Reynes M. ; 'Influence d'une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la datte' ; Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique, France (1997).
- [8] Baraem I., Haffar I., Baalbaki R. et Henry J. ; 'Development of a total quality scoring system based on consumer preference weightings and sensory profiles : application to fruit dates (Tamr)' ; Food quality and Preference, 12, 499-506 (2001)
- [9] Zaid A. et Arias-Jiménez E. J. ; 'Date palm cultivation', FAO, Rome (2002).
- [10] Khalil M., Selselet-Attou G. et Guetarni D. ; 'Influence de la thermisation et d'un emballage pour atmosphères modifiées sur la composition chimique de la datte Deglet Nour au cours du stockage au froid' ; Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition, Université de Mostaganem, Sciences & Technologie C- N°26, décembre (2007).
- [11] Boubekri A., Benmoussa H., Courtois F. et Bonazzi C. ; 'Influence of drying on Deglet Nour date quality' ; AFSIA, Biarritz, May (2007).
- [12] Kechaou N., Bagane M., Maalej M. et Ckapseu C ; 'Approche empirique de la cinétique de séchage des dattes' ; Sciences des aliments, 16, 593-605 (1996).
- [13] Boubekri A., Benmoussa H., Courtois F. et Bonazzi C.; '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).