

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Kasdi-Merbah Ouargla

Faculté des sciences Appliquées

Département de Génie des procédés



Mémoire présenté en vue de l'obtention

Du diplôme de

MASTER Académique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie Chimique

Présenté par: SAID Yassine et SAOUD Mohammed Issam

Thème:

**Etude expérimentale de séchage convectif des
dattes sèches hydratées**

Soutenue le : 11/06/2022

Devant le jury composé de :

Président	Lotfi Baameur	M.A.C.C	Université de Ouargla
Examineur	Abbas Attia	M. A -A-	Université de Ouargla
Encadreur	Djamel Mennouche	M. C -A-	Université de Ouargla

Année universitaire: 2021/2022

Dédicace

Nous dédions ce travail, A nos parents qui ont sacrifié leur vie pour nous, pour nous encourager et pour leur vaillance. Que Dieu les garde éternellement heureux. A toutes les familles SAOUD et NEMLI A tous nos amis et nos collègues, et à tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail

Issam

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A ma chère mère.

A l'esprit de mon père.

A mes frères

A mes sœurs

A mes oncles, mes tantes

A ma grande famille.

A tous mes amis

A tous mes amis du parcours scolaire et universitaire.

A tous mes enseignants de l'école primaire jusqu'à l'université.

Yassine

REMERCIEMENT

*Nos remerciements vont tout premièrement à « **Allah** » tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour terminer ce travail.*

*Nous remercions notre promoteur **M. Djamel***

MENNOUCHE

Pour sa collaboration et pour son orientation avec nous.

Nous adressons nos remerciements à tous les orienteurs, tous ceux quid'une façon ou d'une autre a fait part de leur aide.

Nous exprimons nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Merci

المخلص :

يمثل هذا العمل دراسة تجريبية لتجفيف التمور الجافة المرطبة من نوع دقلة نور (فريزا) بهدف تحسين جودتها ، قمنا بمعالجة التمور الجافة عن طريق عملية الترطيب في ماء مفلتر درجة حرارته 30 درجة مئوية لمدة 15 ساعة والتجفيف باستخدام مجفف نفقي يعمل بالحمل الحراري القسري في شروط مختلفة من درجات الحرارة (50 درجة مئوية ، 60 درجة مئوية ، 70 درجة مئوية) وتدفق الهواء الساخن (18 متر مكعب / ساعة و 28 متر مكعب/ ساعة) .

أظهرت دراسة النمذجة أن درجة الحرارة لها تأثير سلبي على مدة التجفيف وتأثير إيجابي على مسافة اللون ، بينما لتدفق الهواء تأثير سلبي على مدة التجفيف والمسافة اللونية

أظهرت دراسة التحسين أن الشروط التجريبية المثلى هي درجة حرارة 60.5 درجة مئوية وتدفق هواء 28 متر مكعب/ ساعة للحصول على مدة تجفيف 16.6 ساعة ومسافة لونية 4.19

الكلمات المفتاحية : التجفيف ، مجفف نفقي ، الحمل القسري ، التمور، دقلة نور

Abstract:

This work represents an experimental study for the drying of hydrated dry dates of the Deglet Nour (Freeza) type in order to improve their quality and, we treated the dates by hydration in filtered water at a temperature of 30°C for 15 hours and drying using a forced convection tunnel dryer under different temperature conditions (50°C, 60°C, 70°C) and hot air flow (18m³/h and 28m³/h).

The modeling study showed that temperature has a negative effect on drying time and a positive effect on color distance, while hot airflow has a negative effect on drying time and color distance

The optimization study showed that the optimal experimental conditions are a temperature of 60°C and a hot air flow of 28m³/h to obtain a drying time of 16.6 hours and a color distance of 4.19.

Keywords: drying , tunnel dryer , forced convection, dates , Deglet-Nour

Résumé :

Ce travail représente une étude expérimentale pour le séchage des dattes sèches hydratées de type Deglet Nour (Freeza) afin d'améliorer leur qualité et, nous avons traité les dattes par hydratation dans une eau filtrée à une température de 30°C pendant 15 heures et séchage à l'aide d'un séchoir tunnel à convection forcée sous différentes conditions de température (50°C, 60°C, 70°C) et de débit d'air chaude (18m³/h et 28m³/h)

L'étude de modélisation a montré que la température a un effet négatif sur la durée de séchage et un effet positif sur la distance de couleur, tandis que le débit d'air chaud a un effet négatif sur la durée de séchage et la distance de couleur.

L'étude d'optimisation a montré que les conditions expérimentales optimales sont une température de 60°C et un débit d'air chaude de 28m³/h pour obtenir un temps de séchage de 16,6 heures et une distance de couleur de 4,19

Mots clés : séchage, séchoir tunnel, convection forcée, dattes, Deglet-Nour

Liste des figures :

Figure I. 1 : Schéma du séchoir solaire indirect à convection forcé (prototype de laboratoire LENREZA Ouargla), BOUBEKRI et al, (2010).....	3
Figure I. 2: Séchage à l'air, Fethi MECHLOUCH et al, 2013	4
Figure I. 3: Séchage par séchoir libre Ridha Fethi MECHLOUCH	4
Figure I. 4: Teneurs en sucres réducteurs aux cours du séchage, Ridha Fethi MECHLOUCH et al, 2013	5
Figure I. 5: Teneurs en sucre non réducteurs (saccharose) aux cours du séchage, Ridha Fethi MECHLOUCH et Al, 2013	5
Figure I. 6: Photo du séchoir solaire direct D.MENNOUCHE et al, (2014)	6
Figure I. 7: Schéma du séchoir solaire direct D.MENNOUCHE et al,(2014)	6
Figure I. 8: schéma de séchoir solaire indirect Samira CHOUICHA et Al, 2014.....	7
Figure I. 9: schéma de séchoir solaire tunnel, M.A. BASUNIA et Al, 2010	8
Figure I. 10: Représentation schématique du séchoir solaire à convection forcé	10
Figure I. 11: Représentation schématique du séchoir solaire de type coquillage	10
Figure I. 12: Vue du séchoir solaire à convection forcé.....	11
Figure II. 1: Datte entière (à gauche) et coupe longitudinale (à droite). Variété Aharetan	13
Figure II. 2: Classification des dattes selon leurs consistances	14
Figure II. 3: Composition physico-chimiques de la datte.....	16
Figure II. 4: Evolution de la production de datte algérienne par Wilaya et par groupe de variétés	17
Figure III. 1: photo d'un séchoir tunnel électrique convectif.....	19
Figure III. 2: Schéma descriptif d'un séchoir tunnel électrique convectif.....	20
Figure III. 3: photo de bain marie	21
Figure III. 4: L'étuve	22
Figure III. 5: balance	22
Figure III. 6: Balance électronique sensible	23
Figure III. 7: schéma montré les étapes de traitement des dattes sèches	23
Figure III. 8: le procédé d'hydratation a 30°C	24
Figure III. 9: operation d'égouttage.....	24
Figure III. 10: le procédé de séchage.....	25
Figure III. 11: Colorimètre Minolta CR-400.....	26
Figure III. 12: Espace de couleur L*a*b	26

Figure IV. 1: Effet de température sur la durée de séchage pour le débit volumique (a) $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$ et (b) $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$	28
Figure IV. 2: Effet de débit d'air chaud sur la durée de séchage pour la température (a) $T=50^\circ\text{C}$, (b) $T=60^\circ\text{C}$ et $T=70^\circ\text{C}$	30
Figure IV. 3: Evolution des coordonnées (L, a, b) pour les différents échantillons des dattes débit d'air chaud (a) $Q_v=18\text{m}^3/\text{h}$, (b) $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$	32
Figure IV. 4: photo des dattes après séchage a condition ($T = 50^\circ\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$).....	34
Figure IV. 5: photo des dattes après séchage a condition ($T = 50^\circ\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$).....	34
Figure IV. 6: photo des dattes après séchage a condition ($T = 60^\circ\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$).....	34
Figure IV. 7: photo des dattes après séchage a condition ($T = 50^\circ\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$).....	34
Figure IV. 8: photo des dattes après séchage a condition ($T = 70^\circ\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$).....	35
Figure IV. 9: photo des dattes après séchage a condition ($T = 70^\circ\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$).....	35
Figure IV. 10: (a) Pareto chart,(b) effets et (c) interaction sur la durée de séchage	37
Figure IV. 11: Surface de réponse pour la distance de couleur.	38
Figure IV. 12: (a)Pareto chart, (b) effets, (c) et interaction sur la distance de couleur.....	40
Figure IV. 13: Surface de réponse pour la distance de couleur.	40

Liste des tableaux :

<i>Tableau I. 1: paramètre de Séchoir indirect à convection forcée et Séchoir Coquillage.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau II. 1: Composition de la pulpe de datte fraîche Deglet-Nour</i>	<i>16</i>
<i>Tableau II. 2: La composition minérale de la datte sèche (Devshony et al., 1992).....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau II. 3: Classification des 10 pays producteurs de dattes en 2014</i>	<i>18</i>
<i>Tableau III. 1: les conditions de l'opération de séchage.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau IV. 1: Mesures de couleur L.a.b pour les différents échantillons des dattes</i>	<i>31</i>
<i>Tableau IV. 2: résultats des mesures de couleur L.a.b des dattes et de calcule ΔE</i>	<i>33</i>
<i>Tableau IV. 3: Les facteurs et les réponses du plan d'expérience proposé.</i>	<i>35</i>
<i>Tableau IV. 4: Les valeurs des coefficients du modèle mathématique de la durée de séchage</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>Tableau IV. 5: Les valeurs des coefficients du modèle mathématique de la distance de couleur.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau IV. 6: Différents facteurs et réponses d'optimisation</i>	<i>41</i>

Nomenclature

Symboles	désignations	unîtes
ΔE	la distance de couleur	
DS	la durée de séchage	h
ha	Enthalpie de l'air ambiant	kJ/kg
Hra	Humidité de l'air ambiant	kg eau/kg d'air sec
hs	Enthalpie de l'air chaud	kJ/kg
mcf	Humidité finale	%
mci	Humidité initiale	%
Mi	Quantité de raisin frais	kg
Qv	débit d'air chaud	m ³ /h
Ta	Température sèche	°C
Th	Température humide	°C
Tm	Température de séchage	°C
Ts	Temps de séchage	h
X	Teneur en eau	kg eau/kg matière sèche
Xa	Humidité de l'air à l'entrée du séchoir	kg eau/kg d'air sec
Xm	Humidité de l'air à la sortie du séchoir	kg eau/kg d'air humide

Indices

DCM	séchage par séchoir mixte
DNV	de séchage par ventilation naturelle
DSV	séchage par ventilation solaire
DUS	le séchage à l'ombre
MS	matière sèche
SAL	l'air libre
SSD	séchoir solaire direct

Sommaire

Introduction générale:1

Chapitre I: Etude bibliographique

Introduction:.....3

Etude bibliographique :.....3

Conclusion :12

Chapitre II: Généralités sur le produit à sécher

II.1 Définition et Description des dattes.....13

II.2 Classification des dattes.....13

II.2.1. Les dattes Molle :14

II.2.2. Les dattes Demi-molle :14

II.2.3. Les dattes Sèches :14

II.3. Particularités :15

II.4. Composition physicochimique des dattes :16

II.5. Les exportations mondiales des dattes :17

II.6. Production de dattes Dans le monde :18

Chapitre III: Partie expérimentale

III.1 Description de séchoir :19

III.1.1. Différents éléments du séchoir :20

III.1.2. Chambre du séchage :20

III.1.3. Préparation du séchoir :	20
III.1.4. Fonctionnement du séchoir tunnel :	21
III.2. Appareillages utilisé :	21
III.2.1. Bain marie :	21
III.2.2. L'étuve	21
III.2.3. Balance :	22
III.2.4. Balance électronique sensible :	22
III.3. Les méthodes de traitement de produit :	23
III.3.1 Hydratation :	23
III.3.2. Egouttage :	24
III.3.3. Séchage	24
III.4. Méthodes des mesures :	25
III.4.1 Détermination de la teneur en eau:	25
III.4.2 Mesure de la couleur:	25
III.4.3 Mesure de la température et l'humidité :	27
III.4.4 Mesure du débit d'air chaud :	27
III.5. Les conditions de séchage des dattes :	27
 <i>ChapitreIV: Résultat et discussions</i>	
IV.1. Etude de la cinétique de séchage :	28
IV.1.1. Effet de température sur la durée du séchage :	28
IV.1.2. Effet de débit d'air chaud sur la durée du séchage :	29
IV.2. Analyses physique-chimique :	30

IV.2.1. La couleur :	30
IV.3. Modélisation et optimisation :	35
IV.3.1. Les différentes réponses dans le plan d'expérience :	36
IV.3.1.1. Durée de séchage:	36
IV.3.1.2. Distance de couleur :	38
IV.3.2 Optimisation :	41
Conclusions général :	42
References:	43

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale:

Le séchage est une méthode de conservation et de renforcement des aliments par déshydratation, Il ralentit le développement des bactéries, levures et moisissures en réduisant la teneur en eau des produits traités.

