UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA

Faculté des Sciences et de la Technologie et Sciences de la matière

Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine Sciences et Techniques

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique

Présenté Par : **Matallah AICHA**

Thème

Séchage solaire des arachides par trois modes différents : Etude comparatif et aspect qualité

Soutenu le **16/06/2013**
Devant le jury composé de :

Mr	Sekirifa M.LAMINE	M.A	Examinateur
Mr	KHAMA Réda	M.A	Examinateur
Mr	M. MENNOUCHE	M.A	Rapporteur

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2012/2013

REMERCIEMENT

Je remercie Dieu, mon créateur d'avoir donné la force pour accomplir ce mémoire

Tous mes remerciements à mon encadreur monsieur Mennouche Djamel de sa collaboration et de sa patiente avec moi.

*J'adresse mes remerciements à Monsieur **Sighni Ladjal** pour leur disponibilité dans le laboratoire*

*Un grand merci à Melle **Zighmi Souad** et **M.Sekirifa M.lamine** pour ses encouragements et sont aide pendant la préparation de ce mémoire*

Je veux remercie tous les orienteurs, tous ceux qui d'une façon ou d'une autre ont fait part de leur aide et ont participé de prés ou loin à la réalisation de ce travail surtout Haj Yakobe et Houti Ahmed.

J'exprime mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger mon travail

Dédicaces

A celle qui m'est tout donné sans rien en retour

A celle qui m'est encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficiles

Et celle à qui je dois tant

A ma grande mère MAZOHRA

A l'esprit de ma mère,

A la mémoire de mon père.

A touts mes frères surtout Bourhane et Khaled et mes

sœurs Khaira Samia et ses enfantes Mohamed Besma Safa

A tout mes tantes et surtout Rbiha qui ma donne le

courage a tout les années des études.

A toute ma famille.

A mon fiancer Abderaouf.

A tout qui m'aide à prendre une lettre.

A tous mes amies et collègues surtout Imane Khadidja

Hafida Meriem Sara Naima zahira Ouahiba Romaisa Khawla .

Zue ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de

ma profonde reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.

liste des figures

Figure (I.1): le taux d'humidité du produit ns (X_s) en fonction du temps 6

Figure(I.2) Plante d'arachide à maturité 7

Figure(II.1): Séchoir solaire naturel 9

Figure (II.2) : Schéma de séchoir solaire sous serre 11

Figure (II.3) : schéma descriptif du système de séchage 16

Figure(II.4): variation de la teneur en eau en fonction de temps 16

Figure (II.5):Variation du rayonnement solaire en fonction de temps 17

Figure (II.6): Variation de la température en fonction du temps 18

Figure (II.7): Variation de l'humidité relative de l'air en fonction du temps 19

Figure(II.8):Variation de la vitesse de l'air en fonction du temps 19

Figure (II.10): Variation de la teneur en eau des arachides en fonction du temps 20

Figure (II.12): variation du rayonnement solaire en fonction du temps. 21

Figure (II.13): variation de température solaire des arachides pour les 2 jours 22

Figure (II.14): variation solaire de l'humidité en fonction de temps 23

Figure (II.15): variation de vitesse de l’air en fonction de temps 24

Figure (II.16): variation de la teneur en eau en fonction du temps pour les trois modes de séchage 25

Figure (II.17): variation du température en fonction du temps pour les trois modes de séchage 26

Figure (II. 18): Les étapes de préparation de l’échantillon 26

Figure(II. 19) : Montage d’un appareil de soxhlet 27

Figure (II.20) : l’étape d’extraction et d’évaporisatio 28

Introduction :

L'énergie solaire présente une source d'énergie renouvelable. Elle est gratuite, inépuisable, non polluante et disponible en abondance dans la plupart endroits du monde. [1] L'utilisation de l'énergie solaire pour des applications thermiques, telles que le chauffage, la distillation de l'eau et le séchage a augmenté en raison des fluctuations du prix des combustibles fossiles et le déséquilibre écologique. [2]

Le séchage soleil est la méthode la plus utilisée dans la plupart des pays en voie de développement.[3] Pendant le séchage par cette méthode, des problèmes liés à la contamination et des pertes considérables se produisent en raison de diverses influences telles que les oiseaux, les insectes, les micro-organismes, les poussières, les pluies etc. En plus la qualité des produits alimentaires peuvent être sérieusement dégradées. [4]
Afin de réduire les pertes et améliorer la qualité des produits séchés, le séchage direct au soleil devrait être remplacé par le séchage on utilisant des séchoirs solaire. [5]

Les arachide (*Arachis hypogaea*) sont des sources importante des huiles essentielle, iles sont aussi contient diverses nutritionnelle (vitamines B, C, Mg, Cu…, des minéraux et des fibres alimentaires. [6]

Ce travail présent les résultats d'une étude expérimentale du séchage solaire d'un produit agro-alimentaire (les arachides) dont le but est l'étude comparative entre trois modes de séchage : séchage au soleil, direct et indirect.

Pour suivre les séries d'expériences de séchage solaire sur le produit de cette étude, nous avons utilisé le séchoir solaire direct et indirect installés au niveau du laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides (LENREZA) de l'université de Ouargla Algérie.

La présentation de notre travail est structurée en deux parties :

Dans la première partie, nous décrivons les notions théoriques sur le séchage et les arachides.

La deuxième partie de travail est consacré à la présentation du dispositif expérimental utilisé pour le séchage, les appareils de mesure ainsi que les résultats expérimentaux obtenus à partir des séries des expériences effectués au laboratoire LENREZA.

Ce dernier chapitre servira aussi d'un récapitulatif de la qualité de produit séchée. On se basant sur les analyses d'extraction de l'huile déterminées au niveau de laboratoire de Génie des procédés.

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

Partie théorique

I. Notion générale sur le séchage solaire

I.1. Introduction

Le séchage du produit est une opération unitaire qui a pour but l'élimination du liquide volatile qui' il contient. Dans cette opération interviennent deux phénomènes : un transfert de chaleur et un transfert de matière.

I.2. Définition

Nous appelons séchage, l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cet eau. Le corps humide en jeu peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide (sauf dans le cas particulier de la déshydratation d'un liquide non volatile : séchage des huiles), ce qui distingue le séchage de la concentration d'un liquide par évaporation, cas dans lequel le produit final est un concentré liquide. [7]

Sous le vocable « séchoir » nous trouvons un nombre incalculable de situation différentes du point de vue :

- des dispositions utilisées, plateau, chariots, tapis, tambours, lits fluidisés
- de l'échelle de l'opération qui peut s'étaler d'un production de quelques kilogrammes à plusieurs tonnes à l'heure.
- De l'état initiale de produit,pates,gels solide poreux
- De la forme de produit à sécher,filme,plaques,poudres,sphères,cylindres.
- De la quantité de solvant à extraire de produit,de plusieures fois sa masse sèche à quelques poure ont
- De l'énergie utulisé,déchets de production.fioul,gaz éléctricité
- De monde de fourmiture de cette énergie au produit :convection,conduction, rayonnement thermique,micro-ondes,haute fréquence . [8]

Au cours du séchage, l'eau contenue dans le matériau disparaît peu à peu dans l'air ambiant sous l'action de deux phénomènes : l'évaporation de l'eau et sa diffusion à l'intérieur du matériau. Ces phénomènes sont sous la dépendance des caractéristiques du gaz (air ou vapeur surchauffée) environnant à savoir :

- ✓ Sa température.
- ✓ Son humidité relative s'il s'agit de l'air.
- ✓ Sa vitesse.
- ✓ Sa pression.

L'évaporation de l'eau est un phénomène qui nécessite de la chaleur et qui est d'autant plus intense que la température du matériau est élevée. [7]

I.3. Les différents types de séchoirs

On peut classer les séchoirs suivant la façon dont ils utilisent le rayonnement solaire en séchoirs naturels, séchoirs directs et séchoirs indirects.

I.3.1. Les séchoirs naturels :

Ils utilisent directement le soleil et l'air, dont l'action n'est ni particulièrement favorisée, ni contrôlée. Le produit est réparti sur des claies ou des nattes, dans des cribs, ou disposé à même le sol. Les cribs sont orientés perpendiculairement au vent dominant .

- **Avantage des séchoirs naturels :**
  - Ces séchoirs sont très bon marché
  - les produits sont mieux protégés de l'attaque des mouches et autres insectes,
  - ils sont soumis à un effet de serre au même titre qu'un absorbeur de capteur plan, d'où une amélioration du bilan radiatif et une élévation de la température du produit à sécher,
- **Les inconvénients des séchoirs naturels :**
  - la destruction de certaines vitamines et la photo-oxydation du produit,
  - Pour la construction de ces séchoirs, on dispose d'une gamme variée de possibilités
  - Leur productivité est assez faible,
  - Les durées d'exposition, selon les conditions météorologiques locales et les produits à traiter, varient entre quelques heures et trois à quatre jours.

I.3.2.Les séchoirs solaires directs :

- Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de large possibilités de conception : du séchoir coffre à plateau et adapté à la petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités
  - **Avantages**
    - Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
    - Pas besoin de main-d'œuvre qualifié.
  - **Inconvénients :**
    - Température élevée en fin de séchage
    - Oxydation des vitamines A et C par les rayons UV du soleil
    - Jaunissement des légumes verts

- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risque de moisissure

I.3 .3. Les séchoirs solaires indirects:

Les produits à sécher ne sont pas exposés directement au rayonnement solaire. Ils sont disposés sur des claies à l'intérieur d'une enceinte ou d'un local en rapport avec l'importance des quantités à sécher. L'air neuf est admis dans l'enceinte de séchage après passage dans des capteurs à air ou autre préchauffeur qui le réchauffent en fonction du débit utilisé.

