



Université Kasdi Merbah Ouargla
FACULTE DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIE ET SCIENCES DE LA MATIERE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Génie des procédés
Option : Energétique et Procédés

Présenté par :
Babahani Amhamed
Thème

**Investigation expérimentale d'un séchoir
Solaire indirect en vue d'amélioration de la
qualité du produit fini**

Le 21/02/2013 à 08h30

Mr. Korichi Mourad	Université d'Ouargla	Président
Pr. Bouchekima Bachir.	Université d'Ouargla	Examineur
Mr. Bouguettaia Hamza	Université d'Ouargla	Examineur
Mr. Boubekri Abdelghani	Université d'Ouargla	Rapporteur

Sommaire

Résumé

Sommaire

Introduction générale.....01

CHAPITRE I: Généralité sur les séchoirs solaires et leur problématique

I-1-Recharge.....04

I-1-1-Définition.....04

I-1-2-Mode de recharge.....04

I-1-3-Processus de recharge.....04

I-1-4-Vitesse de recharge.....04

I-1-5-Cinétique du recharge.....05

I-1-6-Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de recharge.....07

I-2-Classification des modèles de recharge.....07

I-2-1- Les modèles empiriques.....07

I-2-2-Les modèles diffusifs.....07

I-2-3-Les modèles basés sur les transferts couplés de chaleur et de masse.....08

I-3-La stratification thermique.....08

I-4-comparaison et exploration de certaines études.....09

Résultat de l'étude bibliographique.....19

Position du problème et orientation de notre étude.....19

Chapitre II: Exploration expérimentale d'un séchoir solaire fonctionnant

à vide

II-1-Description du séchoir solaire.....21

II-1-1- Le capteur solaire.....22

II-1-1-2-La chambre de recharge.....22

II-1-2-Fonctionnement du séchoir solaire.....22

II-2-1-Préparation du séchoir solaire.....22

II-3- Préparation du produit.....23

II-3-1-Préparation du produit à haute teneur en eau (tomates).....23

II-3-2-Préparation du produit a faible teneur en eau (dattes).....	23
II-4-Appareillages de mesures.....	23
II-4-1-Mesure du rayonnement solaire.....	23
II-4-2-Mesures des températures.....	24
II-4-3-Mesure de l'humidité de l'air.....	24
II-4-4- Mesure de vitesse de l'air.....	25
II-4-5-Mesure de la perte de masse	25
II-5-Protocole expérimental.....	25
II-4-Appareillages de mesures.....	23
II-4-1-Mesure du rayonnement solaire.....	23
II-4-2-Mesures des températures.....	24
II-4-3-Mesure de l'humidité de l'air.....	24
II-4-4- Mesure de vitesse de l'air.....	25
II-4-5-Mesure de la perte de masse	25
II-5-Protocole expérimental.....	25
II-6-Série d'expériences.....	26
II-7-Résultats et discussions.....	26
II- 8 – Résultats et discussion.....	27
II-9-Variation de la température dans différents endroits de la chambre cote (OUEST, SUD, EST).....	28

Chapitre III: Généralité sur les séchoirs solaires et leur problématique

III-1-Détermination de la teneur en eau initiale à faible humidité (datte).....	31
III-1-1-Expression des résultats.....	31
III-1-2-L'allure des Rayonnements.....	32
III-1-1-Expression des résultats.....	31
III-1-2-L'allure des Rayonnements.....	32
III-1-2-L'alluredes Rayonnements.....	32
III-1-3-L'allure des températures l'entrée et sortie de cheminée (datte).....	33
III-1-4-L'allure des températures cote OUSET de chambre (datte).....	35
III-1-5-L'allure des températures cote SUD de chambre (datte).....	37
III-1-6-L'allure des températures cote EST de chambre (datte).....	38
III-1-7-L'allure des températures cote EST de chambre (datte).....	39
III-2-Détermination de la teneur en eau initiale à haut humidité (tomate).....	39

III-2-1-Expression des résultats.....	39
III-2-3-L'allure de Rayonnement.....	40
III-2-4-l'allure de la cinétique.....	41
III-2-5-L'allure des températures l'entrée et sortie de cheminée (tomate).....	42
III-2-6-L'allure des températures cote OUEST de chambre (tomate).....	44
III-2-7-L'allure des températures cote SUD de chambre (tomate) de	45
III-2-8-L'allure des températures cote EST de chambre (tomate).....	46
Discussion.....	47