Le séchage est une technique de conservation ancienne datant d'au moins 12 000 av. J.-C. en Asie et au Moyen-Orient¹.

Il existe plusieurs techniques de séchage : l'évaporation (vent, soleil, chaleur) est la méthode traditionnelle ; Aujourd'hui, des machines telles que des séchoirs et des technologies modernes telle que la lyophilisation sont utilisés pour accélérer le processus. [1]

Les dattes sont un aliment historique avec une grande valeur énergétique et commerciale. L'Algérie occupe le quatrième rang mondial dans la production de dattes, en particulier Deglet-Nour, qui est l'un des types de dattes qui sont abondants en Algérie. Lorsque cette variété est récoltée, elle est souvent divisée en plusieurs classes avec une datte sèche appelée « frezza » qui représente un état de maturité incomplet avec la sécheresse sur l'arbre, et l'effet des fortes chaleurs. Au total, cette catégorie peut représenter 10% à 25% de la production du Deglet-Nour, voire plus selon les conditions climatiques. Cette variété nécessite un traitement post-récolte. Réduire les pertes et éviter les accidents de conservation et de stockage selon le climat de l'année. [2]

L'objectif de ce travail est d'améliorer la qualité des dattes sèches de type Deglet-Nour (Freeza) par séchage convectif à l'aide d'un séchoir tunnel fonctionnant en convection forcée, pour obtenir des dattes de standards commerciaux.

La présentation de notre travail est structurée en quatre chapitres :

Dans Le premier chapitre, nous avons mené une étude bibliographique à diverses études expérimentales de séchage convectif des dattes en particulier et de certains types de fruits en général. Le deuxième chapitre représente des généralités sur le produit à sécher

INTRODUCTION GENERALE

Le troisième chapitre est consacré à la présentation du dispositif expérimental utilisé pour le séchage, les méthodes des traitements et d'analyse physique et chimique des dattes et les appareils de mesure.

Dans le quatrième chapitre, nous avons obtenu plusieurs résultats expérimentaux dont les plus importants sont : l'effet de la température et le débit d'air chaud sur la durée de séchage et la distance de couleur, les conditions optimum pour le séchage.

Enfin nous avons terminé ce travail par une conclusion qui englobe une interprétation générale des résultats de l'étude.

CHAPITRE I: Etude bibliographique

I.1 Introduction:

Le séchage est l'une des méthodes couramment utilisées dans la conservation ou la transformation des aliments, et il est largement utilisé dans les domaines ruraux et industriels. [3]

Le mode de séchage le plus utilisé dans l'industrie alimentaire est le séchage convectif : la température reste inférieure à celle d'ébullition de l'eau et le gaz d'entraînement est généralement de l'air. C'est l'air qui cède sa chaleur au produit et reçoit l'humidité extraite de celui-ci. Le séchage est alors défini comme étant un double transfert de chaleur et de masse. [4]

I.2 Etude bibliographique :

Plusieurs études ont été réalisées sur le séchage des dattes

A. Boubekri et al, 2010, ont réalisé une étude d'amélioration de la qualité des dattes « frezza » (dattes Deglet-Nour récoltées sèches) Où, dans la première étape de l'amélioration, ils ont humidifié la Deglet-Nour en la trempant dans de l'eau distillée à une température de 26 °C pendant 12 heures, Puis ils l'ont laissé dans un endroit sombre.

Dans la deuxième étape, ils sèchent le produit par un séchoir solaire hybride indirect en convection, Ils ont testé deux applications.

Le premier cas d'application a été réalisé sans énergie supplémentaire, l'expérience a duré 5 jours de procédé en discontinu, Quant au deuxième cas d'application, où ils utilisaient de l'énergie supplémentaire, qui est une résistance électrique alimentée par des cellules photovoltaïques, l'expérience a duré 2 jours.

En final, ils ont obtenu une note visuelle satisfaisante du produit du point de vue de la couleur et de la texture, par rapport au produit transformé en dattes. [5]

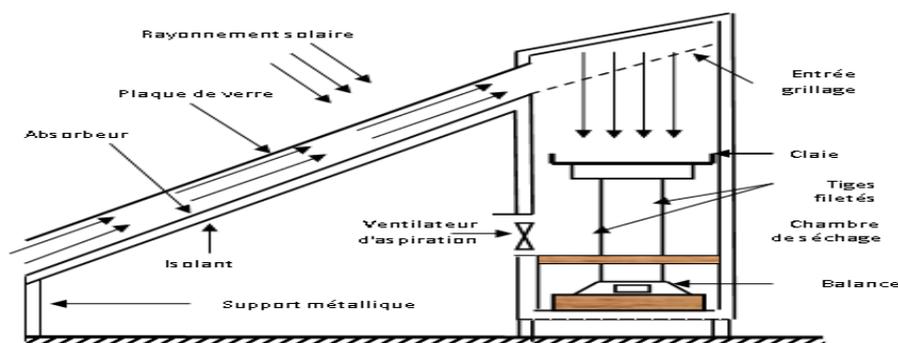


Figure I. 1 : Schéma du séchoir solaire indirect à convection [5]

Il existe également une étude menée par **Ridha Fethi Mechlouch et al, 2013**, sur le séchage de dattes variété Deglet-Nour du sud tunisien « Gabès » par un séchoir solaire direct (SSD) et à l'air libre (SAL). L'effet du séchage par les deux procédés sur la composition des sucres et des phénols a, été étudié dans le but de déterminer la méthode la plus efficace de conservation des dattes, ils ont analysé les sucres et les phénols présents dans les dattes, concluant que le séchage par le séchoir solaire direct est plus rapide que le séchage à l'air libre, un temps de séchage plus court pour l'utilisation d'un séchoir solaire direct. La teneur en saccharose augmente pour les dattes séchées par le séchoir solaire direct et diminue pour celles séchées au soleil à l'air libre. La teneur en phénol présente une augmentation importante au cours du séchage avec le séchoir solaire direct, alors une faible variation est enregistrée lors du séchage à l'air libre. [6]

Les figures I.2 et I.3 montrent les séchoirs utilisés dans cette étude :



Figure I. 3: Séchage par séchoir [6]



Figure I. 2: Séchage à l'air, [6]

La figure I.4 montre que la teneur en sucres réducteurs augmente avec les deux méthodes de séchage. L'utilisation du séchoir direct enregistre des teneurs en sucre réducteur les plus élevées avec un maximum de 31,10 mg/100gMS alors que la méthode de séchage à l'air libre permet d'enregistrer des teneurs plus faibles de l'ordre de 16,64 mg/100gMS. Remarquez une augmentation de 279% en sucre réducteur pour le séchage avec un séchoir direct et une augmentation de 149 % pour le séchage à l'air libre après une journée de séchage.

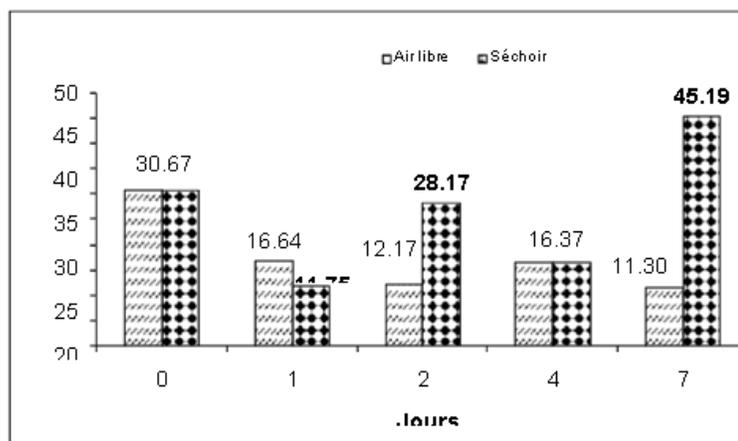


Figure I. 4: Teneurs en sucres réducteurs aux cours du séchage, [6]

La figure I.5 montre que les taux de saccharose sont variables au cours de deux procédés séchage. Remarquez une diminution du taux du saccharose lors du séchage à l'air libre qui atteint 270%. Par contre une augmentation de 147% du taux de saccharose peut être enregistrée après 7 jours de séchage par un séchoir direct avec une perturbation du taux au cours du séchage.

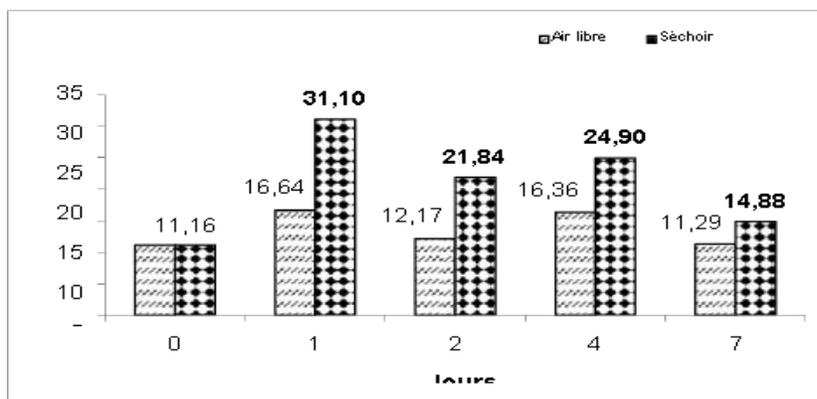


Figure I. 5: Teneurs en sucre non réducteurs (saccharose) aux cours du séchage, [6]

Une autre étude a été faite sur séchage des dattes par **D. Mennouche et al, 2014**, Ils ont proposé une nouvelle méthode de traitement post-récolte et l'ont testée à l'aide de séchoirs solaires directs à l'échelle du laboratoire. Ils ont trempé les échantillons de dattes dans de l'eau distillée, puis les ont séchés par la méthode de séchage solaire. Afin d'améliorer la qualité et l'acceptation par les consommateurs de ce type de dattes, ils ont testé trois améliorations de séchage proposées : le séchage à l'ombre (DUS), le séchage à l'aide d'un système de refroidissement photovoltaïque (DSV) et la comparaison du mode de séchage (DCM) et en le comparant à la ligne de base. Condition de séchage par ventilation naturelle (DNV). Les résultats expérimentaux obtenus ont classé la méthode de séchage par ventilation solaire (DSV), où ils ont conclu que le séchage combiné est le processus le plus approprié [7], les figures I.6 et I.7 montreront le séchoir utilisé dans cette étude.

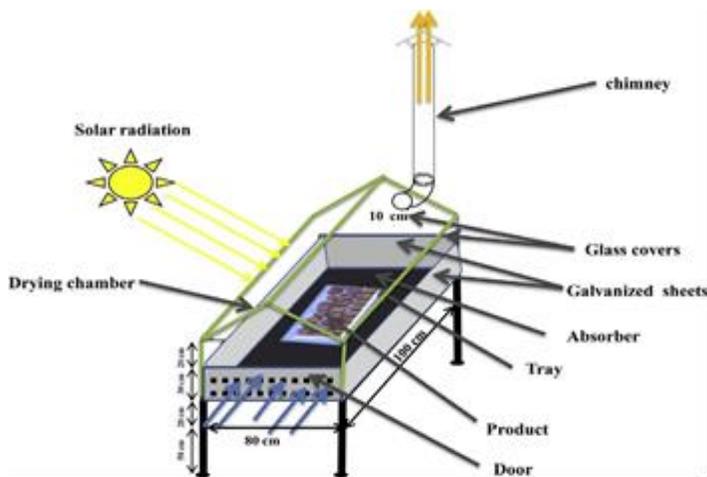


Figure I. 7: Schéma du séchoir solaire direct [7]



Figure I. 6: Photo du séchoir solaire direct [7]

S.Chouicha et al, 2014, ont mené une étude expérimentale pour le traitement des fruits du Deglet-Nour afin d'améliorer leur qualité grâce au processus d'humidification et de séchage solaire, où ils ont étudié l'effet de différentes températures (20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C) par trempage dans de l'eau distillée pendant la réaction d'inversion du saccharose, et séchage des dattes Deglet-Nour hydratées par trois procédés solaires différents. Ils ont utilisé trois cinétiques de séchage combinées respectivement dans le séchoir solaire à convection directe, sous le séchoir solaire à convection indirecte et dans le séchoir solaire naturel indirect.