- **Avantages**
- Le produit n'est pas exposé directement au soleil.
- Le produit conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C)
- Température limitée (55°C)
- **Inconvénients :**
- Coût important.
- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir

I.4. Grandeurs caractéristiques

I.4.1. Humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température. En admettant que l'air est un gaz parfait [9] :

$$H_r = \frac{P_v}{P_s} \qquad (I.1)$$

I.4.2.Température sèche

On nomme température sèche d'un gaz la température indiquée par une sonde de température placée dans le courant gazeux. Il s'agit de la température d'un gaz au sens Courant. [9]

I.4.3. Le rayonnement solaire

L'énergie du rayonnement solaire et du type électromagnétique avec des longueurs d'onde s'étalent de l'ultraviolet à l'infrarouge. Le rayonnement solaire arrivant au sol se

compose du rayonnement direct et du rayonnement diffus et dont l'ensemble donne le rayonnement global .

I.5. Cinétique de séchage(FigureI.1)

Malgré la diversité des matériaux séchés, les cinétiques présentent généralement une allure qui peut être décomposée en quatre périodes :

On distingue :

- la phase transitoire de mise en température du produit à sécher (AB) ;
- la phase à vitesse de séchage constante (BC) ;
- la phase à vitesse de séchage décroissante (CD) ;
- C: est le point critique du séchage.

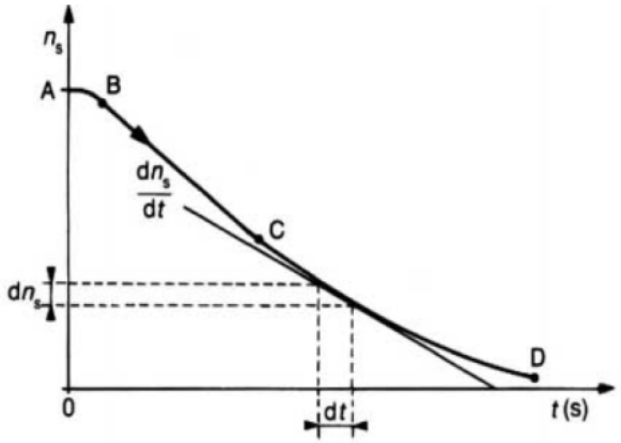


Figure (I.1): le taux d'humidité du produit ns (X_s) en fonction du temps

On note la présence unique de la phase à allure décroissante.Celle-ci est caractéristique de la majorité des produits alimentaires.

C'est la période de ralentissement, à partir de laquelle, la vitesse de séchage met à décroître. La teneur en eau correspondant à la transition entre période BC et CD, est appelée « teneur en eau critique » ou point critique du séchage. [10]

Il se crée dans les produits poreux un front d'évaporation se dirigeant progressivement vers l'intérieur de la matière à sécher. La vapeur d'eau ayant un chemin, plus en plus important à parcourir, et pression à la surface du produit diminué, le potentiel d'échange va décroître comme, et par conséquent, la diminution de la vitesse de séchage.

Le flux de chaleur échangé avec l'air n'est plus totalement compensé par la chaleur latente, servant à la vaporisation et on assiste donc à une augmentation de la température du produi.

I.6.Teneur en eau:

I.6.1.Teneur en eau à base sèche

La teneur en eau à base sèche appelée aussi L'humidité absolue d'un solide ou plus simplement humidité s'exprime par la masse de liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche.[11]

$$X_s = \frac{M_h - M_s}{M_s} \qquad \text{(I-2)}$$

I.6.2.Teneur en eau à base humide

La teneur en eau à base humide appelée aussi L'humidité relative d'un solide ou titre en eau, s'exprime par la masse du liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse humide.

$$X_h = \frac{M_h - M_s}{M_h} \qquad \text{(I-3)}$$

I.7. Produit à sécher (les arachides)

Figure(I.2) Plante d'arachide à maturité

I.7.1.Définition

L'arachide *(Arachis hypogaea)*, est une plante de la famille des Fabacées (ou légumineuses) originaire du Mexique et cultivée dans les régions tropicales, sub-tropicales et tempérées pour ses graines oléagineuses. Elle présente la particularité d'enterrer ses fruits après la fécondation. Le terme désigne aussi le fruit (une gousse) et la graine elle-même également appelés cacahuète (ou cacahouète, pois de terre, pistache de terre) ou en nahuatl *tlālcacahuatl* qui signifie cacao de terre. [12]

L'arachide est une plante pérenne à fleurs jaunes de 20 à 90 cm de hauteur.

(Les feuilles sont composées à 2 ou 3 paires de folioles membraneuses, ovales. Elles sont munies à leur base de stipules engainantes.)

(Les fleurs sont presque sessiles et apparaissent à l'aisselle des feuilles, isolément ou en petits groupes. La corolle papilionacée est jaune orangée. Les étamines au nombre de neuf sont soudées en tube par leur filet. L'ovaire est inséré sur un support particulier, le gynophore.

(Après fécondation, l'ovaire est porté en terre par le développement du gynophore qui s'allonge en se courbant vers la terre par géotropisme positif.)

Le fruit mûrit à une profondeur de 3 à 5 cm. C'est une plante qui requiert pour cette raison un sol léger et bien drainé. Le fruit est une gousse de 3 à 4 cm de long, appelée coque au plan commercial, contenant le plus souvent seulement deux graines, qui est réticulée extérieurement et étranglée entre les graines mais non cloisonnée. Les graines ovoïdes sont enveloppées dans un tégument sec rouge. [13]

I.7.2.L'huile d'arachide est une huile végétale préparée et extraite à partir d'arachide (arachides, *arachis hypogaea*) au moyen d'une presse hydraulique. Il s'agit d'une huile alimentaire d'apparence très limpide et idéale pour les cuissons à haute température. Particulièrement appropriée pour faire frire les aliments, elle peut aussi être employée pour la préparation de mayonnaises ou encore de vinaigrettes pour assaisonnement.

Partie expérimentale

II. 1. Introduction

La partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides et sahariennes qui se trouve dans l'université de Ouargla à la faculté des sciences et technologie et sciences des matières.

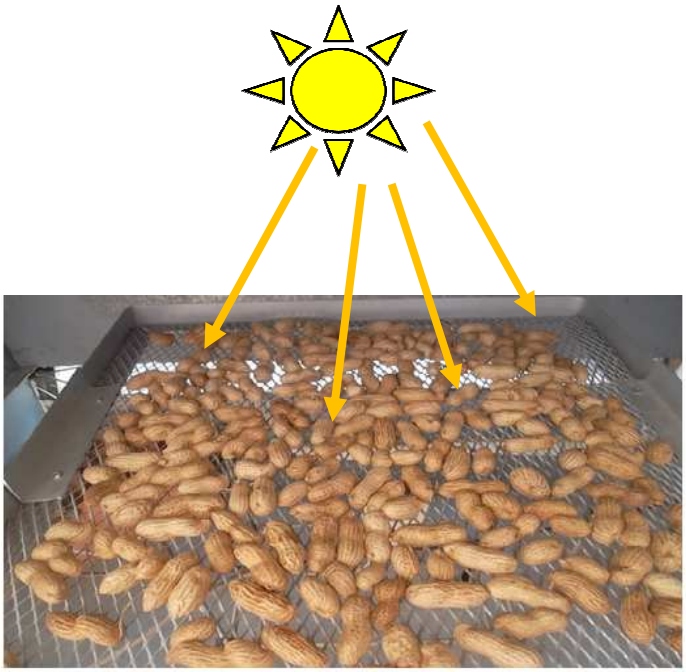
Cette partie du travail est consacrée au séchage des Arachide (Récolté de la région de SEBSEB, METLILI W.Ghardaia)

- La première expérience est consacrée au séchage direct au soleil.
- La deuxième expérience est consacrée au séchage par le procédé d'un séchoir solaire direct à convection naturel.
- La troisième expérience est consacrée au séchage indirect par le procédé d'un séchoir solaire indirect à convection naturel.

II. 2. Description du système de séchage

II. 2.1.séchage au soleil :

Dans cette étude nous avons séché les arachides naturellement au soleil dont le produit est déposé sur un claie (figure II.1).



Figure(II.1): Séchoir solaire naturel

On met une masse de 197 g d'arachide dans une claie relié avec une balance pour afficher la perte de poids chaque 30 minutes.

II. 2.1.1.Protocole expérimental et méthodologie de travail

La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale à une température inférieure ou égale à la température maximale tolérée par celui-ci. A la fin de journée, et dans le cas ou la teneur en eau est supérieur à la teneur finale Kg eau /Kg ms. [14], le produit est stocké dans un endroit sec afin d'éviter toute réhydratation

La méthodologie de travaille suit les étapes suivantes :

- Le nettoyage du séchoir ;
- L'installation des appareils de mesure ;
- préparation du produit ;
- Démarrage de l'essai.

Pour suivre l'opération de séchage, nous avons effectués les mesures chaque 30 minute.