Chapitre IV: Simulation numérique du comportement du séchoir

Introduction.....	49
IV-Données des conditions opératoires mesurées.....	50
IV-1-Première configuration	51
IV-1-1-La distribution de Pression.....	51
IV-1-2-La distribution de vitesse.....	52
IV-1-3-L'allure de rayonnement.....	53
IV-1-4-La distribution de température.....	54
IV-2-Les conditions aux limites la journée du 02/11/2010.....	56
IV-2-1-La distribution de Pression.....	57
IV-2-2-La distribution de Vitesse.....	58
IV-2-3-L'allure de rayonnement.....	59
IV-2-4-La distribution de température.....	60
IV-3-Deuxième configuration.....	61
IV-3-1-simulation en 3dimensions la journée du 25/06/2011.....	62
IV-3-2-simulation en 3dimension Journée du 02-11-2011.....	63

Chapitre V: Simulation numérique des modifications conceptuelles à prévoir

V-1-Différentes configurations considérées.....	66
V-1-1-Effet du facteur de forme ($A=H/L$).....	66
V-1-1-1- Variation de la hauteur.....	66
V-1-1-2- Variation de la largeur.....	66
V-1-2- Effet de la géométrie d'échappement de l'air sans modification des dimensions de la cheminée	67
V-1-3- Effet de la section de la cheminée d'évacuation	67
V-2:Effet du facteur de forme ($A=H/L$).....	68

V-2-1-Variation de la hauteur	68
V-2-2-L'allure de rayonnement.....	69
V-2-3-Présentation graphique de Température.....	69
V.2.4 L'allure de rayonnement.....	70
V-2-5-Présentation graphique de température.....	71
V.2.6 L'allure de rayonnement.....	71
V-2-7 Présentation graphique de température.....	71
V-3-Effet du facteur de forme ($A=H/L$).....	72
V-3-1- Variation de la largeur.....	72
V-3-2-L'allure de rayonnement.....	73
V-3-3-Présentation graphique de température.....	73
V-3-4- L'allure de rayonnement.....	74
V-3-5-Présentation graphique de température.....	74
V-4-1- Variation de la forme.....	75
V-4-2-L'allure de rayonnement.....	76
V-4-3-Présentation graphique de température.....	76
V.4.4.L'allure de rayonnement.....	77
V-4-5-Présentation graphique de température.....	77
V-5-1- Variation de la sortie de séchoir.....	78
V-5-2-L'allure de rayonnement.....	79
V-5-3-Présentation graphique de température.....	79
V-5-4-L'allure de rayonnement.....	80
V-5-5-Présentation graphique de température.....	80
V-5-6-L'allure de rayonnement.....	81
V-5-7-Présentation graphique de température.....	81
Conclusion.....	82
Références	

Résumé:

Dans le travail de ce mémoire on s'intéresse à rechercher les moyens d'amélioration des conditions opératoires et des formes géométriques menant à une meilleure qualité du produit séché, et ce par exploration expérimentale d'une part et par voie de simulation numérique d'autre part. L'exploitation des résultats attendus de cette étude nous permettra de proposer certaines modifications de conception du séchoir, notamment sur la géométrie de la chambre de séchage et les dimensions de la cheminée d'évacuation de l'air.

Les résultats obtenus numériquement pour les distributions des températures sont satisfaisants comparés aux valeurs mesurées ce qui offre une forte raison pour des conceptions à base de cette simulation.

D'après les modifications conceptuelles simulées numériquement, les meilleurs résultats en matière d'homogénéité des températures ont été constatés en cas d'utilisation d'un convergent au niveau d'échappement de l'air et aussi en cas d'agrandissement de la section de la cheminée.

Mots clés: séchage solaire, effet cheminée, qualité.

بالنسبة لهذه المذكرة نهتم بالبحث عن وسائل تحسين الظروف التجريبية و كذا تحسين شكل المجفف الشمسي الطبيعي و الهدف الرئيسي هو الحصول على منتج مجفف بصفة جيدة وهذا بواسطة الطرق التجريبية و الرقمية. و باستغلال نتائج هذا العمل نستطيع تحسين شكل المجفف الطبيعي خاصة غرفة التجفيف و المدخنة.