Leurs résultats expérimentaux ont montré que la meilleure condition était obtenue par trempage dans de l'eau à une température de 25°C pour obtenir des dattes humides. Avec 0,5 kg d'eau / kg de matière sèche. Le temps de séchage pour atteindre la teneur en eau commerciale (0,35 kg d'eau/kg de matière sèche), a en outre montré que le séchage par convection naturelle indirecte fournit au séchoir un produit de haute qualité avec une durée acceptable, satisfaisante et compétitive avec l'énergie solaire thermique. La figure I.8 montre le séchoir utilisé dans cette étude. [8]

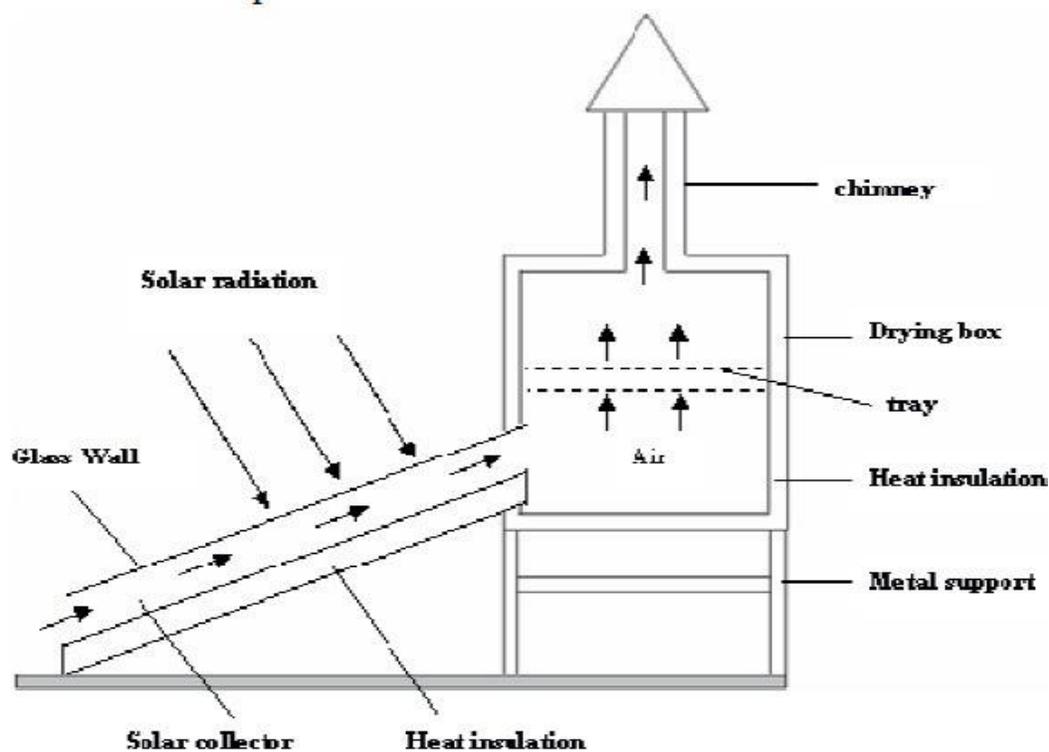


Figure I. 8: schéma de séchoir solaire indirect [8]

Dans ce travail, **M.A. Basunia et al, 2010**, ont conçu un séchoir solaire tunnel de 12 m de long et 2 m de large, Pour sécher 180-200 kg de dattes fraîches. À moitié partiellement étanche.

Ils ont utilisé la base du tunnel comme capteur solaire pour chauffer l'air plat et la moitié restante comme un séchoir, L'air de séchage 'a été forcé de la région du collecteur (côté sud) vers la salle de séchage région (côté nord) du demi-tunnel circulaire où le produit devait être séché, la température de séchage peut facilement être augmentée de 5 à 30 °C au-dessus des températures ambiantes à l'intérieur du tunnel à une vitesse de l'air d'environ 0,5 m/sec. La teneur en humidité de 190,2 kg de dattes fraîchement récoltées a été réduite de 32,8 % (base humide) à une moyenne finale teneur en humidité de 18,6 % (base humide) en deux jours (20 heures). Et ils ont obtenu plusieurs résultats, dont un séchage dans le tunnel solaire plus rapide que le séchage naturel au soleil à l'air libre. Cela été possible d'atteindre le niveau de teneur en humidité pour un stockage sûr en moins de deux jours (20 h) avec un séchoir tunnel solaire et 5 à 7 jours de séchage naturel à l'air libre. L'amélioration de la qualité des dattes en termes de couleur, brillance, saveur et goût et la valeur alimentaire était distinctement reconnaissable. [9]

(1- Entrée d'air au collecteur, ventilateur, 2- Couverture en bois côté sud, 3- Partie du collecteur (12 m²), 4- Châssis léger en aluminium, 5- Partie séchoir (12 m²) 6- Sortie d'air du séchoir, 7- Sous-structures en blocs de béton, 8- Châssis en bois pour supporter les virages et la base du tunnel ; 9- Fil métallique filet grillagé sur socle en bois dans la partie séchoir, 10- Plaque absorbante).

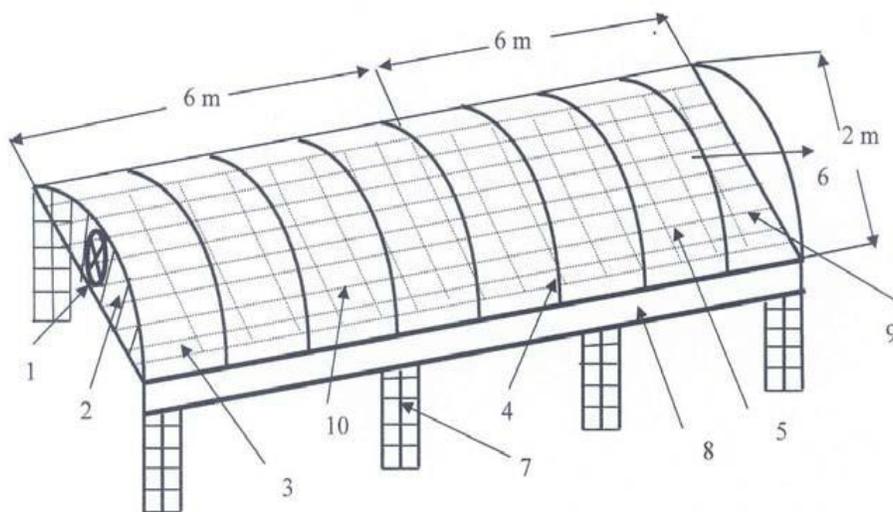


Figure I. 9: schéma de séchoir solaire tunnel [9]

Des études ont également été menées pour le séchage solaire autre que les dattiers sur les raisins et les abricots.

A. Ferradji et Al, 2008, ont étudié le séchage des raisins de Sultan avec deux types de séchoirs solaires différents, ils ont traité les raisins en les blanchissant à la soude chaude (95°C) afin d'accélérer le processus de séchage, et en les trempant dans une émulsion de du carbonate de potassium et de l'huile d'olive pour éviter que les raisins ne s'agglutinent pas pendant le stockage et la sulfuration par évaporation du soufre pour ralentir les réactions, Le brunissement non enzymatique qui peut se produire pendant le séchage, après quoi ils ont séché les raisins transformés dans le séchoir solaire indirect à convection forcée et le séchoir de type coquillage.

[10]

Enfin, ils ont obtenu plusieurs résultats consignés dans le tableau I.1 :

Tableau I. 1: paramètre de Séchoir indirect à convection forcée et Séchoir Coquillage. [10]

Paramètres	Séchoir indirect à convection forcée	Séchoir Coquillage
Mi , Quantité de raisin frais, (kg)	52	08
Ts , Temps de séchage, (h)	11	11.5
mci , Humidité initiale du raisin, (%)	76.82	76.82
mcf , Humidité finale du raisin, (%)	22.6	22.6
Tm , Température de séchage, (°C)	65	65
Ta , Température sèche, (°C)	32.42	32
Th , Température humide, (°C)	26.2	25.4
Xa , Humidité de l'air à l'entrée du séchoir, (kg eau/kg d'air sec)	0.017	0.0171
Xm , Humidité de l'air à la sortie du séchoir, (kg eau/kg d'air humide)	0.035	0.025
Hra , Humidité de l'air ambiant	68	68
ha , Enthalpie de l'air ambiant, (kJ/kg)	58	75
hs , Enthalpie de l'air chaud, (kJ/kg)	110	110

Les figures suivantes représentent les schémas des séchoirs utilisés dans cette étude :

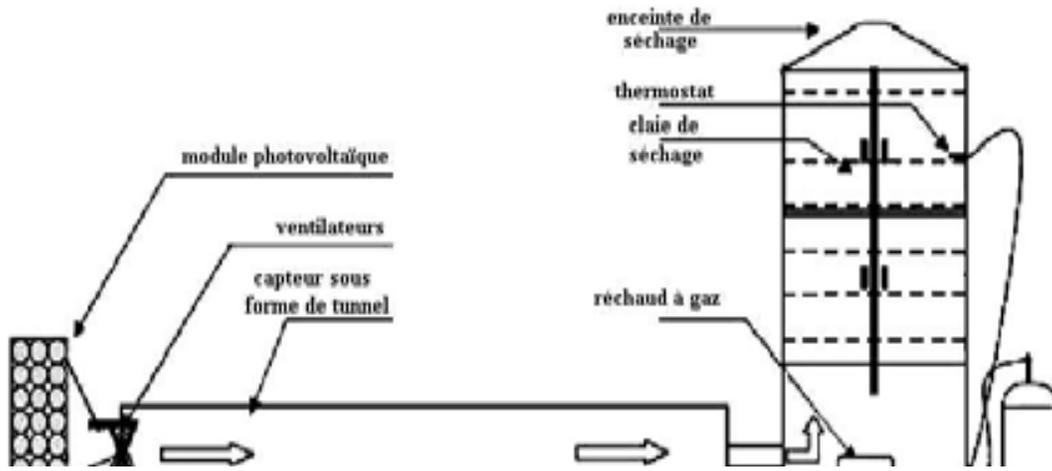


Figure I. 10: Représentation schématique du séchoir solaire à convection forcée [10]

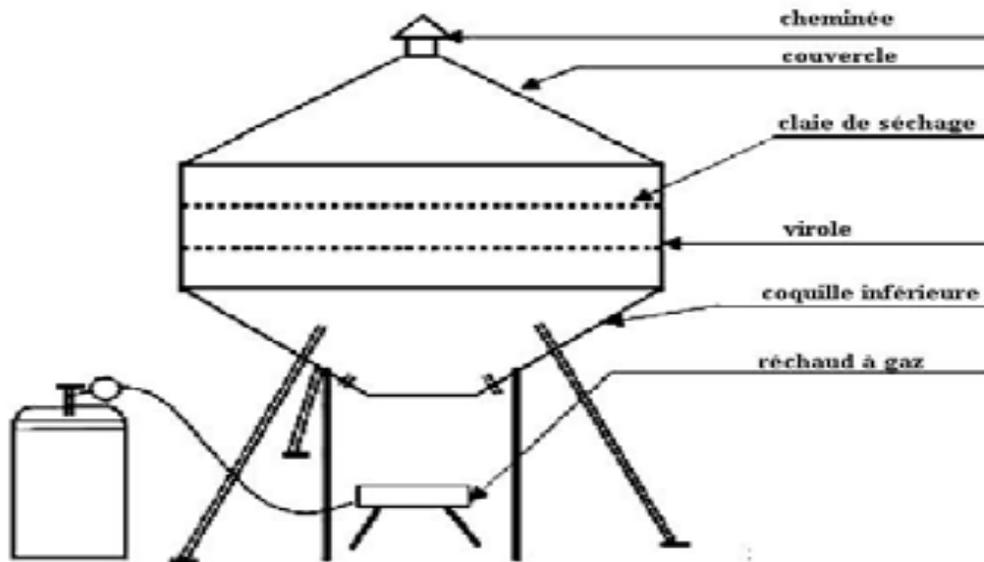


Figure I. 11: Représentation schématique du séchoir solaire de type coquillage [10]

A. Ferradji et al, 2001, ont également développé un dispositif à convection forcée pour le séchage des abricots, où ils prétraient les abricots (blanchiment, sulfatage et déshydratation par osmose).