II. 2.2. Séchage par le procédé de séchage solaire direct.

Le dispositif utilisé est schématisé sur la figure**(II.2)**, c'est un séchoir solaire direct à convection naturelle qui se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur. Cette chambre est couverte par une matière transparente (le verre) inclinée avec un angle de 31,57 pour capter le rayonnement solaire (l'effet de serre). Elle est constitue d'une cheminée pour l'évacuation naturelle de l'air humide. [14]

.

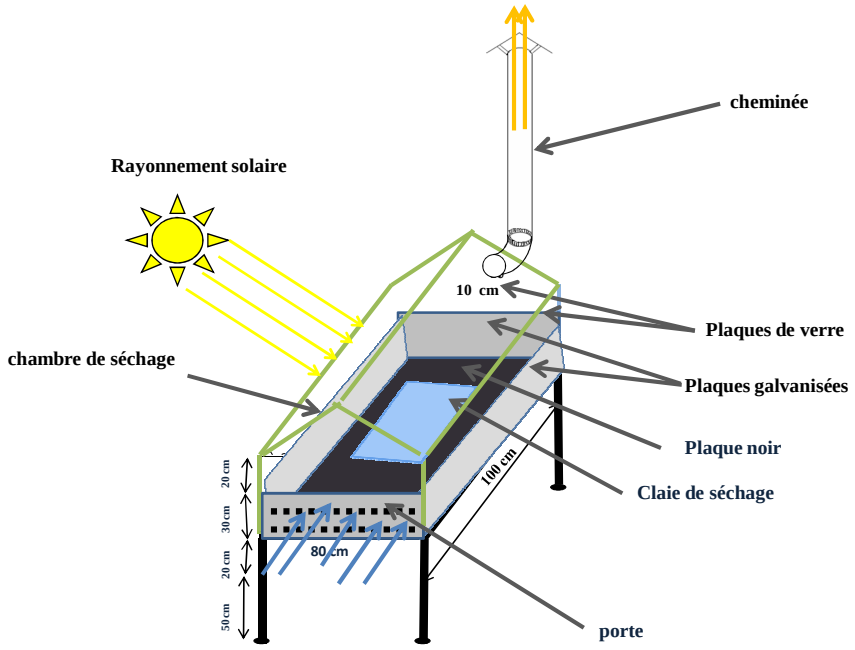


Figure (II.2) : Schéma de séchoir solaire sous serre

II. 2.2.1.Fiche technique du séchoir:

Matériaux : Tôle galvanisée épaisseur(e = 0,5 mm) et pour le verre (épaisseur e=4mm)

Dimensions extérieures (Hauteur- largeur- longueur) : 75cm x 80cm x 100cm

Isolation : polystyrène (épaisseur e= 3cm)

Dimension de la claie : 25cm x 18cm x 1cm

La masse de claie : 258 g

II. 2.2.2.Principe de fonctionnement :

Le séchage solaire de l'arachide utilise ce concept pour accélérer le processus d'élimination de l'eau contenue dans l'arachide déshydratée. L'échauffement de la surface des arachides, grâce au rayonnement solaire et au rayonnement infrarouge émis par le matériau transparent de la serre, permet d'augmenter la pression de vapeur d'eau à la surface d'arachide et par suite de favoriser l'évaporation. Un flux d'air frais admis sous la serre permet d'évacuer la vapeur d'eau issue du séchage. [15]

II. 2.2.3.Préparation du séchoir solaire directe.

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

- Le nettoyage de la couverture transparente et les différents endroits de capteur solaire ;
- L'installation de différents appareils de mesure.

II. 2.2.3.1.Préparation du produit

Avant le démarrage de l'opération de séchage, il faut faire le trie de l'arachide, en choisissant dans chaque expérience des échantillons de même volume

II. 2.3. Séchage par le procédé de séchage solaire indirect

II. 2.3.1.Principe de fonctionnement

Le séchoir indirect **Figure(II.3)** se compose d'un collecteur (capteur) qui convertit le rayonnement solaire en chaleur. L'air frais capté de l'extérieur circule dans le capteur solaire par convection naturelle. [15], il est chauffé avant d'arriver à l'entrée de la chambre de séchage, puis il continue son chemin à vers la claie de séchage et enfin l'air est évacué vers l'extérieur à travers la cheminée solaire. La durée de séchage est très variable selon les conditions expérimentales**.**

II. 2.3.2.Le capteur solaire

Le capteur solaire est un capteur à air plan de longueur de 2 m, et de largeur 1 m, et de hauteur 0,13 m, le capteur est recouvert d'une plaque de verre d'épaisseur 0.004 m, au dessous de cette plaque et à une distance de 0,06 m est déposée une plaque d'aluminium peinte en noire mate qui sert d'absorbeur; les cotés latéraux et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec le polystyrène. Le capteur est incliné d'un angle de 31° (latitude de la ville d'Ouargla) par rapport au plan horizontal et orienté plein sud. [16]

II. 2.3.3.La chambre de séchage

La chambre de séchage est une boite galvanisée de forme cubique, de hauteur 1 m, de profondeur 0,8 m; les parois latérales et les parties inférieure et supérieure sont isolées thermiquement par du polystyrène. La chambre de séchage est munie d'un cheminée cubique fabriquée avec des feuilles galvanisées de hauteur 1 m, les côtés de 0,020 m, et les parties latérales sont isolées thermiquement par du polystyrène.

La chambre de séchage est posée sur un support métallique, le produit est déposé à l'intérieur de la boite sur une claie de forme rectangulaire composé d'un cadre en métal sur lequel est fixé un grillage pour permettre le passage de l'air. [16]

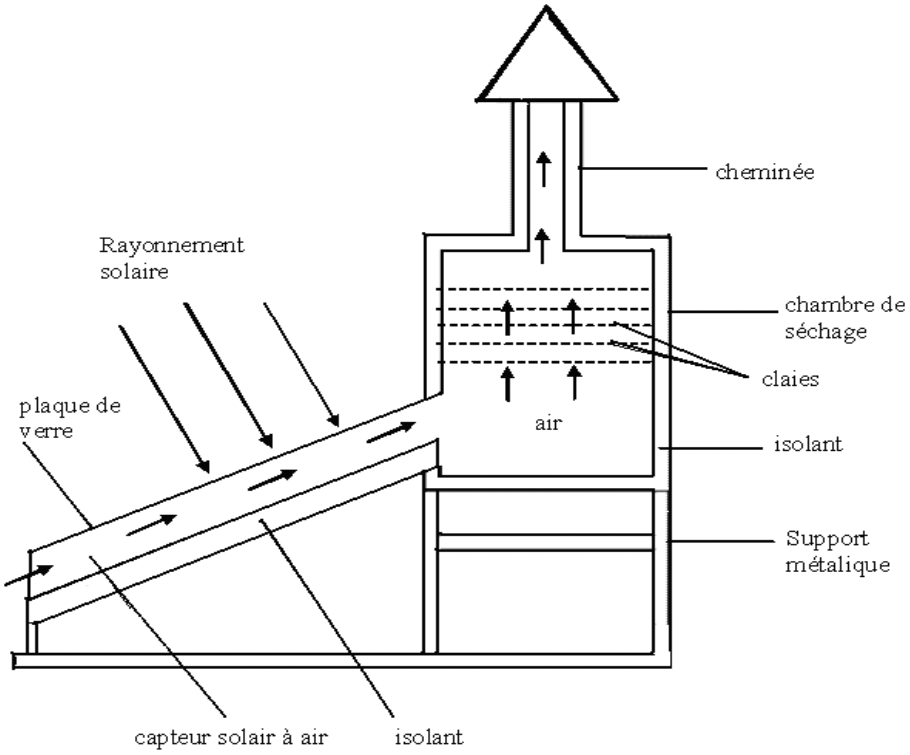


Figure (II.3) : schéma descriptif du système de séchage

II.2.3.4. Préparation du produit:

- Remplissage de la claie d'épaisseur 1cm par le produit (l'arachide).
- Aplanissement de surface sans pression
- On pesse le produit avant l'introduction dans le séchoir

II. 2.3.5.Protocole expérimental

Pour suivre la quantité d'eau évaporée du produit au cours du séchage, nous avons mesuré le poids chaque 30 minutes à l'aide d'une balance de précision 0.1 (La balance est reliée à un système d'acquisition automatique de mesures). La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur finale en eau à base humide. [17]

Les mesures de température, du rayonnement solaire, d'humidité relative, et de vitesse de l'air sont effectuées chaque 30 minute.

La durée de séchage à réaliser quotidiennement entre 9h et 18h, à la fin de chaque journée le produit est stocké dans un endroit sec 1pour éviter toute réhydratation

II.3.Appareillages de mesures:

II.3.1 Mise au point de la détermination de la teneur en eau initiale

Une dizaine des arachides prélevés au hasard de l'échantillon ont été dénoyautés, broyés jusqu'à l'obtention d'une homogène. La détermination de la teneur en eau initiale de produit s'effectuée selon les étapes suivantes :

- on introduit une masse de 2 g de la pâte dans un analyseur d'humidité de type SARTORIUS MA (**Figure (II-3))**
- Réglage de la température de l'analyseur d'humidité à 105°C. [18]
- Démarrage de l'analyseur d'humidité.
- Arrêt automatique de l'appareil après que la masse de l'échantillon soit constante.

Figure (I-6) : Analyseur d'humidité SARTORIUS MA

II.3.1.1. Calcul de la teneur en eau X.