النتائج التجريبية و الرقمية بينت أن:

النتائج الرقمية المتحصل عليها بالنسبة لدرجة الحرارة الموزعة داخل غرفة التجفيف مقارنة مع النتائج المتحصل عليها تجريبيا تعد بالحيدة.

من خلال الدراسة الرقمية بالنسبة لتجانس درجة الحرارة داخل غرفة التجفيف أدت تحسين شكل خروج الهواء من المجفف و كذلك توسيع قطر المدخنة.

الكلمات المفتاحية : التجفيف الشمسي، مفعول المدخنة، النوعية.

Chapitre: I

Généralité sur les
séchoirs solaires et
leur problématique

Introduction**I-1-Séchage :****I-1-1-Définition:**

Le séchage peut être défini comme étant l'opération unitaire qui consiste à éliminer tout ou partie d'un solvant (très souvent l'eau) contenu à l'intérieur d'un matériau poreux.

Dans cette opération, interviennent deux phénomènes : un transfert de chaleur et un transfert de matière.

I-1-2-Mode de séchage:

On peut distinguer divers procédés de recharge :

- Les procédés mécaniques (décantation et filtration, centrifugation, compression)
- Les procédés thermiques, par élévation de température et diminution de la pression de vapeur de la phase gazeuse. L'humidité est extraite par évaporation et diffusion.

Diverses méthodes de chauffage peuvent également être utilisées:

- convection naturelle, convection forcée
- conduction
- rayonnement
- pertes diélectriques

Le procédé de séchage par convection est plus répandu et fait l'objet de notre étude[2].

I-1-3-Processus de séchage :

Le séchage par convection consiste à mettre en contact un gaz (généralement air chaud et

de faible hygrométrie) en écoulement autour du corps à sécher. Ce courant gazeux assure à la fois l'apport de chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et l'enlèvement de la vapeur produite. Entre l'entrée et la sortie du séchoir, le gaz se refroidit en même temps qu'il se charge d'humidité. Dans le cas du solide, on observe une diminution progressive de sa teneur en eau et une augmentation de sa température au cours du séchage.

I-1-4-Vitesse de séchage:

On appelle la vitesse de séchage $V_s = \frac{\partial W}{\partial t}$ (kgd'eau/kgMs.s), limite du quotient de la différence de teneur ∂W par l'intervalle de temps ∂t , c'est la grandeur qui caractérise pratiquement l'allure du transfert[3].

La vitesse de séchage est fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont [2]:

- la nature, la porosité, la forme et l'humidité du produit,
- la température, l'humidité et la vitesse du gaz sécheur.

I-1-5-Cinétique du séchage:

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps.

Ces courbes sont généralement obtenues pour différentes conditions expérimentales (température, hygrométrie, vitesse de l'air asséchant,...). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps.

Tous les travaux de séchage montrent que ces courbes se distinguent suivant la nature du produit. Mais d'une manière générale, on constate l'existence de différentes périodes qui se caractérisent par un comportement différent de la vitesse de séchage (figure I.1) :