En fin, ils sont parvenus à plusieurs résultats, dont le débit d'air nécessaire pour sécher 36 kg d'abricots, qui nécessite 8 heures pour maintenir la teneur en eau de 86% à 31% à une température moyenne de 46°C. [11]

- Le séchoir solaire à convection forcée a été réalisé en s'inspirant d'un modèle de séchoir décrit par Bolin et al. Comme la montre la Figure I.12, ce séchoir est constitué de trois parties distinctes : le collecteur solaire, l'enceinte de séchage et le ventilateur.



Figure I. 12: Vue du séchoir solaire à convection forcée [11]

I.3 Conclusion :

Les études qui ont été menées sur le séchage des dattes ont montré que chaque type de séchoir a des caractéristiques différentes qui affectent les résultats requis et les conditions dans lesquelles les processus sont menés, comme la température et l'humidité.

Par exemple, dans un séchoir direct on retrouve une couverture en verre qui recouvre le produit pour le protéger de la poussière, des insectes, des animaux et de la pluie par rapport au séchage classique.

Quant au séchoir indirect, le produit n'est pas directement exposé au soleil par rapport au séchoir direct, mais plutôt que le produit est séché avec de l'air qui se réchauffe grâce aux capteurs solaires du séchoir, Température limitée (55°C).

Dans le séchoir hybride, on constate qu'il reprend les propriétés du séchoir direct (le produit est directement exposé au soleil), et en même temps il reprend les propriétés du séchoir indirect (le produit est séché grâce à l'air chaud).

CHAPITRE II: Généralités

sur le produit à sécher

II.1 Définition et Description des dattes

La datte est une baie ayant une seule graine communément appelée noyau. Elle comporte une Enveloppe fine cellulosique, l'épicarpe ou mésocarpe plus ou moins charnu et de consistance Variable, présentant une zone périphérique de couleur plus soutenue et de texture compète, et Une zone interne de teinte plus claire et de texture fibreuse, l'endocarpe. Le péricarpe, le mésocarpe et l'endocarpe sont confondus par les conditionneurs sous l'appellation de chair ou pulpe. Les dattes sont en général de forme allongée, oblongue ou ovoïde, mais il en existe cependant Quelques-unes pratiquement sphériques, la Tinteboucht d'Algérie notamment. Leurs Dimensions sont très variables, d'un centimètre et demi à sept ou huit grammes. Leur couleur va du blanc-jaunâtre au sombre très foncé presque noir, en passant par les ambres, rouges et Bruns plus ou moins foncés. Leur consistance peut être dure, molle ou très molle, d'où leur Répartition [12].

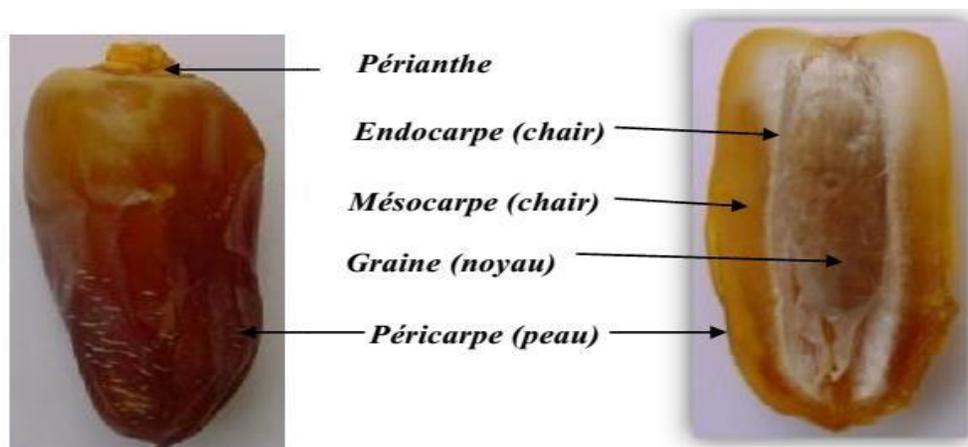


Figure II. 1: Datte entière (à gauche) et coupe longitudinale (à droite). Variété Aharetan [12]

II.2 Classification des dattes

Les dattes sont les fruits du Phoenix dactyliféra L. Les différentes classes de dattes qui existent, reposent sur leur qualité commerciale et leur consistance Les importateurs (européens) de dattes repartissent celles-ci en deux catégories selon des critères très Arbitraires :

- Les dattes fines ou exportables dont le type Deglet-Nour.
- Les dattes communes, qui sont en général de faible valeur marchande et très difficiles
- Conserver. Du point de vue biochimique pour.

Les dattes sont classées en trois catégories après leur consistance :

II.2.1. Les dattes Molle :

Les dattes molles, passent par le stade routab et demeurent molles au stade tmar [13]. Elles sont caractérisées par une grande teneur en eau de la pulpe (plus 30 %) et une richesse en sucres réducteurs. Elles sont conservées à basse température. [14]

II.2.2. Les dattes Demi-molle :

Les dattes demi-molles passent bien par le stade routab, mais sont un peu sèches stade tmar après le stade routab, cette classe de datte perd une partie d'eau pour devenir dans une phase intermédiaire entre sèche et molle la teneur en eau de la pulpe est moins élevée (20-30 %). Les sucres sont le plus souvent réducteurs. [15]

II.2.3. Les dattes Sèches :

Les dattes sèches ne passent pas par le stade routabe. Elles évoluent directement du stade khalal au tmar, avec moins de 20 % d'eau. Elles sont pour la plupart à saccharose [16].



Figure II. 2: Classification des dattes selon leurs consistances [17]

II.3. Particularités :

La particularité essentielle de cette variété est sa maturité échelonnée sur un même régime, ce qui fait qu'à la récolte, on trouve des dattes à des différents stades de maturité.

De ce fait, la récolte est sous la dépendance des intempéries (pluies, sirocco) et les frais de récolte sont très affectés par ceux du triage. On distingue neuf catégories de tri qui sont les suivants :

- **Dattes extra 1er choix** généralement exportées. "
- **Dattes marchandes 2ème choix** consommés localement et partiellement exportés.

Ces deux catégories ont une teneur en eau entre 25% et 30% en poids.

Bsers : dattes immatures. Leur pourcentage est variable selon la température du milieu et on peut attendre en année froide jusqu'à 50 % de la récolte.

Martoubah : fruit presque mur, sa teneur en eau dépasse 25% ce qui le rend sensible à l'altération. Par conséquent, elle nécessite un complément de maturation et un séchage pour la transformer en marchande.

Frezza ou 'saifi' : datte sèche, sa teneur en eau est de 10 à 16 % et n'ayant pas atteint sa complète maturation. Elle nécessite une réhydratation et un complément de maturation pour la vendre en 'marchande'.

Dattes dite 'caoutchouc' ou 'mabrouma' : C'est la 3ème qualité réservée aux marchés Nationaux. Elle est formée de dattes plus ou moins déformées et plus ou moins élastiquées.

Dattes noires : groupe tout ce qui est détérioré, fermenté, parasité ou décoloré.

Achef: dattes ratatinées.

Sich: dattes non fécondées obtenues.

II.4. Composition physicochimique des dattes :

La datte se compose essentiellement, comme le montre la Figure II.3 :

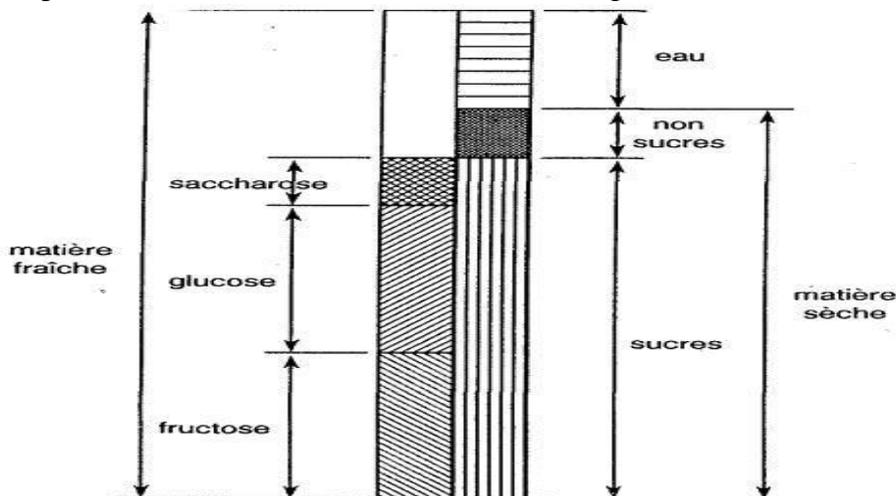


Figure II. 3: Composition physico-chimiques de la datte [18]

La datte est constituée de la pulpe en chair et d'un noyau. La proportion du noyau par rapport à la datte entière constitue une caractéristique qui dépend non seulement de la variété mais aussi des facteurs climatiques et des conditions de culture. Cette caractéristique est utilisée par les sélectionneurs pour évaluer la qualité d'une variété. Une datte *Deglet-Nour* de qualité, pesant environ 10 g, comporte 10 % de noyau et 90% de pulpe [19].

Tableau II. 1: Composition de la pulpe de datte fraîche *Deglet-Nour* [19]

Constituants	(%) du poids à l'état frais
Eau	23
Protéines	1.5
Sucres totaux	72
Saccharose	36.1
Glucose	10.4
Fructose	9.6
Cellulose	7.20
Lipides	0.05
Cendres	1.9

La datte ne contient pas seulement des sucres et des protéines. Il y a aussi des vitamines à des quantités appréciables tel que : la vitamine B6 et la vitamine C. La datte est une source appréciable d'éléments minéraux (Tableau II.2)

Tableau II. 2: La composition minérale de la datte sèche [19].

Eléments minéraux	Pour 100g de datte sèche
Sodium	0.017
Potassium	0.3
Magnésium	0.036
Phosphore	0.07
Calcium	0.1
Fer	0.016

II.5. Production de la datte en Algérie:

Les exportations mondiales moyennes de dattes s'élève à 741,000 Tonnes entre 2009-2013, représentant environ 10% de la production mondiale (Rappel Algérie : environ 3%). La production de l'Algérie en dattes toutes variétés confondues est en augmentation constante sur le long terme. Elle est passée de 361,000 Tonnes en 1996 à près de 848,000 Tonnes en 2013 avec un taux de croissance annuelle moyenne près de 135%. La production de dattes a plus que doublé en 17 années. [20]

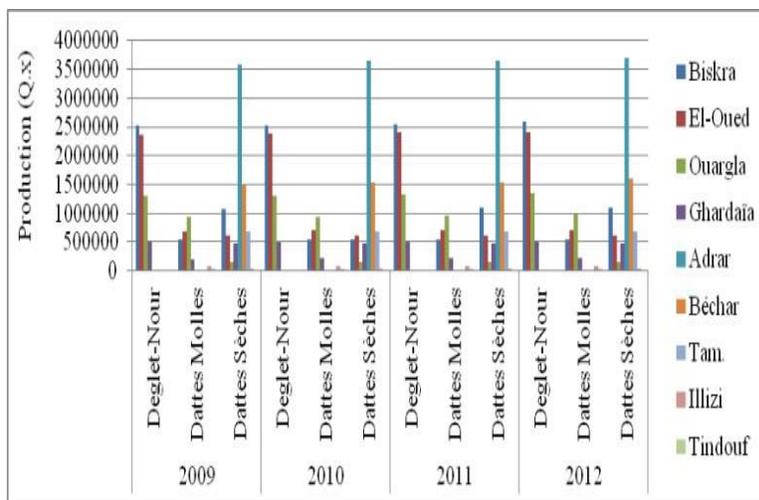


Figure II. 4: Evolution de la production de datte algérienne par Wilaya et par groupe de variétés [21]

II.6. Production de dattes Dans le monde :

Les principaux pays producteurs de dattes dans le monde sont : l’Egypte, l’Arabie Saoudite, l’Iran, l’Irak, les Emirats Arabes Unis, le Pakistan, l’Algérie et le Soudan [18]. La production mondiale de dattes réalisée en 2014 est donnée dans le Tableau suivant :

Tableau II. 3: Classification des 10 pays producteurs de dattes en 2014 [18]

Classement	Pays	En tonne
1	Egypte	1 465 030
2	l'Iran	1 156 996
3	Arabia saoudite	934 377
4	l'Algérie	766800
5	l'Iraq	662 447
6	Pakistan	537 204
7	Soudan	430 000
8	Oman	382 392
9	Émirats Arabes Unis	255 182
10	Tunisie	199000
11	Autre	855 887

CHAPITRE III : Partie expérimentale

III.1 Description de séchoir :

Le séchoir à convection est utilisé pour le séchage des solides dans l'industrie alimentaire. Ce séchoir est en acier inoxydable en forme de tunnel entouré d'une couche d'isolation thermique, Elle est constituée de deux chambres de séchage, Il se compose également d'un ventilateur et de deux résistances électriques et deux capteurs de température et d'humidité, sa longueur est de 2,27 mètres, sa largeur de 20 centimètres et sa hauteur de 37 centimètres.