La teneur en eau est calculée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau } (X_h) = \frac{M_I - M_s}{Mi} \times 100 \qquad \text{(II-3)}$$

M_i **:** La masse initiale d'arachide broyée (g)

M_s : La masse sèche (g)

II.3.2. Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement global reçu sur le plan du capteur est mesuré en W/m^2 à l'aide d'un Solari mètre et ceci durant la journée de l'expérience. Les résultats obtenus sont affichés sur un appareil à affichage numérique. [18]

II.3.3.Mesure des températures.

La mesure des températures dans les séchoirs solaires et des sondes de température dans plusieurs endroits des:

- Entrée et sortie capteur solaire.
- Avant et après la claie de séchage.
- Dans le produit à sécher.
- Absorbeur.

La mesure de la température externe s'effectue à l'aide des thermocouples de type K. Les thermocouples et les sondes utilisés dans les mesures sont reliés à deux appareils Cobra3 en série dont les résultats sont enregistrés sur deux ordinateurs (Acquisition automatique des données)

II.3.4. Mesure de la vitesse de l'air asséchant

La vitesse de l'air à l'entrée du capteur solaire pour le séchoir indirect et dans le cheminé pour le séchoir direct est mesurée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud connecté à un appareil d'acquisition de marque KIMO (Type LV110) [19]

II.3.5. Mesure de l'humidité relative de l'air asséchant [20]

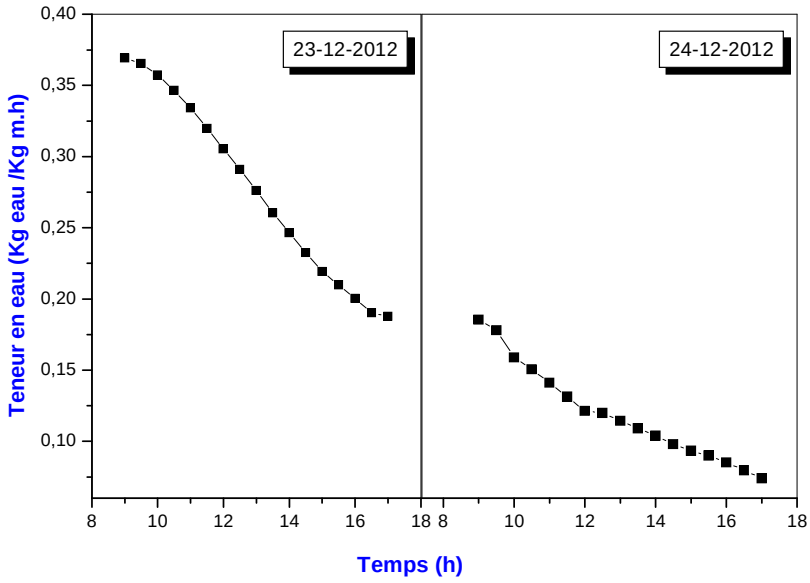
La mesure de l'humidité de l'air avant et après la claie de séchage s'effectue à l'aide de deux sondes d'hygromètres dont les résultats des mesures sont enregistrés sur un ordinateur

II.4.Résultats et discussions

II.4.1. Séchage par le procédé de séchage solaire direct

II.4.1.1.Variation de la teneur en eau dans le séchoir solaire direct

La figure (II.4) montre la variation de la teneur d'eau en fonction du temps pour les deux jours de séchage. La durée de séchage pour avoir une teneur en eau final $X_f = 0.07$ [21] est de 10 heures. On observe pour le premier jour une diminution importante de la teneur en eau (de 36.91 à 18.77) (Kg eau/kg ms). Ceci peut être justifié par une grande évaporation de l'eau à partir de la surface de produit. Le 2ème jour présente une diminution mois importante que celle du premier jour (de 22.93 à 15.37) (Kg eau/kg m_s).



Figure(II.4): variation de la teneur en eau en fonction de temps

II.4.1.2. La variation du rayonnement solaire:

La figure (**Figure (II.5)**) montre la variation du rayonnement solaire pour la période de séchage des arachides. On remarque que les deux courbes de la figure précédente présente une forme gaussienne dont le maximum du rayonnement est de 501w/m² pour le premier jour et de 499 w/m² pour le 2ème jour. Le maximum du rayonnement solaire est atteint à 12h 30 min pour les deux jours de séchage.

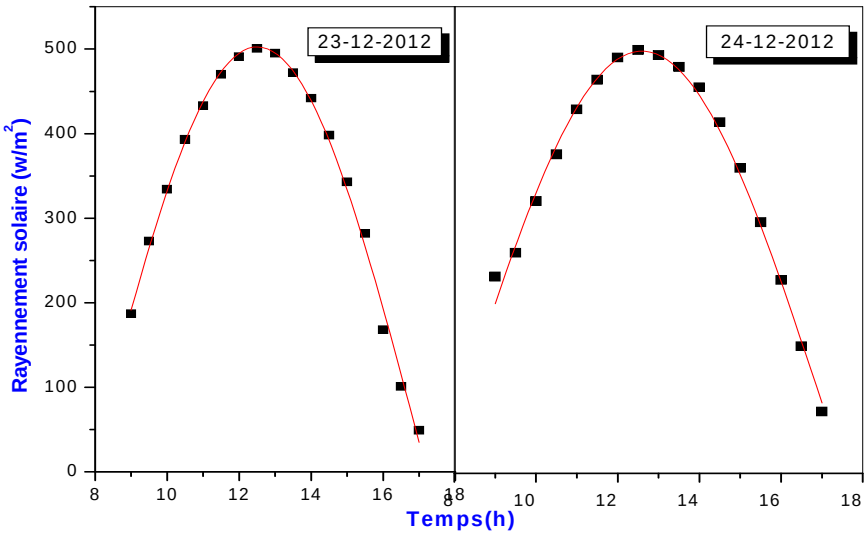


Figure (II.5):Variation du rayonnement solaire en fonction de temps

II.4.1.3 Variation des températures:

La figure **(II.6)** montre la variation des températures (T_{ext}, T_{av-cl}, T_{ap-cl}, T_{prod}) pour la période de séchage en fonction du temps. On remarque que la température de l'air externe (T_{ext}) varie entre 22.44 et 36.44°C et de 19.06 à 34.12°C pour les deux jours de séchage respectivement. Cette température augmente (T_{av-cl}) lorsque l'air arrive à la chambre de séchage et varie de 34.25 à 62.31°C pour le premier séchage et de 35.37 à 58.9°C pour le deuxième jour, on peut justifier cette augmentation par l'effet double du rayonnement solaire (effet de serre) et de la plaque noire de la chambre de séchage. L'énergie transférer de l'air au produit et la diffusion de la vapeur d'eau dans l'air de séchage lorsque ce dernier travers la claie de séchage provoquent une diminution importante de la température de l'air (de 4°C à 12°C) pour le premier jour, par contre pour le deuxième jour la température de l'air dépasse (T_{av-cl}) au début et à la fin de la journée de séchage à cause de l'état du produit (presque sèche) qui nécessite une énergie moins importante et de l'effet de la plaque noire sur la température c-à-dire que l'air travers la plaque avant d'arriver à la position de mesure de $T_{ap-cl.}$ On remarque aussi sur la figure que la température de produit varie entre 17.95 à 27.8 °C

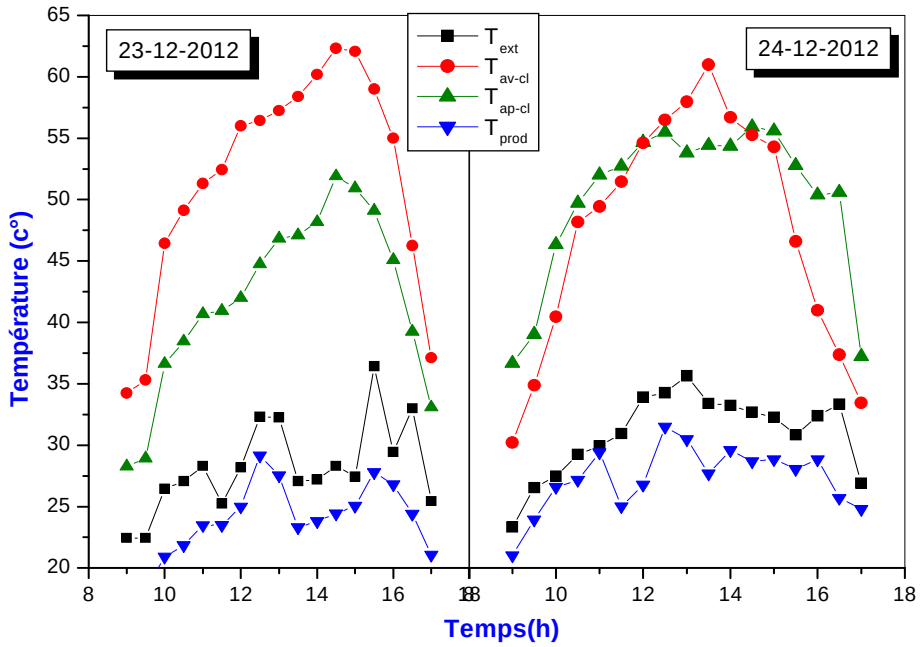


Figure (II.6): Variation de la température en fonction du temps

II.4.1.4. Variation de l'humidité relative de l'air :

La figure (**II.7**) montre la variation de l'humidité relative de l'air en fonction du temps pour la période de séchage. On observe sur la figure que la variation de l'humidité relative de l'air externe (Hr_{ext}) varie entre 16,33 et 31,44 % durant la période de séchage. L'humidité de l'air diminue lorsqu'il entre dans la chambre de séchage (Hrav-cl) et varie entre 4,7 et 18,91 %. Cette diminution est justifiée par l'augmentation de la température (T_{av-cl}) dans la chambre de séchage (Figure II.10). On remarque aussi que la courbe de Hr_{av-cl} présente dans l'intervalle de 12 h jusqu'à 16 h une variation autour d'une valeur moyenne de 5 %.