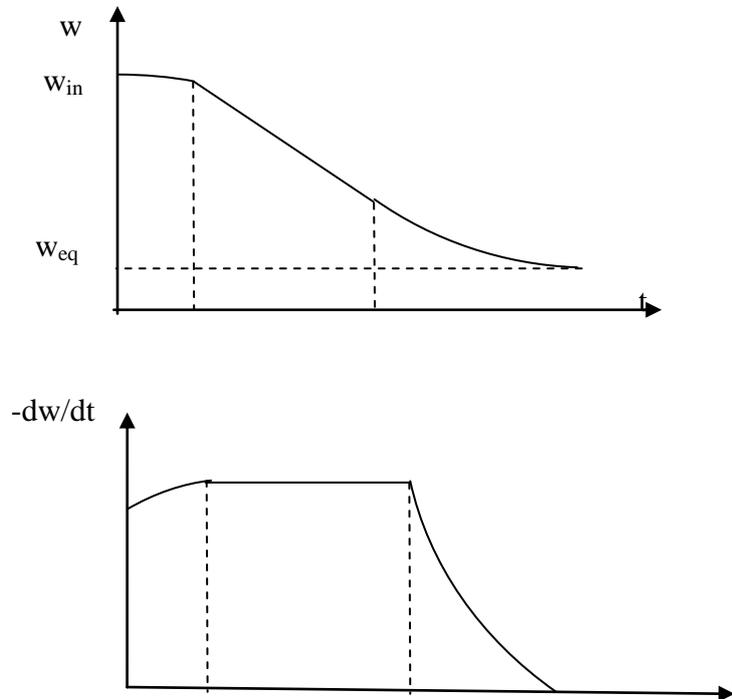


Figure I.1: Allure de séchage en fonction du temps

Période 0 : Période transitoire

L'humidité du corps dans cette période varie ; mais pas sensiblement et la température du corps varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide.

Période 1 : Période à vitesse de séchage constante (première phase)

Durant cette période, la vitesse de séchage reste à peu près constante pour la plupart des produits.

L'humidité se déplace vers la surface à l'état liquide principalement sous l'effet des forces capillaires.

L'équilibre entre la diffusion dans la couche limite (à l'interface air-matériau) et les mécanismes de transfert d'humidité interne au sein du produit vers la surface est établi.

La température reste uniforme dans le produit car le flux de chaleur échangé avec l'air

chaud est entièrement utilisé pour la vaporisation de l'eau à la surface. Cette période s'achève lorsque les forces capillaires ne peuvent plus soutenir la vaporisation de surface, et couvre généralement une grande partie du temps de séchage.

Période 2 : Période à vitesse de séchage décroissante

La quantité d'eau amenée à la surface par les forces capillaires est insuffisante pour maintenir une vaporisation constante.

Le ralentissement de l'allure de séchage est expliqué par les phénomènes suivants [4]:

- Disparition de l'eau libre en surface de produit : ce phénomène correspond au début du ralentissement de l'allure de séchage. En admettant que la migration de l'eau libre et de l'eau liée, contenue dans le produit, s'effectue consécutivement sous forme liquide et vapeur. Il faut envisager l'existence d'un front de vaporisation qui s'enfonce progressivement à l'intérieur du produit.

- Epaisseur du produit: si cette épaisseur est de plus en plus croissante, cela signifie que la vapeur d'eau doit traverser un parcours plus long expliquant ainsi et en grande partie le ralentissement de l'allure de séchage.
- Diffusivité de l'eau dans le produit: elle varie avec la teneur en eau du produit.

Plus ce dernier est sec, moins il devient perméable à l'eau.

- Résistance mécanique des parois cellulaires intactes: les parois cellulaires intactes empêchent la vapeur d'eau de passer en grande quantité à l'extérieur du produit
- Croutage: certains composés solubles notamment les sucres et les sels accompagnent l'eau évaporée pendant la période à allure constante et sont disposés à la surface.

Ce phénomène appelé croutage est à l'origine de fortes concentrations en surface de ces composés solubles qui bouchent les pores du produit. L'accumulation et l'assèchement de ces solutés imperméabilisent la surface du produit.

I-1-6-Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage

L'effet de la température de l'air asséchant sur la vitesse de séchage est très important. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air. Elle est aussi due à la température du produit qui est d'autant plus importante que la température de l'air est élevée. Par conséquent, les conductivités de l'eau dans le produit sont importantes.

Influence de la vitesse de l'air :

La vitesse de l'air influe effectivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Néanmoins, pour des produits dont la cinétique de séchage est vérifiée par le transport interne de l'eau, l'influence de la vitesse de l'air de séchage devient très faible.

- Influence de l'humidité de l'air :

Une teneur en eau trop faible va conférer à l'air un pouvoir évaporatoire trop important. La surface du produit va se sécher en surface trop rapidement, cette surface va devenir un frein à l'échange et parfois sera étanche à la vapeur d'eau.