Figure III. 1: photo d'un séchoir tunnel électrique convectif

III.1.1. Différents éléments du séchoir :

La figure III.2. Présente les différents éléments du séchoir solaire :

1- canal de séchage, 2- tôles de séchage, 3- porte transparente, 4- cheminée, 5- capteur de débit d'air, 6-point de mesure de température et humidité, 7 -balance numérique, 8- bâti pour tôles de séchage, 9- point de mesure avec capteur de température et d'humidité combiné, 10- armoire de commande avec affichages numériques, 11- ventilateur.

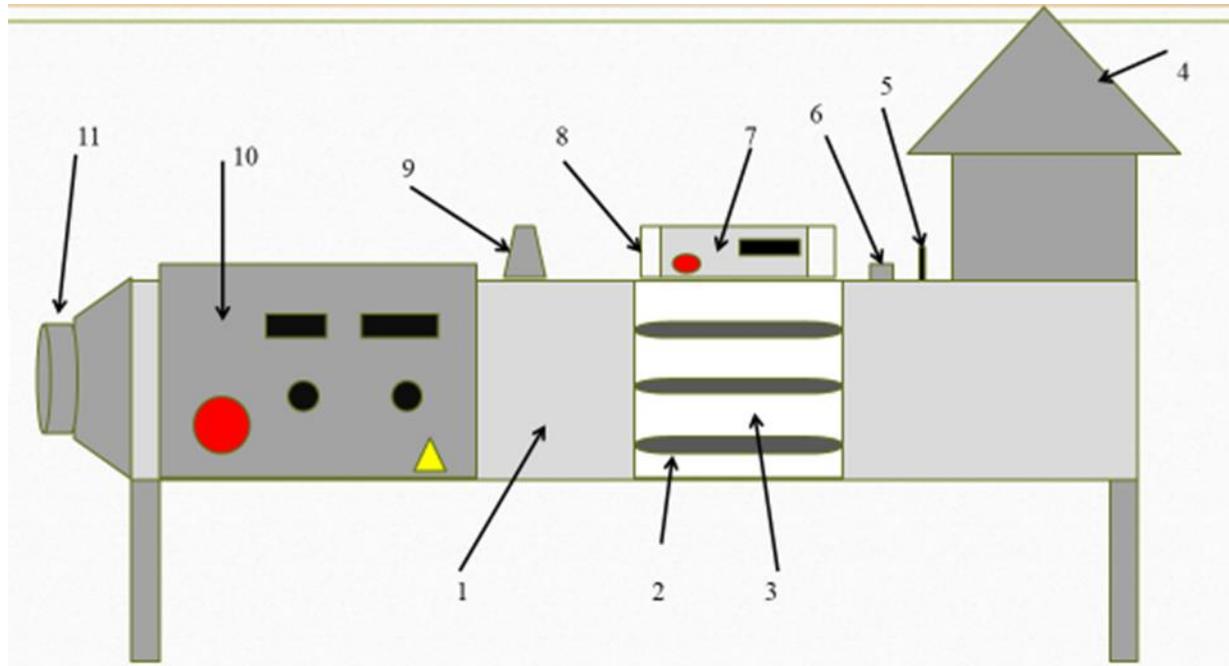


Figure III. 2: Schéma descriptif d'un séchoir tunnel électrique convectif

III.1.2. Chambre du séchage :

Dans la première chambre de séchage se compose de quatre tiroirs de séchage à proximité du collecteur d'énergie, donc cette chambre l'air passe parallèlement au produit.

Dans la deuxième chambre de séchage, nous trouvons environ quatre tiroirs de séchage à environ 1.7 mètre de la source d'énergie, L'air passe dans cette salle verticalement.

III.1.3. Préparation du séchoir :

Afin d'assurer un bon fonctionnement de séchoir tunnel, il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Mise en marche du séchoir.
- ✓ Réglage de la ventilation pour avoir le débit de l'air asséchant désirée
- ✓ Réglage de la résistance selon la température de séchage désirée.
- ✓ L'installation de différents appareils de mesure.
- ✓ Fonctionnement du séchoir à vide pendant 30min.

III.1.4. Principe de fonctionnement du séchoir tunnel:

Le ventilateur pousse l'air à l'intérieur du séchoir, la température de l'air augmente grâce aux deux résistances du séchoir, Puis l'air chaud entre dans la chambre de séchage pour sécher le produit.

On distingue deux types de transfert thermique :

- a- Transfert thermique par conduction : entre la claie de séchage et le produit.
- b- Transfert thermique par convection : entre l'air chaud et le produit.

III.2. Appareillages utilisé :

III.2.1. Bain marie :

Nous utilisons Bain Marie pour l'hydratation



Figure III. 3: photo de bain marie

III.2.2. L'étuve

L'étuve nous permet de déduire la teneur en eau de datte, les dattes sèches (avant hydratation) et les dates hydratées (après hydratation).



Figure III. 4: L'étuve

III.2.3. Balance :

La balance nous permet de mesurer la masse du produit pendant le processus de séchage



Figure III. 5: balance

III.2.4. Balance électronique sensible :

L'échelle sensible nous aide à mesurer la masse d'un échantillon de dattes avant séchage en L'étuve et après séchage afin déduire la teneur en eau.



Figure III. 6: Balance électronique sensible

III.3. Les méthodes de traitement de produit :

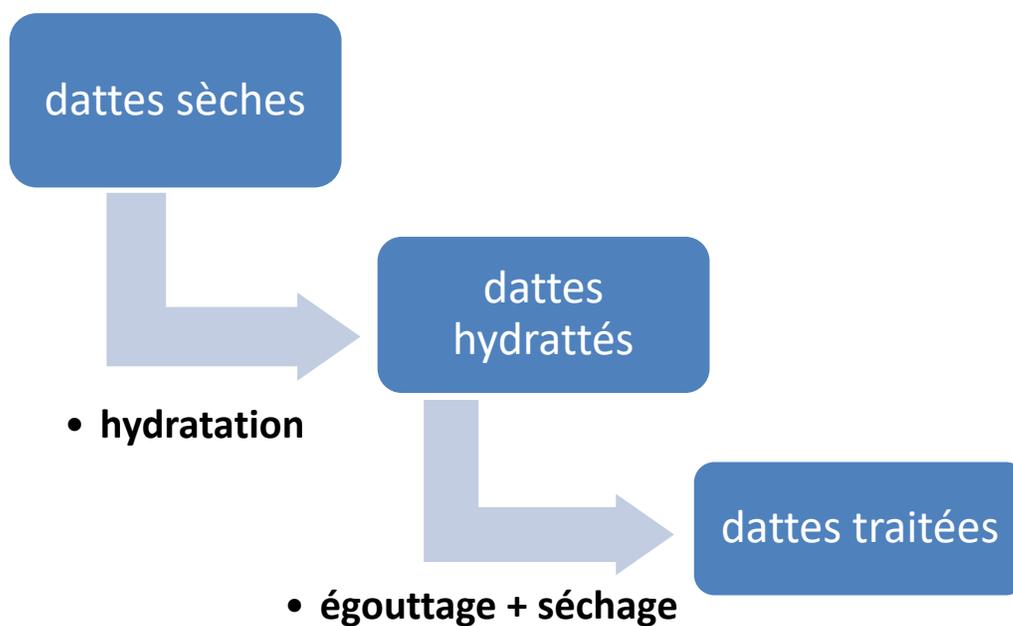


Figure III. 7: schéma montré les étapes de traitement des dattes sèches

III.3.1 Hydratation :

L'hydratation ou l'humidification est une opération nécessaire pour ramener les dattes Deglet-Nour sèches, à un état d'humidité et de texture répondant aux exigences du marché.

Dans cette procédé On met les dattes sèches dans un bain marie contenant de l'eau douce à une température de 30°C pendant 15 heures.



Figure III. 8: le procédé d'hydratation a 30°C

III.3.2. Egouttage :

C'est une opération qui a lieu seulement en cas du trempage à l'eau. L'égouttage permet à l'eau de surface de s'échapper par entraînement ce qui doit minimiser les risques de moisissures et éventuellement le décollement de la peau de datte. Immédiatement après le processus d'hydratation, nous mettons les dattes hydratantes dans un endroit sombre pendant 3 heures.



Figure III. 9: operation d'egouttage

III.3.3. Séchage

Comme pour d'autres fruits séchés (prunes, abricots, etc.), le séchage des dattes a pour but de dégager l'excès en humidité afin d'éviter les problèmes de moisissure, acidification et

brunissement généralement attribués à des teneurs en eau élevés. Dans le cas des dattes Deglet-Nour le recours au séchage est nécessaire.

Dans cette procédé Nous avons séché les dattes hydratés au moyen d'un séchoir tunnel à convection forcée à différentes températures (50°C , 60°C et 70°C) et différentes débit d'air chaud ($Q_v=18\text{m}^3/\text{h}$) et ($Q_v=28\text{m}^3/\text{h}$).



Figure III. 10: le procédé de séchage

III.4. Méthodes des mesures :

III.4.1 Détermination de la teneur en eau:

La détermination de la teneur en eau, donc la détermination de la masse sèche des échantillons préparés est faite par la méthode AOAC (1995). La perte de masse d'un échantillon de 3 g de produit (pesé sur une balance de précision à 10^{-4} gramme près) a été mesurée après un séjour de 24 heures dans une étuve ventilée réglé à 105°C . La teneur en eau a été exprimée en kilogramme d'eau par kilogramme de matière sèche.

III.4.2 Mesure de la couleur:

La quantification des changements de couleur des échantillons traités a été déterminée en utilisant un colorimètre Minolta CR-400 (Figure III.11), permettant l'acquisition automatisée des paramètres **L**, **a**, **b**, dans le système Hunter-Lab [13-15] où **L** représente le paramètre d'échelle Noir/blanc, **a** le paramètre d'échelle rouge/vert et **b** le paramètre d'échelle jaune/bleu (III. 12).

Le changement de couleur global est alors exprimé par la quantité ΔE dite distance de couleur. ΔE est calculée en utilisant l'équation 1 [16-20], où L_0 , a_0 et b_0 se rapportent aux valeurs de couleur mesurées pour un échantillon initial (avant séchage). [22]

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \dots\dots\dots(1)$$



Figure III. 11: Colorimètre Minolta CR-400

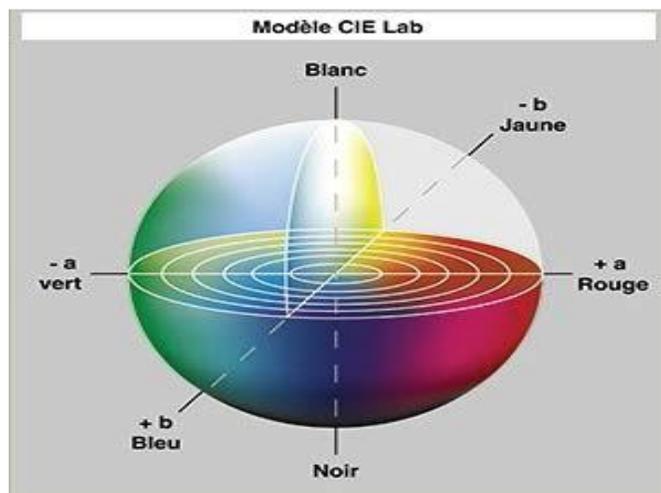


Figure III. 12: Espace de couleur L^*a^*b

III.4.3 Mesure de la température et l'humidité :

Les mesures de température et de l'humidité sont effectuées à l'aide d'une sonde d'humidité – température.

III.4.4 Mesure du débit d'air chaud :

La mesure du débit d'air chaud dans le séchoir est effectuée à l'aide anémomètre (type CA 1051) à hélice.

III.5. Les conditions de séchage des dattes :

La réalisation de l'opération de séchage a été faite selon un plan d'expérience.

Tableau III. 1: les conditions de l'opération de séchage.