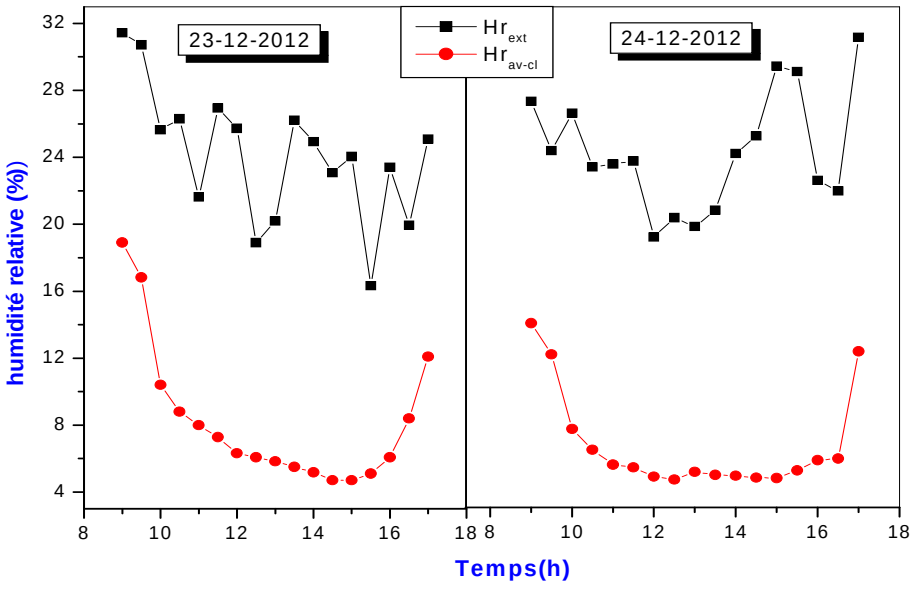


Figure (II.7): Variation de l'humidité relative de l'air en fonction du temps

II.4.1.5. Evolution de la vitesse de l'air dans le séchoir solaire : La figure (II.8) montre l'évolution de la vitesse de l'air en fonction du temps.

La figure**(II.8)** présente la variation de la vitesse de l'air en fonction du temps pendant la période de séchage. On remarque sur la figure que l'écoulement de l'air à cheminé est non uniforme pendant l'opération de séchage. Cette présente des fluctuations qui varie 0.6 à 0.94 m/s.

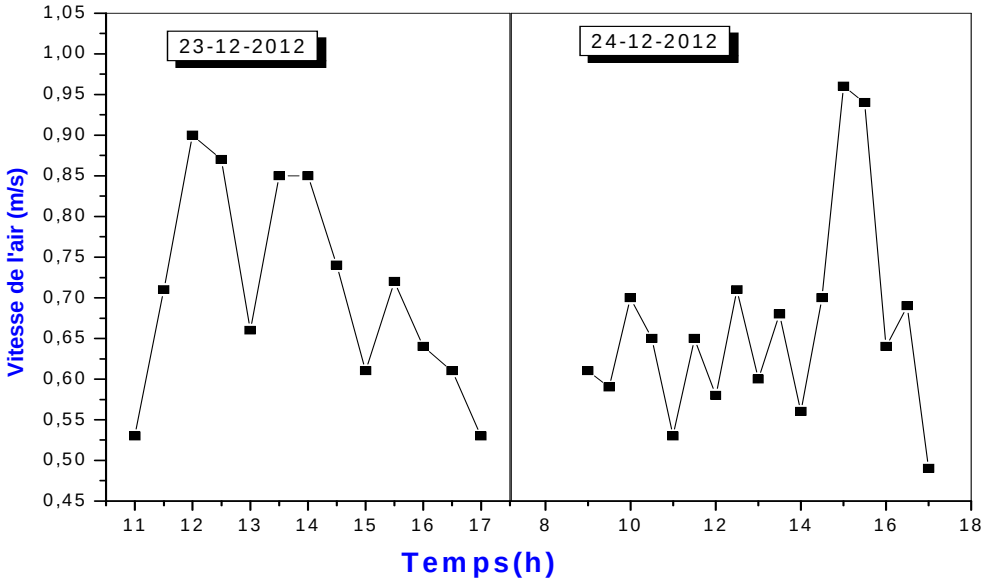


Figure (II.8):Variation de la vitesse de l'air dans le séchoir solaire

II.4.2. Séchage solaire indirect à convection naturelle.

II.4.2.1. La variation de la teneur en eau:

La figure (**II.9**) représente la variation de la teneur en eau (à base humide) en fonction du temps pour la période de séchage.

On remarque sur cette figure que la durée de séchage pour avoir une teneur en eau finale de 8.31 % [14] est de 24 h 30 min (trois jours). Nous pouvons voir que le premier jour de séchage présente une diminution importante de (34.15 % jusqu'à 17,21 %), ceci est expliqué par l'évaporation d'une grande quantité de vapeur d'eau de la surface (riche en humidité) de produit.

Pour le reste du temps, la diminution de la teneur en eau est moins importante et varie de 17,06 à 10,33 % pour le deuxième jour de séchage et de 10,33 à 8,31 % pour le troisième jour de séchage.

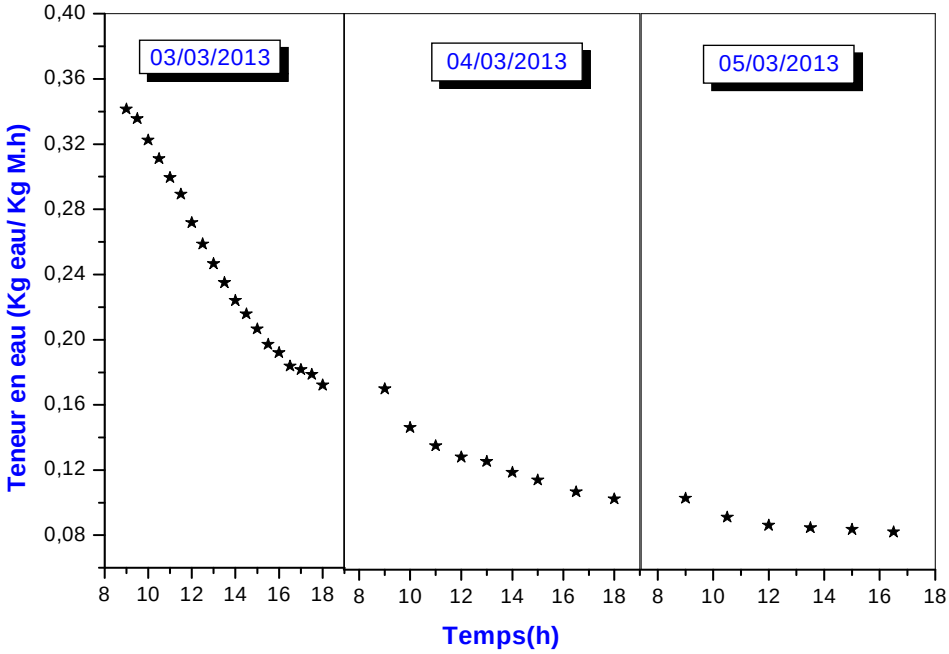


Figure (II.10): Variation de la teneur en eau en fonction du temps.

II.4.2.2.Variation du rayonnement solaire:

La figure ((**II.11**) montre la variation du rayonnement solaire pour la période de séchage. On remarque que les courbes de la figure précédente présente une forme gaussienne du rayonnement solaire dont le maximum est atteint dans le premier jour de séchage (à 14h) avec une valeur de 731 w/m². On peut noter aussi sur la figure que la troisième journée présente des valeurs du rayonnement mois importantes, ceci est justifier par l'existence des nuages durant cette journée.

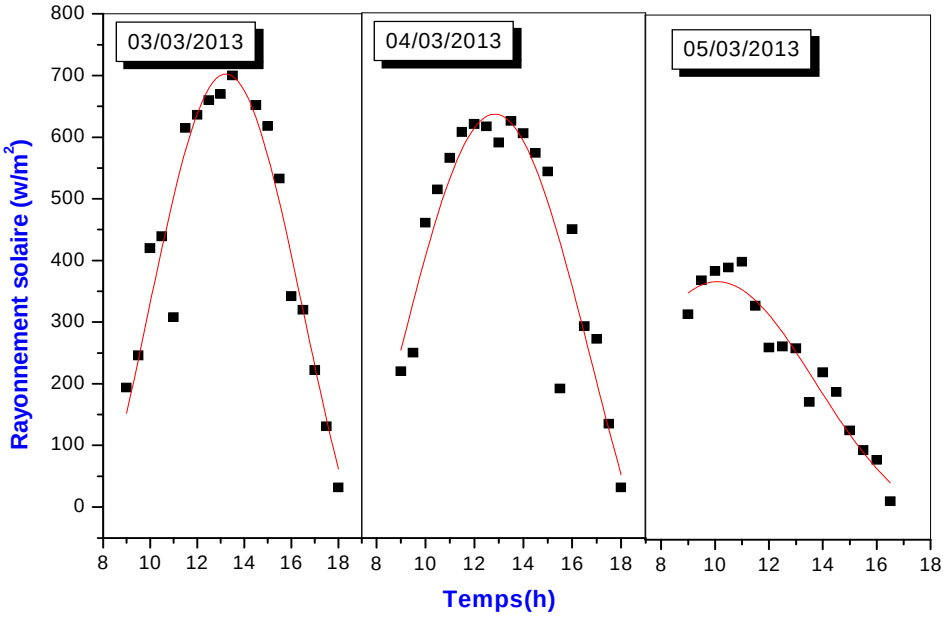


Figure (II.11): variation du rayonnement solaire en fonction du temps.