Essai	Temperature (°C)	Débit d'air (m ³ /h)
1	50	18
2	50	28
3	60	18
4	60	28
5	70	18
6	70	28

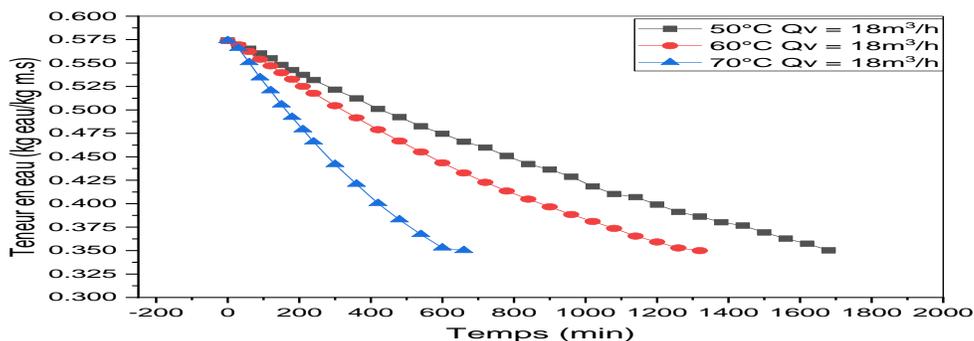
CHAPITRE IV : Résultat et discussions

IV.1. Etude de la cinétique de séchage :

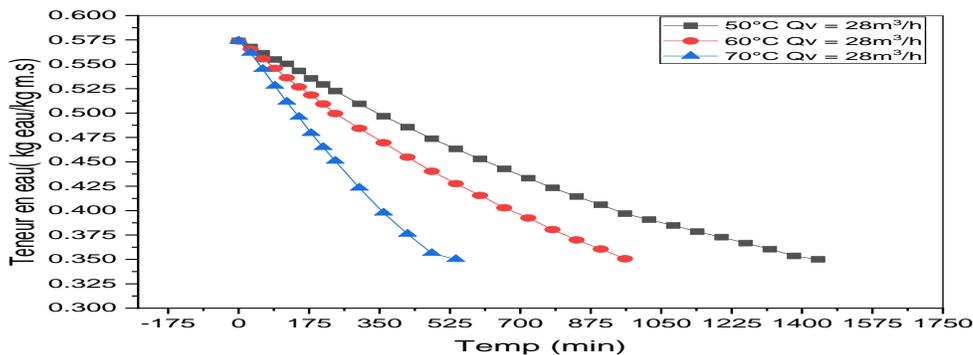
IV.1.1. Effet de température sur la durée du séchage :

La Figure IV (1 (a), (b)) représente la variation de la teneur en eau par rapport le temps, les courbes ((a),(b)) montrent l'effet de température sur la durée de séchage pour les débits d'air chaud $18\text{m}^3/\text{h}$ et $28\text{m}^3/\text{h}$. on remarque que la durée de séchage le plus long pour réduire de 0.575 à 0.35 (kg eau/kg ms) a été enregistré à 50°C qui a duré 1680 minutes. On remarque également que la durée de séchage minimum a été enregistrée à 70 degrés, qui ont duré 495 minutes.

Nous concluons que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la durée de séchage et inversement.



(a)



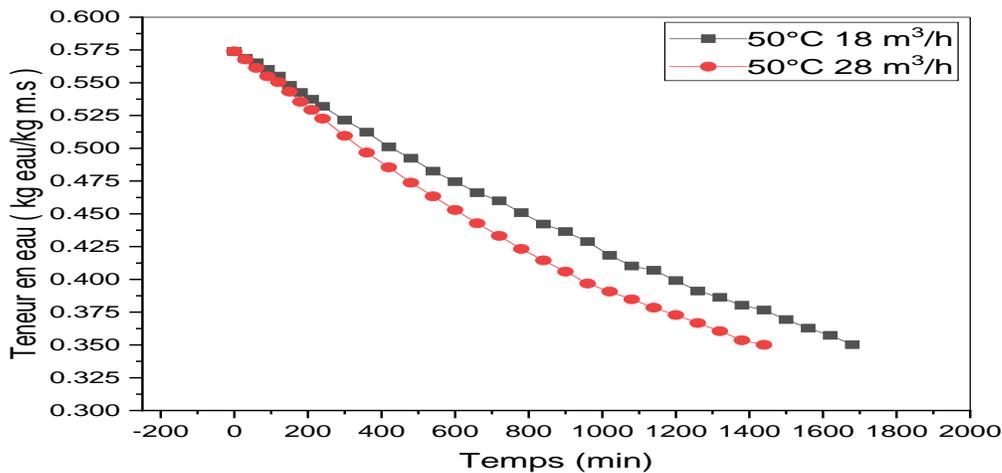
(b)

Figure IV. 1: Effet de température sur la durée de séchage pour le débit volumique (a) $Q_v = 18\text{ m}^3/\text{h}$ et (b) $Q_v = 28\text{ m}^3/\text{h}$

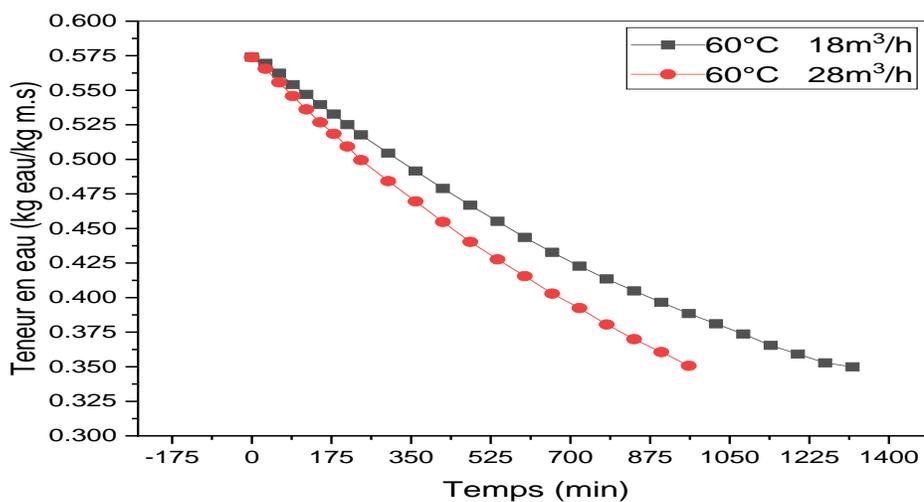
IV.1.2. Effet de débit d'air chaud sur la durée du séchage :

La Figure IV (2 (a), (b) et (c)) représente l'effet de débit d'air chaud sur la durée de séchage pour les températures 50°C, 60°C et 70°C. D'après ces courbes. On remarque que la durée de séchage le plus minimum est toujours enregistrée à $Q_v = 28\text{m}^3/\text{h}$ et la durée de séchage le plus long est toujours enregistrée à $Q_v = 18\text{m}^3/\text{h}$.

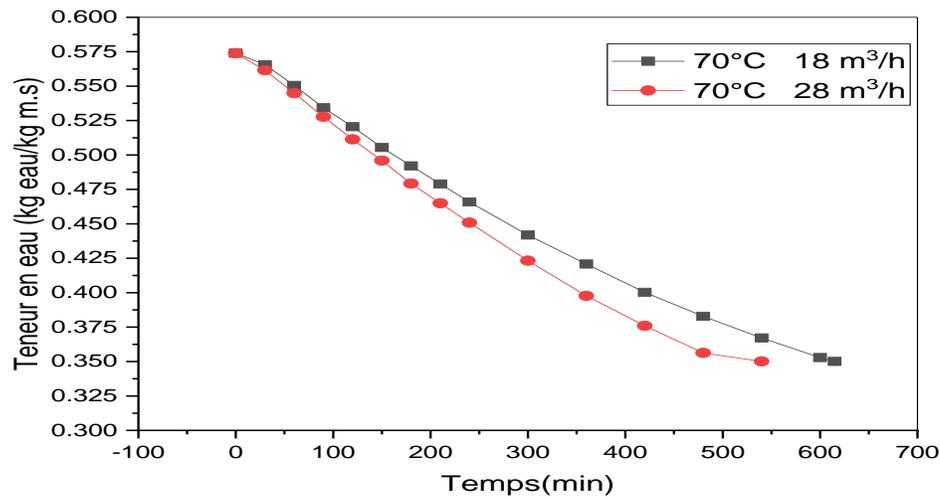
Nous avons on remarque que l'augmentation de débit d'air chaud provoque une diminution de la durée de séchage



(a)



(b)



(c)

Figure IV. 2: Effet de débit d'air chaud sur la durée de séchage pour la température (a) $T=50^{\circ}\text{C}$, (b) $T=60^{\circ}\text{C}$ et $T=70^{\circ}\text{C}$

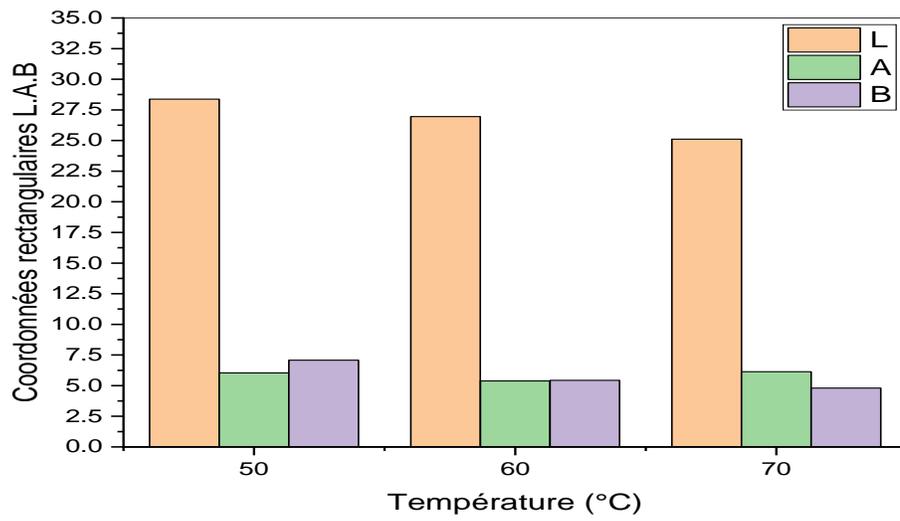
IV.2. Analyses physique-chimique :

IV.2.1. La couleur :

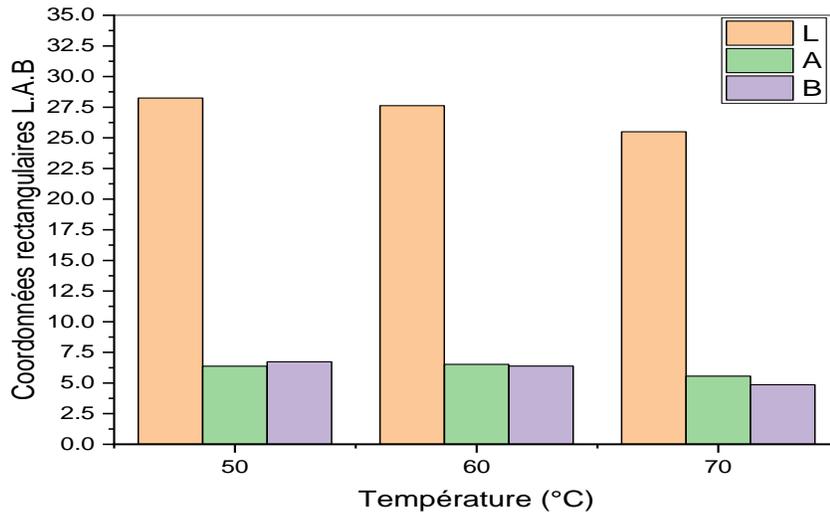
Le tableau IV.1, et la figure IV (3 (a) et (b)) Présentent respectivement, la mesure de la couleur et l'évolution des coordonnées (L, a, b) pour les différents échantillons des dattes, On remarque que l'échantillon N°1 contient la valeur la plus élevée de **L** indique la couleur : Noir/blanc, et l'échantillon N°4 contient la valeur la plus élevée d'**a** indiqué la couleur : rouge/vert, l'échantillon N°1 contient la valeur la plus élevée de **b** indique la couleur : jaune/bleu , on remarque aussi que les paramètre L et b sont des paramètre les plus important.

Tableau IV. 1: Mesures de couleur L.a.b pour les différents échantillons des dattes

échantillon	T (°C)	Qv (m ³ /h)	L	A	B
sèche	//	//	35.42	10.03	11.82
hydrate	30	//	30.96	7.12	7.85
1	50	18	28.38	6.03	7.08
2	50	28	28.24	6.37	6.73
3	60	18	26.95	5.38	5.43
4	60	28	27.62	6.52	6.38
5	70	18	25.1	6.13	4.8
6	70	28	25.49	5.56	4.86



(a)



(b)

Figure IV. 3: Evolution des coordonnées (L, a, b) pour les différents échantillons des dattes débit d'air chaud (a) $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$, (b) $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$

Le tableau IV. 2 représente les résultats des mesures de couleur et l'évolution des coordonnées (L, a, b) pour les différents échantillons de dattes (sèches, humides et sèches) dans différentes conditions, On remarque que la plus grande valeur de distance de couleur à été obtenue dans l'échantillon n° 6 sous une température de 70°C et un débit d'air de 18 m³/h, et que la plus petite valeur obtenue dans l'échantillon n° 1 sous Température de chauffage 50°C et débit de séchage 18 m³/h, ces résultats montrent qu'une augmentation de la température de séchage entraîne une augmentation de distance de couleur et qu'une augmentation de débit d'air de séchage entraîne une augmentation de distance de couleur et inversement.

Tableau IV. 2: résultats des mesures de couleur L.a.b des dattes et de calcule ΔE

échantillon	T (°C)	Qv (m³/h)	ΔE
sèche	//	//	//
hydrate	30	//	6.65
1	50	18	2.9
2	50	28	3.02
3	60	18	4.99
4	60	28	3.69
5	70	18	6.66
6	70	28	6.41

Les figures suivantes montrent la différence de couleur des dattes entre différentes expériences :



Figure IV. 4: photo des dattes après séchage a condition ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$)



Figure IV. 5: photo des dattes après séchage a condition ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$)



Figure IV. 6: photo des dattes après séchage a condition ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$)



Figure IV. 7: photo des dattes après séchage a condition ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$)



Figure IV. 8: photo des dattes après séchage a condition ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 28 \text{ m}^3/\text{h}$)



Figure IV. 9: photo des dattes après séchage a condition ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $Q_v = 18 \text{ m}^3/\text{h}$)

IV.3. Modélisation et optimisation :

En basée sur l'utilisation du logiciel StatGraphic selon un plan d'expérience l'ordre mixte (3^2) (voir tableau IV 3)

Tableau IV. 3: Les facteurs et les réponses du plan d'expérience proposé.

essai	T	Qv	ΔE	Durée de séchage (h)
1	-1	-1	2.90	28
2	-1	1	3.03	24
3	0	-1	4.99	22
4	0	1	3.69	16
5	1	-1	6.66	10.25
6	1	1	6.41	8.25
Niveau-1	50	18		
Niveau 0	60	//		
Niveau 1	70	28		

IV.3.1. Les différentes réponses dans le plan d'expérience :

IV.3.1.1. Durée de séchage:

Les résultats d'analyse pour la réponse de la durée de séchage nous donne le modèle mathématique suivant :

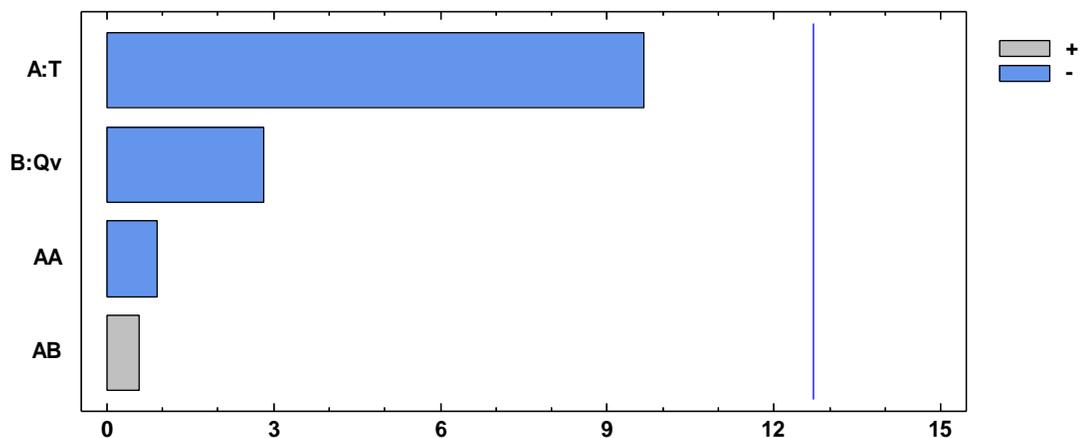
$$DS = 19.0 - 8.375*T - 2.0*Q_v - 1.375*T^2 + 0.5*T*Q_v$$

- **T** : la température de séchage
- **Q_v** : Débit volumique de l'air chaud de séchage

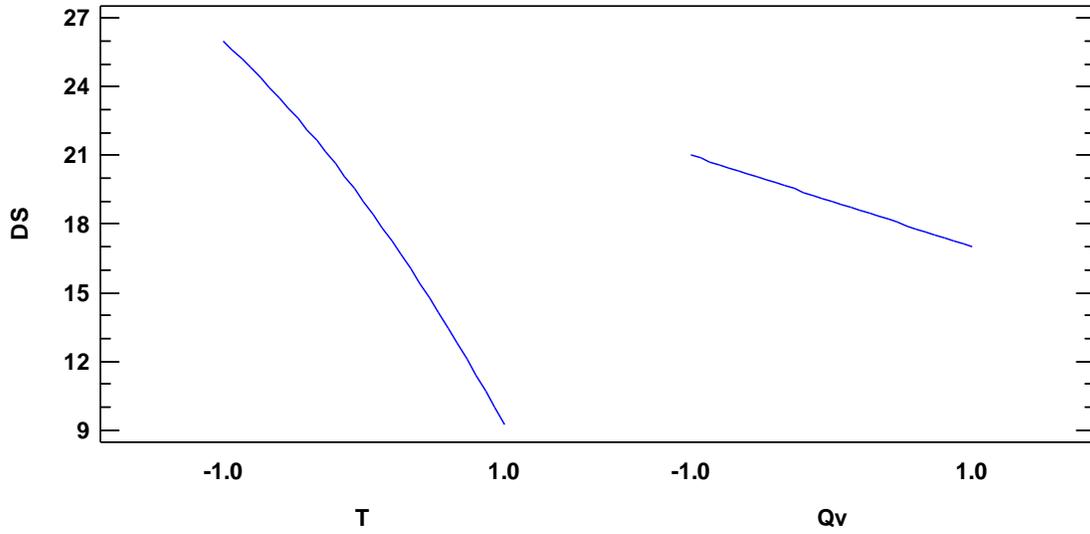
Tableau IV. 4: Les valeurs des coefficients du modèle mathématique de la durée de séchage

coefficient	valeur
constant	19.0
A : T	-8.375
B : Q _v	-2.0
AA	-1.375
AB	0.5

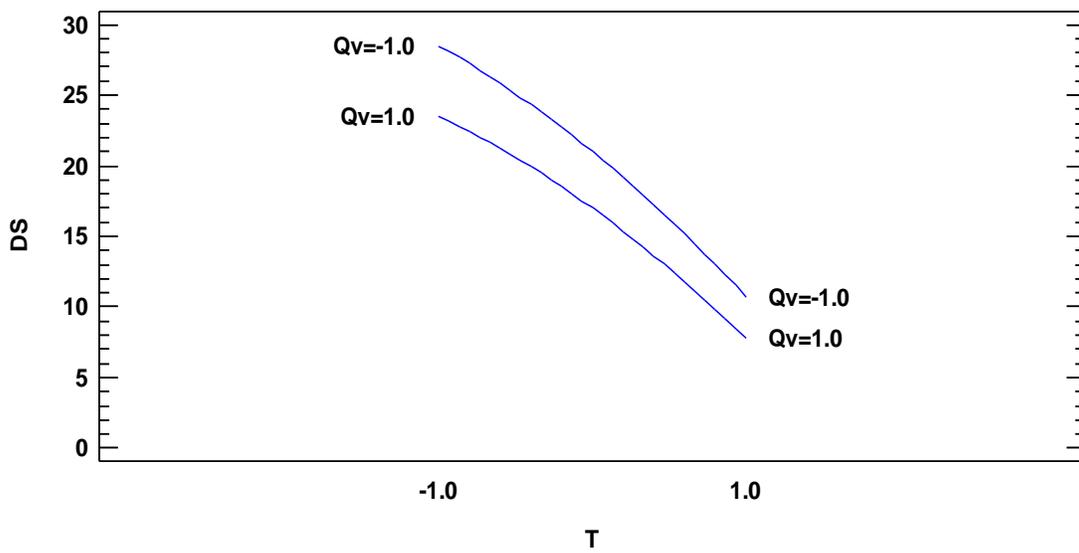
La figure IV (10(a), (b) et (c)) montre les différents effets et interactions sur la durée de séchage. On constate que l'effet (A) a un effet important, pour lequel l'effet de la température et du débit d'air chaud ont des effets négatifs, par Contre l'interaction (AB) présente un effet positif. Nous concluons que pour réduire la durée de séchage, il est recommandé d'augmenter la température et le débit d'air chaud.



(a)



(b)



(c)

Figure IV. 10: (a) Pareto chart, (b) effets et (c) interaction sur la durée de séchage

La Figure IV.11 montre la surface de réponse. On remarque que la valeur maximal de la durée de séchage (28 heure) a obtenu au niveau bas de température de séchage et de débit d'air chaud par contre la valeur minimale de la durée de séchage (8.25heure) a obtenu au niveau haut de température de séchage et de débit d'air chaude.

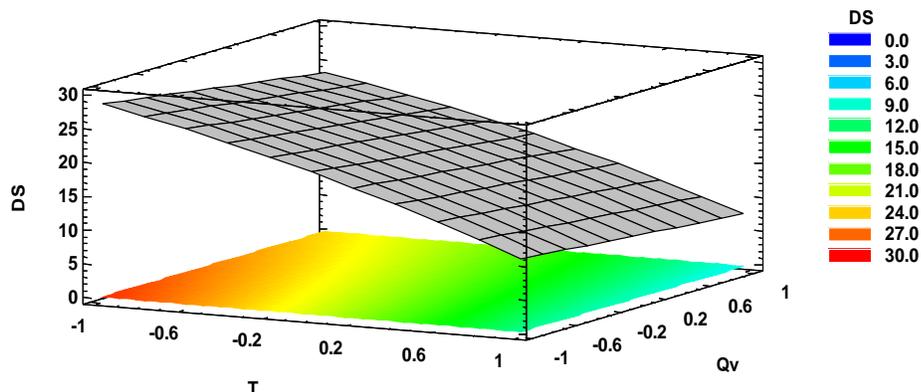


Figure IV. 11: Surface de réponse pour la durée de séchage.

IV.3.1.2. Distance de couleur:

Les résultats d'analyse pour la réponse de la Distance de couleur nos donne le modèle mathématique suivant :

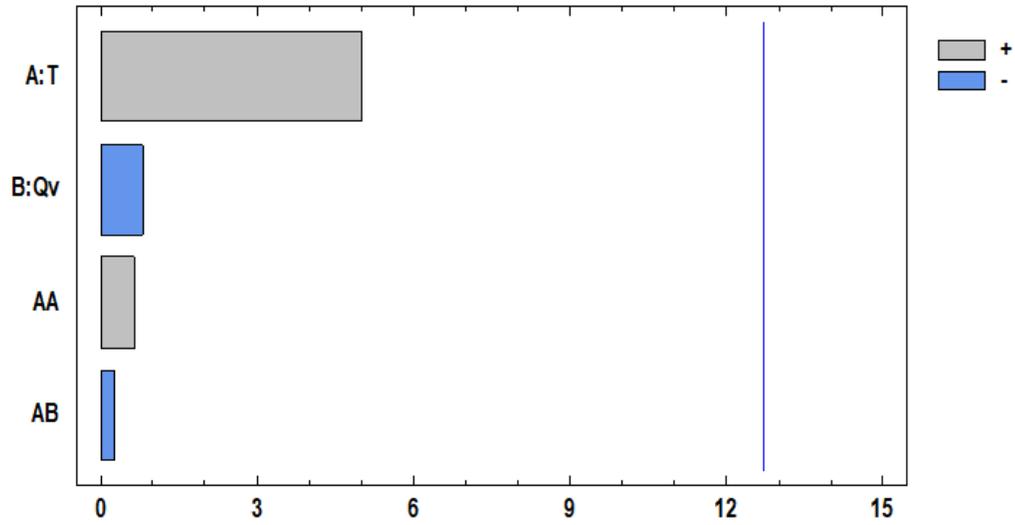
$$\Delta E = 4.34 + 1.7875 * T - 0.238333 * Qv + 0.4075 * T^2 - 0.0925 * T * Qv$$

Tableau IV. 5: Les valeurs des coefficients du modèle mathématique de la distance de couleur