II.4.2.3. Variation du température en fonction du temps:

La figure (**II.12**) présente la Variation de la température (T_{ext}, T_{av-cl}, T_{ap-cl}) en fonction du temps pour la période de séchage des arachides. On remarque que la température T_{ext} ou bien la température à l'entrée du capteur varie de 16.6 et 35.5°C pendant les trois jours de séchage. Cette température augmente (T_{av-cl}) lorsque l'air arrive à la chambre de séchage et varie de 20 à 46 °C, de 20 à 45 °C et de 18 à 42°C pour les trois jours de séchage respectivement. On peut justifier cette augmentation par l'effet double du rayonnement solaire (effet de serre) et de la plaque noire du capteur solaire. On remarque aussi sur la figure que la température de l'air lorsque il travers la claie de séchage (Tap–cl) reste proche de Tav-cl, ceci peut être justifié par

la faible circulation et la non uniforme de l'écoulement de l'air dans la chambre de séchage, ce qui provoque des zones plus chaudes au dessus de la claie de séchage.

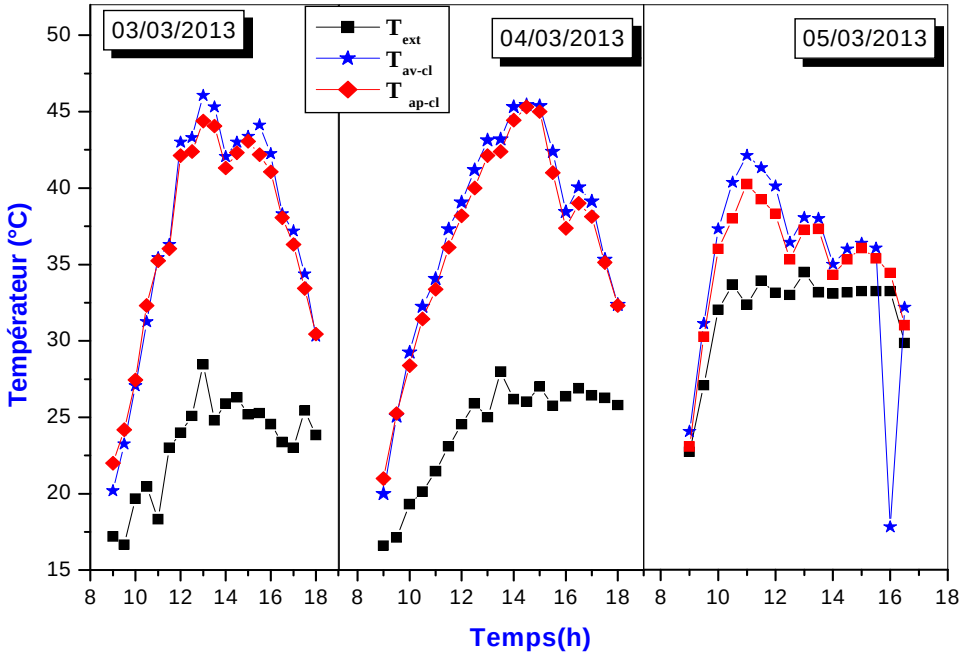


Figure (II.13): variation de température en fonction de temps.

II.4.2.4. Variation de l'humidité relative de l'air

La figure(**(II.14):** présente la variation de l'humidité relative de l'air à l'entré la chambre de séchage (Hr_{av-cl}) et après la claie de séchage Hr_{ap-cl} en fonction du temps. On remarque que Hr_{av-cl} varie entre 8,12 et 35.82 % pour les trois jours de séchage. Pendant la période de passage de l'air à travers la claie de séchage. L'évaporation de l'eau de des arachides durant le passage de l'air à travers la claie de séchage, favorise la diffusion de la vapeur d'eau dans ce dernier, en effet cela se traduit par une élévation de Hr-ap, qui varie dans l'intervalle de 8.03et 42.35 %.

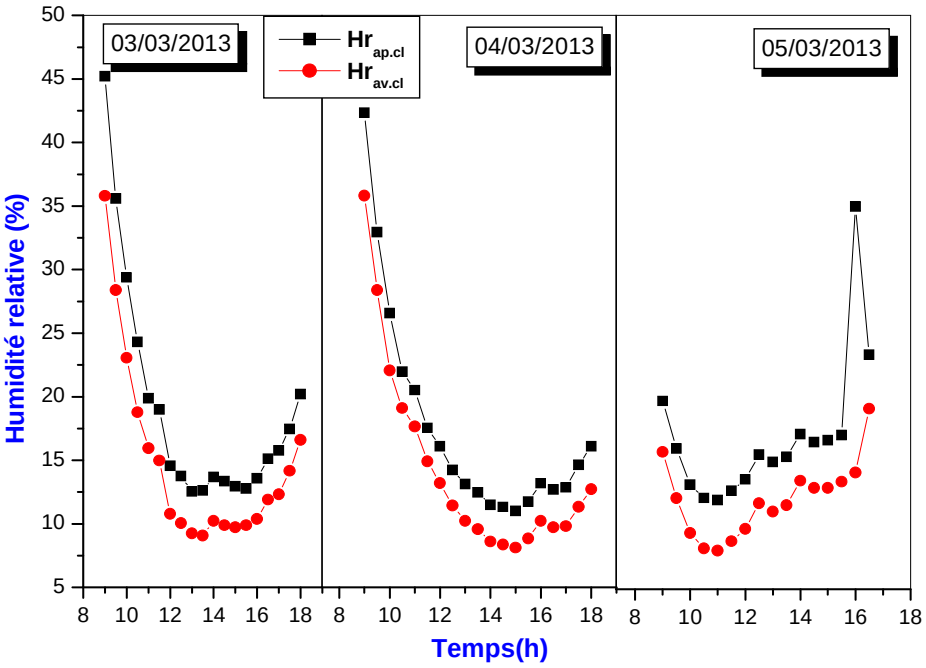


Figure (II.14): variation de l'humidité relativeen en fonction de temps**.**

II.4.2.5.Variation du vitesse de l'air dans le séchoir solaire

La figure **(II.15)** montre la variation de la vitesse de l'air en fonction du temps pendant la période de séchage. On remarque sur la figure que l'écoulement de l'air à l'entrée du capteur solaire est non uniforme pendant l'opération de séchage et caractérisé par une vitesse varie entre 0 et 1.68 m/s.

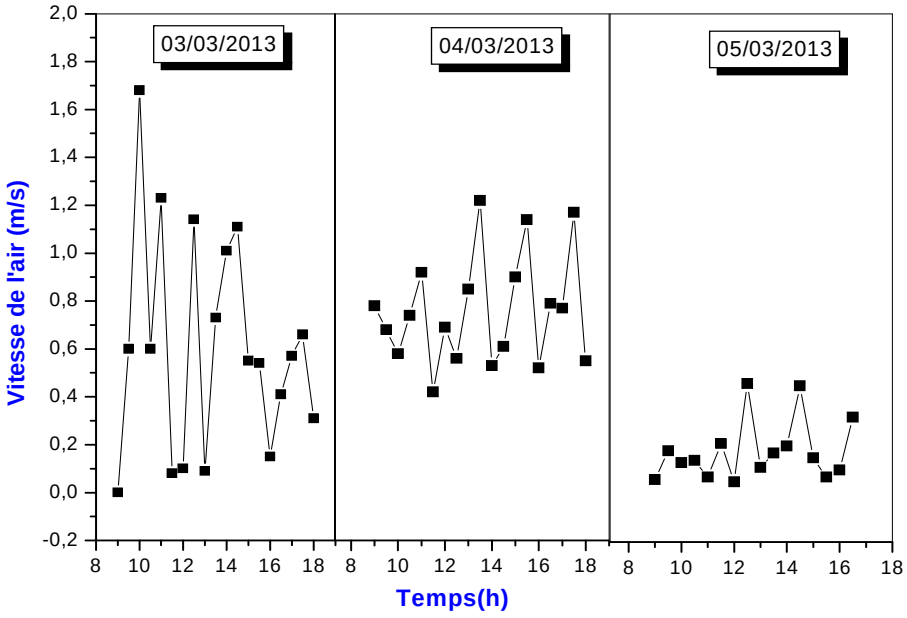


Figure (II.15): variation du vitesse de l'air pour les 3 jours.

II.5.Etude comparative entre le séchage naturel, direct et indirect

La figure présente la variation de la teneur en eau (à base humide) des arachides en fonction du temps pour les trois modes de séchage (séchage au soleil, direct, indirect). On remarque sur la figure que temps de séchage pour avoir une teneur en en eau d'environ 10 % est de 23 h pour le séchage au soleil, 18h pour le séchage indirect et 13h pour le séchage direct. Cette différence dans la durée de séchage est justifiée par l'effet de la température c-à-dire l'augmentation de la température provoque une diminution dans le temps de séchage et vice-versa. La figure (II.16) montre que la température de séchage pour le mode direct est plus important et varie entre 35 et 62.31°C, par contre pour le séchage indirect et au soleil varie de 18 à 46°C et de 16 à 36°C respectivement.

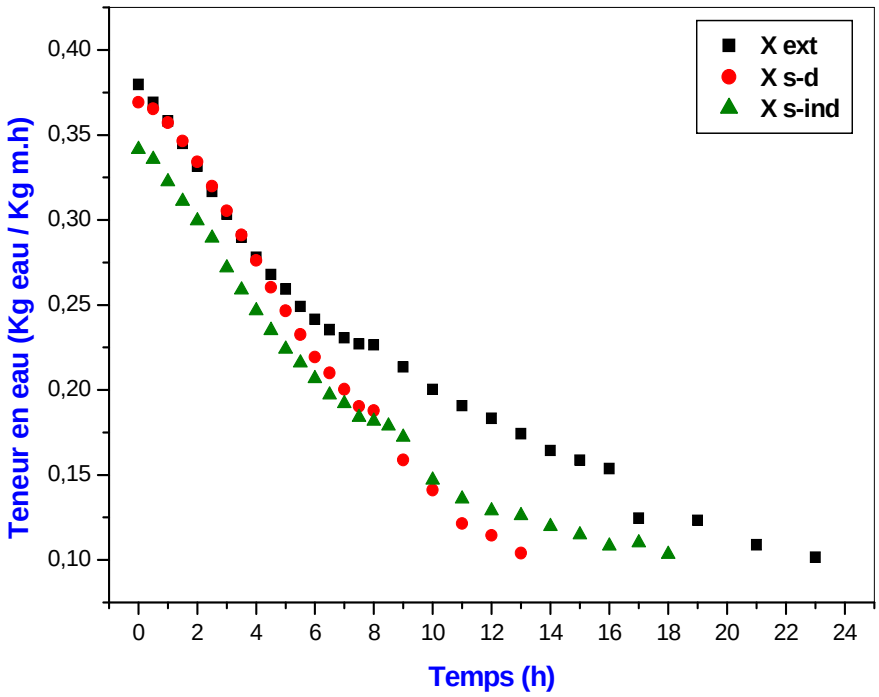


Figure (II.16): variation de la teneur en eau en fonction du temps pour les trois modes de séchage.

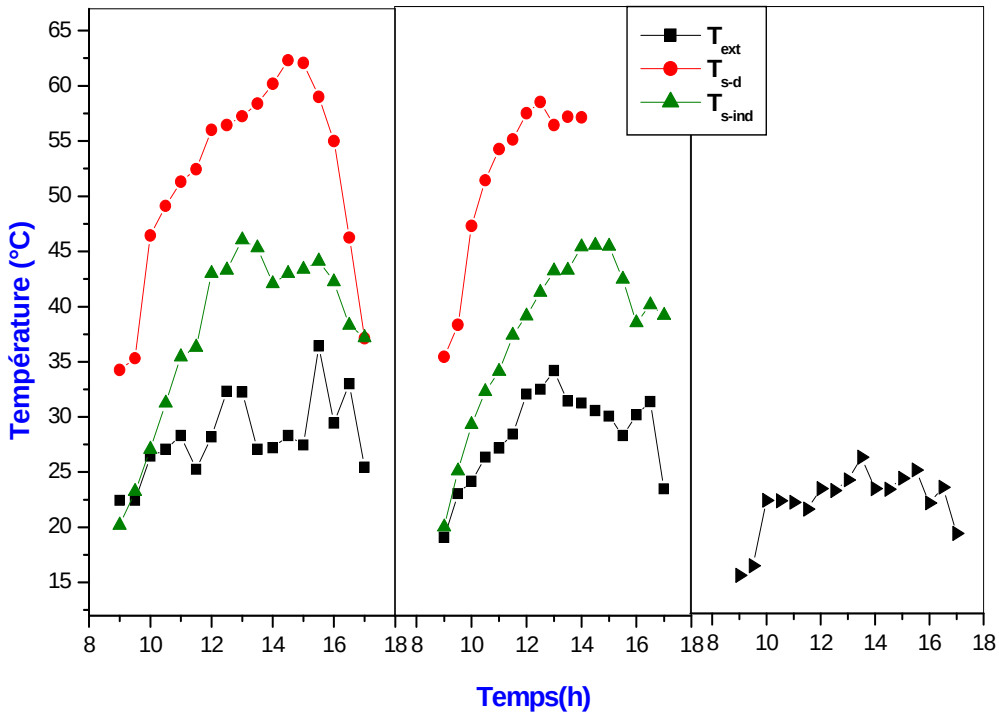


Figure (II.17): variation du température fonction du temps pour les trois modes de séchage.

II.6.Etude de la qualité : extraction des huiles essentielle

Dans cette étape nous avons réalisé l'extraction de l'huile d'arachide à partir des grains d'arachide humide, externe et interne de séchage direct et indirecte, En utilisant le solvant n-hexane.

II.6.1. Préparation d'échantillon Figure (II.18):

- Les grains d'arachide sont de la région de METLILI
- Dans le cas de notre étude nous avons utilisé :
  - 370,08g pour l'arachide humide
  - 167,20g pour l'arachide externe (séchage des grains d'arachide hors le séchoir).
  - 123,74g pour l'arachide interne (séchage des grains d'arachide séchoir direct).
- Après la purification, nous avons enlevé les peaux des arachides.
- Enfin nous avons broyé les grains avec un mixeur pour l'obtention des particules homogènes.

Fig (II. 18): Les étapes de préparation de l'échantillon

II. 6.2. L'extraction par Soxhlet

Il s'agit d'une extraction solide-liquide, L'extracteur par Soxhlet (Figure (II.19)) permet le traitement de solides de toutes tailles avec des solvants en phase liquide ou partiellement vaporisés.

Le corps de l'extracteur (Soxhlet), contenant un support de cartouche qui remplie de solide, est fixé sur un réservoir de solvant (ballon) et surmonté d'un réfrigérant.

Le solvant est vaporisé puis condensé, et reste en contact avec le solide. La solution est soutirée périodiquement par l'amorçage d'un siphon. La solution du ballon s'enrichit petit à petit en soluté et le solide est toujours mis en contact avec du solvant fraîchement distillé.

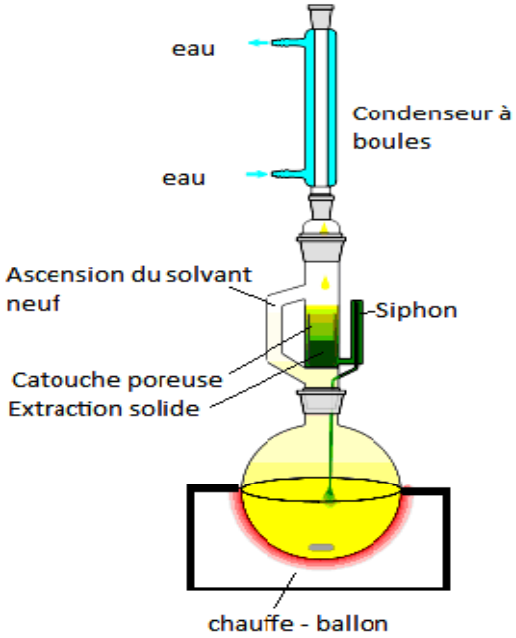


Fig (II. 19) : Montage d'un appareil de soxhlet

II. 6.3. Matériels utilisés

- Un système de refroidissement.
- Un appareil soxhlet.
- Une plaque chauffante.
- Une balance analytique.
- Un ballon de 150 ml.
- Deux cartouches.

II. 6.4. L'extraction de l'huile d'arachide

II. 6.4. 1. Mode opératoire

1. Nettoyer tous les équipements par l'acétone.
2. Réaliser le montage d'extraction de soxhlet.

Remplir la cartouche par une quantité des grains d'arachide puis on la mettre dans le support de l'appareil.

3. Mettre 150 ml du solvant n- hexane dans le ballon et placé avec le support.

4. Chauffer le solvant, le vapeur montant tomber sur la cartouche après le refroidissement avec le condenseur.
5. Laisser cette opération causer cinq cycles pour bien extraction ;
6. Après l'opération de l'extraction on passe vers l'étape d'évaporation pour obtenir l'huile extraire et récupérer le solvant.

Les images ci-dessous englobent les étapes de l'extraction:

(A)

(B)

Fig (II.20) : l'étape d'extraction et d'évaporisation

II.6.5. Résultats d'extraction

Les résultats du tableau ci-dessous proviennent d'une série d'extractions faites en mettant l'accent sur les diverses nature de la matière première (les grains d'arachides).