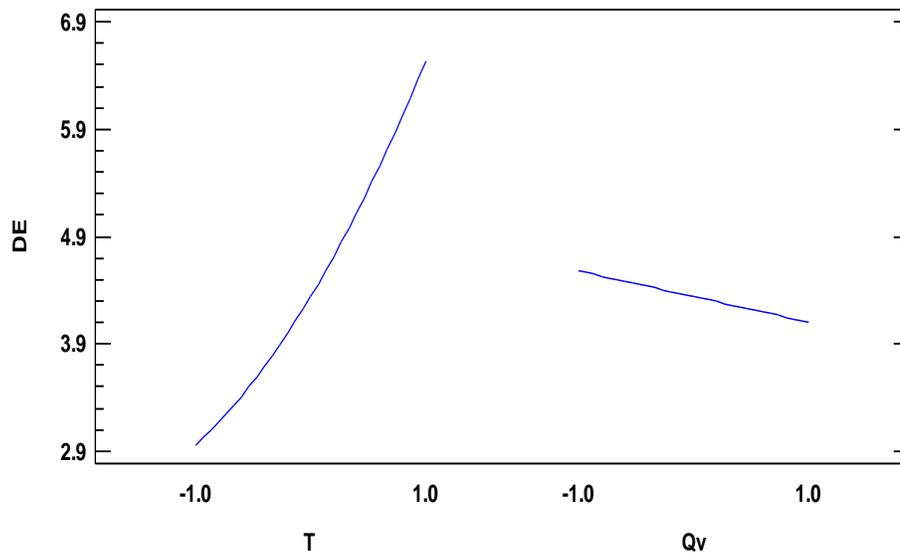
Coefficient	valeur
constant	4.34
A:T	1.7875
B:Qv	-0.238333
AA	0.4075
AB	-0.0925

La figure IV (12(a), (b) et (c)) montre les différents effets et interactions sur la distance de couleur. On constate que l'effet (A) a un effet important, pour lequel l'effet de la température a un effet positif et a un effet négatif, par contre l'effet du débit d'air chaud et l'interaction (AB) sont

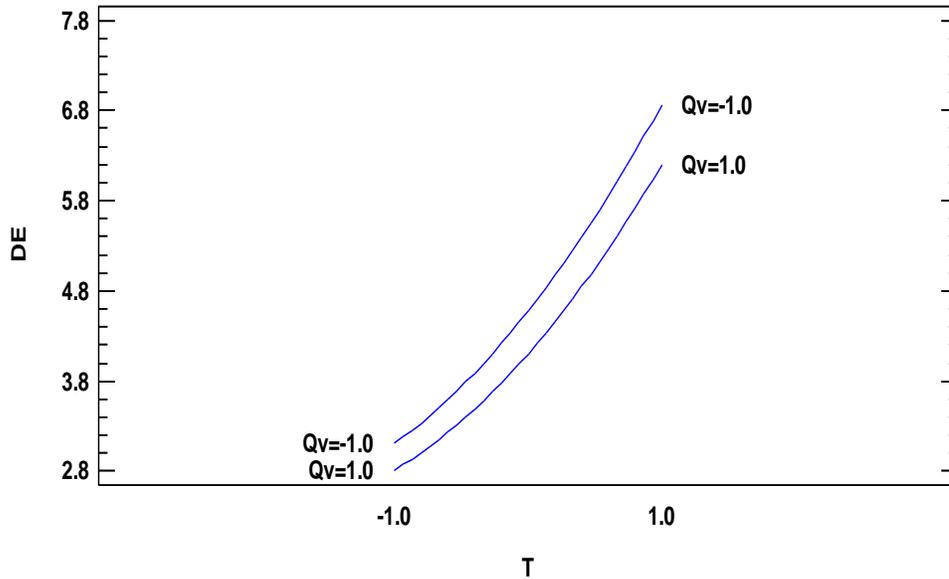
des effets négatifs. Nous concluons que pour réduire la distance de coulure, il est recommandé de réduire la température de séchage et augmenter le débit d'air chaud.



(a)



(b)



(c)

Figure IV. 12: (a) Pareto chart, (b) effets, (c) et interaction sur la distance de couleur

La figure IV.13 montre la surface de réponse pour la distance de couleur. On remarque que pour obtenir le maximum de valeur pour la distance de couleur, il faut augmenter la température et diminuer le débit d'air, et que pour obtenir la valeur la plus basse pour la distance de couleur, il faut diminuer la température et le débit d'air doit être augmenté. Nous notons également que la valeur maximale de Distance de Couleur est de 6.66 et la valeur minimale est de 2.9.

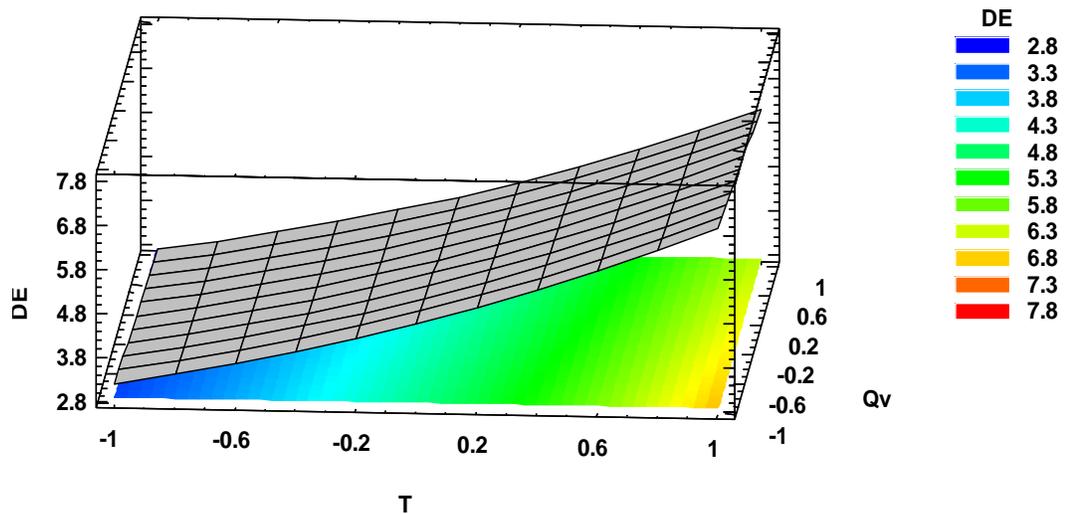


Figure IV. 13: Surface de réponse pour la distance de couleur.

IV.3.2 Optimisation :

Afin de déterminer les conditions optimales de température et de débit d'air, une étude d'optimisation basée sur l'analyse de l'ensemble des réponses (Multiple Réponse Optimisation) par la méthode des plans d'expérience. L'objectif d'optimisation est de minimiser la durée de séchage et la distance de couleur (ΔE).

Le tableau IV.6 montre les conditions optimales pour obtenir un produit de haute valeur et commerciaux.

D'après le tableau, On remarque que la température optimale est de 60.5°C et le débit d'air optimal est de 28 m³/h afin d'obtenir une durée de séchage de 16.59 h et une distance de couleur de 4.19.

Tableau IV. 6: Différents facteurs et réponses d'optimisation

<i>Factor</i>	<i>Optimum</i>
T	60.5
Qv	28
<i>Reponses</i>	<i>Optimum</i>
DS	16.6
ΔE	4.19

CONCLUSION GENERALE

Conclusions général :

Le traitement des dattes sèches a été effectué par deux procédés : l'hydratation par trempage dans l'eau filtré a une température de 30°C et le séchage thermique au moyen d'un séchoir tunnel à convection forcée en différent condition.

Le séchage thermique est une étape essentielle pour la valorisation des dattes sèches hydratée.

Lors du séchage nous avons respecté la teneur en eau commerciaux (35%)

Les résultats obtenus ont montré ce qui suit :

- L'effet de la température est négatif sur la durée de séchage et positif sur la distance de couleur
- L'effet du débit de l'air est négatif sur le temps de séchage et sur la distance de couleur
- La température de séchage est le facteur le plus influent.
- L'étude d'optimisations montre que les conditions optimales du fonctionnement de notre séchoir convectif (T,Qv) sont de l'ordre de 60.5 °C et 28 m³/h respectivement et les différents réponses durée , la durée de séchage et la distance de couleur sont de l'ordre de 16.6 (h) et 4.19

En perspective, il sera intéressant dans les recherches futures sur le séchage des dattes sèches hydratées par d'autres voies et par d'autres méthodes

Tel que:

- Hydratation dans la chambre d'humidification.
- Séchage par séchoir solaire soutenu par des plaques polycarbonate.

REFERENCES

Bibliographies

References:

[1]- Brian A. Nummer. (2002). National Center for Home Food Preservation, Historical Origins of Food Preservation.

[2] – S. Chouicha, A. Boubekri, D. Mennouche, H. Bouguetaia. (2010). Séchage et qualité des dattes Deglet-Nour réhumidifiées par utilisation d'un séchoir solaire hybride,

[3] - chalezeule.org. (2015). Le séchage solaire. P2.

[4] - Pascal Dhulster. (2015).cours séchage, Université de Lille, Sciences et Technologies,

[5] - A. Boubekri, D. Mennouche, H. Bouguettaia, S. Chouicha, M. Berrebeuh, S. Boughali. (2010).exploitation d'un séchoir solaire hybride pour la valorisation des dattes sèches réhydratées.

[6] - R. Mechlouch, A. Mahjoubi, B. Mahdhaoui, (2013).Effet du séchage solaire sur la composition en sucres et en phénols de la datte variété Deglet Nour,

[7] - D. Mennouche, B. Bouchekima, A. Boubekri, S. Boughali, H. Bouguetaia, D. Bechki. (2014). Valorisation des dattes Deglet-Nour réhydratées par une étude expérimentale de la méthode de traitement par séchage solaire.

[8] - S. Chouicha, A. Boubekri, D. Mennouche. H. Bouguetaia, M. Berrbeuh. (2014). Valorization Study of Treated Deglet-Nour Dates by Solar Drying Using Three Different Solar Driers, Energy Procedia 50 907 – 916.

[9] - M. Basunia, O. Magoub, M. Rahman. (2010). Séchage des dattes À Oman à l'aide d'un sécheur tunnel solaire.

[10] - A. Ferradji, Y. Goudjal et A. Malek. (2008) . Séchage du raisin de variété Sultanine par un séchoir solaire à convection forcée et un séchoir de type coquillage Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger .177 – 185

[11] A. Ferradji, A. Malek, M. Bedoud, R. Baziz et S.A. Aoua. (2001).Séchoir Solaire à Convection Forcée pour le Séchage des Fruits en Algérie SMSTS'08 Alger

REFERENCES Bibliographies

- [12] - Djerbi, M. (1999). Growth and development stages of date palm fruit. In : Zaid, A. (ed.), Arias-Jiménez, E. J. (cord.), Date palm cultivation, FAO, Rome, 420.
- [13] – Munier, P. (1973). Le palmier dattier Techniques agricole et productions tropicales. Paris Maison Neuve et Larose, 143-174.
- [14] – A.Boussalia. (2010). Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire de Magister: Université Mentouri. Constantine.
- [15] - Saliha DAAS A. (2009). étude quantitative des composés phénoliques des extraits de trois Variétés de dattes (Phoenix dactylifera L.) et évaluation in vitro de leur activité biologique, Mémoire MAGISTER, Université EL-HADJ LAKHDAR Batna , P18
- [16] - Cook J.A. et Furr J.R. (1952). Sugars in the fruits of soft, semi-dry and dry commercial date varieties. Date Growers Inst. Rept. 29 : 3-4.
- [17]- Estanove P. (1990). Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM. 301-318.
- [18] - Med Assad Allah Matallah. (2004). Contribution à l'étude de la conservation des dattes de la variété Deglet-Nour . Institut National Agronomique (INA)
- [19] - CACI. (2015). Analyse Statistique du Marché Mondial de la Datte et Place de l'Algérie. République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère du Commerce. Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie Exposé présenté par M. KADRI Saadane, Secrétaire Général Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie.
- [20] - Saliha DAAS A, (2009) etude quantitative des composés phenoliques des extraits de trois Varietes de dattes (phoenix dactylifera L.) et evaluation in vitro de leur activite biologique, , Université el-hadj lakhdar batna ,22/10/2009,P18. mémoire Magister
- [21] - DAWSON, C. (2017). Marché de la datte en croissance continue. Mehdarine passeport pour l'exotisme .

REFERENCES Bibliographies

[22] - D. Mennouche. (2016) .Etude et amélioration de l'efficacité énergétique des séchoirs solaires dans les zones arides désertiques, thèse doctorat, Université A. Mira-Bejaïa, p 27. Thèse doctorat.