Tab. II.1. : Résultats d'extraction

	Masse initiale en (g)	Masse d'huile extraire en (g)	Rendement (%)
produit fraîche	259,21	22,2912	8,60
Produit séché au soleil	146 ,86	26,29	17,90
Produit séché (mode directe)	102,67	52 ,85	51,47
Produit séché (mode indirect)	58	14.42	24.86

Sachant que :

- ✓ Masse initiale : c'est la masse des grains d'arachides avant l'extraction
- ✓ Masse finale : c'est la masse d'arachide après l'extraction (masse de déchets)

nous avons calculé le rendement d'huile extraire a partir de chaque voie, on utilisant la relation suivante :

$$\boldsymbol{Le\ rendement} = \frac{\textbf{La masse d'huile extraire}}{\textbf{La masse d'arachide avant l'extraction}} * \mathbf{100}$$

Conclusion générale

Le séchage solaire des arachides par les procédés de séchage solaire direct et indirect présente des techniques très répondues pour la valorisation de ce produit, Les résultats expérimentaux nous amènent aux conclusions suivantes :

- La cinétique de séchage pour le procédé direct montre que la durée de séchage pour avoir une teneur en eau finale est de 16 heures.
  - La cinétique de séchage pour le procédé indirect montre que la durée de séchage pour avoir une teneur en eau finale est de 26 heures.
- L'utilisation des séchoirs solaires améliore et réduire la période de séchage solaire des arachides.
- La température de séchage des arachides pour les modes de séchage (au soleil, direct et indirect) varie dans l'intervalle de 16 à 36°C, 35 à 62°C et de 18 à 46°C respectivement.

- Les résultats de l'extraction des huiles essentielles d'arachide montrent que :
  - les produits séchés présentent des meilleurs rendements des huiles extraites par rapport à celle du produit fraiche.
  - Le produit séché par le mode direct présente le meilleur rendement des huiles extrait par rapport aux modes indirect et au soleil.

- Le séchage solaire direct présente des meilleurs résultats (durée de séchage et rendement).

Références bibliographiques

[8] j. p.Nadeau et j.R.puiggachali.séchage des processus physique aux procédés industriels

[1]Panna Lal Singh.Silk cocoon drying in forced convection type solar dryer. Journal of Applied Energy,2011, 88, 1720-1726 Prasad, J. Vijay, V.K. Tiwari, G.N. Sorayan, V.P.S., 2006

[15] F.Courtois, J.J Bimbinet, Opérations unitaires, séchage .École nationale supérieur des industries agricoles et alimentaires .Paris . 1984

[21] Organique Farming in the Tropics and Substropics Exemplary Description of 20 crops.Peanuts.Naturland e.V.-1er edition 2000

[2]Pangavhane, D.R, Sawhney, R.L. Review of research and development work on solar dryers for grape drying. Journal of Energy Conversion and Management 2002 43, 45-61.

[14] L. Angélique. Séchage. Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée, Université de liège .2002 http://www.ulg.ac.be/sciences

[17] Organique Farming in the Tropics and Substropics Exemplary Description of 20 crops.Peanuts.Naturland e.V.-1er edition 2000

[3] Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A., Jamali, A. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly peel (*Opuntia ficus indica*). Journal of Energy 2004, 29, 211-224;

[4] (Lahsasni et al, 2004; Prasad et al, 2006; Lalit et al, 2010; Aghbashlo et al, 2009; Goyal et Tiwari, 1997).

[5]Ertekin, C., Yaldiz, O.,. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of Food Engineering 63,349-359(2004)

[19]D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Thèse de Magister, Université de Ouargla (2006)

[20] W. Rezzouq, S. Bouhafs, Etude de L'influence de la localisation des claies sur la cinétique de séchage solaire des Dattes, MÉMOIRE d'ingénieur d'état, Universitaire Kasdi Merbah Ouargla(2008)

[9] les séchoirs:une tres grande diversité diffusé par SECAAR, 06 BP 2037 – Abidjan 06 – Côte d'Ivoire

[10] Philippe Dudez, Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes (Expériences et procédés), ministère de la coopération, les éditions dugret

[11] S. Chouicha Etude expérimentale du Séchage Solaire des Hattes Humides et Impact sur la Qualité, Mémoire Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla (2010),

[14] L. Angélique. Séchage. Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée, Université de liège .2002 http://www.ulg.ac.be/sciences

[16] Karoumi Karima , valorisation de pate de tomate par le procédé de séchage solaire a convection naturelle , mémoire de master spécialité G.chimique.université Kasdi Merbah Ouargla (2012).

[18] http://www.fao.org/docrep/X5020F/x5020F01.htm

[12] .[13]www.acra.it/allegati/notizie/P_00287_Camerun_BrochureArachidi.pdfb

[7]faculty.ksu.edu.sa/kamelsmida/My%20Master/CHAP1.pdf

[6] http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/arachide/arachide.htm

1. Le dispositif expérimental

Figure (1):Le capteur solaire

Figure (2):La claie de la chambre de séchage

Mise au point de la détermination de la teneur en eau initiale

Une dizaine des arachides prélevés au hasard de l'échantillon ont été dénoyautés, broyés jusqu'à l'obtention d'une homogène. La détermination de la teneur en eau initiale de produit s'effectuée selon les étapes suivantes :

- on introduit une masse de 3 g de la pâte dans un analyseur d'humidité de type SARTORIUS MA (**Figure 3)**
- Réglage de la température de l'analyseur d'humidité à 105°C.
- Démarrage de l'analyseur d'humidité.
- Arrêt automatique de l'appareil après que la masse de l'échantillon soit constante.

Figure (3) : Analyseur d'humidité SARTORIUS MA

II.3.1.1. Calcul de la teneur en eau X.

La teneur en eau est calculée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau } (X_h) = \frac{M_I - M_s}{Mi} \times 100$$

M_i **:** La masse initiale d'arachide broyée (g)

M_s : La masse sèche (g)

Mesure du rayonnement solaire

Figure (3) : Solarimètre

Figure (4) Les appareils Cobra3 et l'affichage numérique des mesures

Figure (5) : KIMO (Type LV110)

Figure. (6) : Les huiles extraire obtenus

Résumé

Ce travail représente une étude expérimentale du procédé de séchage d'un produit agro-alimentaire (Les Arachides) dans deux prototypes de séchoir solaire (direct et indirect en convection naturelle). Ces deux prototypes ont été conçus et réalisés par l'équipe de conversion d'énergie du laboratoire LENREZA (Laboratoire des Energies Nouvelles et Renouvelables en Zones Arides).

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que : Les températures de l'air asséchant pour le mode de séchage direct au soleil, le mode direct (séchoir direct à convection naturelle) et le mode indirect (séchoir indirect à convection naturelle) varient dans les intervalles de 16 à 36°C, de 35 à 62°C et de 18 à 46°C respectivement. Les durées de l'opération de séchage pour avoir une teneur en eau finale d'environ 10 % sont 16 heur, 27 heure, 24 heure pour les trois modes de séchage : direct, indirect et au soleil respectivement. L'extraction des huiles essentielles des arachides montre que le mode de séchage direct présente un meilleur rendement par rapport aux produits frais et les produits séchés par les autres modes de séchage.
Mots clés : Séchage ; Arachide ; Rendement ; Convection naturelle ; Séchoir solaire

Abstract

This work represents an experimental study of the drying process of an agro-alimentary product (Groundnuts) in two prototypes of solar drier (direct and indirect in natural convection). These two prototypes were designed and constructed by the team of energy transformation of laboratory LENREZA (Laboratory of New and Renewable Energies in Arid Regions).

The experimental results obtained showed that: The air draining temperatures for the direct sun drying mode, the direct mode (direct drying by natural convection) and the indirect mode (indirect drying by natural convection) vary in the intervals of 16 to 36°C, 35 to 62°C and 18 to 46°C respectively. The durations of the drying operation required to have a final water content of approximately 10% are 16 hours for the direct mode, 27 hours for the indirect mode and 24 hours for the direct sun drying mode.

The results of the extraction of groundnuts essential oils showed that the direct drying mode has a better yield compared to the other drying modes.

Key words: Drying; Groundnut; Peanuts; Yield; Natural convection; Solar drier

ملخص

هذا العمل هو دراسة تجريبية لعملية تجفيف منتوج غذائي (الفول السوداني) عن طريق مجففين شمسيين (مباشر وغير مباشر بالحمل الحراري الطبيعي) .

تم تصميم وإعداد هذين النموذجين من طرف فريق تحويل الطاقة لمخبر LENREZA (مخبر الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة).

ولقد أظهرت النتائج التجريبية مايلي :

درجات حرارة هواء التجفيف بالنسبة لطريقة التجفيف الشمسي المباشر، عن المجفف المباشر و غير المباشر (بالحمل الحراري الطبيعي)، تتغير في المجالات من 16 الى 36 درجة مئوية ، من 35 الى 62 درجة مئوية و من 18 الى 46 درجة مئوية على التوالي.

مدة عملية التجفيف للحصول على حوالي 10٪ من الرطوبة النهائية للمنتوج قدرت بـ 16 ساعة بالنسبة للتجفيف المباشر، 27 ساعة فيما يخص الطريقة الغير المباشرة و 24 ساعة لطريقة التجفيف الشمسي المباشر.

بينت النتائج المتحصل عليها من عملية استخلاص الزيوت الأساسية من الفول السوداني بأن طريقة التجفيف المباشر(بالحمل الحراري الطبيعي) تعطي مرد ودية أكبر من حيث كمية الزيت المستخلصة مقارنة مع المنتوج الطازج والمنتوج المجفف بالطرق الأخرى.

الكلمات الدالة :التجفيف؛ الفول السوداني؛ مرد وديـة ؛ المجفف الشمسي.