I-2-Classification des modèles de séchage

Les modèles de séchage sont classés en trois types :

I-2-1- Les modèles empiriques

Ces modèles basés essentiellement sur l'expérimentation pour la détermination des paramètres de séchage. Toutefois, l'utilisation de ces modèles est très limitée pour les raisons que chacun d'eux est spécifique à chaque type de produit ainsi qu'aux conditions expérimentales de son séchage, chose qui ne permet pas l'extrapolation au delà des limites de son séchage, et par suite l'extrapolation au delà des limites de l'expérience [5].

I-2-2-Les modèles diffusifs

Ces modèles qui ont constitué le point de départ de la théorie de séchage, sont basés sur la loi de Fick. Cette dernière décrit l'origine des mouvements moléculaires

par l'équation suivante
$$\frac{\partial W}{\partial t} = \nabla(D\nabla W) \quad (1.4)$$

Avec : D : coefficient de diffusion massique du produit qui est fonction de l'humidité (m^2/s).

W : humidité du produit (kg d'eau/kg Ms).

t : temps (s).

Neuman et Sherwood [6] ont été les premiers à avoir utilisé les modèles diffusifs dans le cas monodimensionnel. En supposant la diffusivité massique constante, l'équation (1.4) devient :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D \frac{\partial^2 W}{\partial X^2} \quad (1.5)$$

I-2-3-Les modèles basés sur les transferts couplés de chaleur et de masse

Les modèles basés sur les transferts couplés de chaleur et de masse sont les modèles qui ont détaillé plus les différents phénomènes mis en jeu au cours du séchage. Ils ont permis de séparer les phénomènes de transport internes en utilisant tout un ensemble d'équations de conservation de masse et de chaleur. Les travaux de Luikov, Philip et De Varies, Krischer, Glaser et Whitaker [11,12] ont utilisé ce type de modèles basés sur les transferts couplés de chaleur et de masse. Les plus connus de ces modèles sont :

Les modèles issus de la thermodynamique des phénomènes irréversibles (TPI).

Afin d'expliquer les phénomènes physiques ayant lieu au cours du séchage, qui sont restés inexplicables par les précédentes théories, Bennet a exploité la thermodynamique des phénomènes irréversibles de la thermodynamique en s'inspirant des travaux de Luikov qui ont fait preuve dans ce domaine [4].

I-3-La stratification thermique

La stratification thermique d'air se définit comme étant la formation de couches d'air distinctes superposées les unes sur les autres. La formation de ces couches est due à une différence de température entre les couches, ce qui entraîne une différence de densité de l'eau[6].

I-4-Comparaison et exploration de certaines études

I-4-1: l'étude comparative de l'efficacité énergétique de deux prototypes de séchage solaire

C'est une étude comparative entre deux prototypes de séchoirs solaires indirects à convection naturelle et à convection forcée. L'objectif étant l'étude de l'efficacité énergétique le séchoir selon les paramètres étudiés :

- Le rayonnement solaire
- la température
- l'humidité
- le débit de l'air asséchant
- temps de séchage
- le rendement du capteur solaire

Ce sont les paramètres principaux pour l'évaluation énergétique des séchoirs solaires, ainsi que l'efficacité énergétique de séchage et du rendement du capteur solaire, qui est plus important dans le séchoir naturel par rapport au séchoir forcé. Par contre d'autre paramètres jouent un rôle négatif et diminuent l'efficacité énergétique de deux séchoirs solaires à cause de la masse initiale du produit (petite) et l'ouverture traditionnelle et instantanée (l'ouverture du séchoir lors de chaque, pesée) de la chambre de séchage pendant la charge /décharge de produit, ce qui influe sur le produit par le refroidissement du produit et sur la chambre de séchage par la perte thermique d'énergie.

Par ailleurs, ils suggèrent que le séchoir forcé est un système bien contrôlé (le ventilateur d'aspiration). Cet avantage participe dans l'abaissement du temps de séchage et l'augmentation de l'efficacité énergétique de séchage. Par contre ce système influe négativement sur l'efficacité énergétique du séchoir puisqu'il consomme de l'énergie électrique[7].

I.4.2: Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire

Dans cette étude l'intérêt, est de rechercher les conditions optimales de fonctionnement des séchoirs solaires. La première partie a été consacrée à l'étude de l'influence des divers paramètres de l'air asséchant (température, débit), l'épaisseur de produit et le prétraitement sur le temps de séchage des tranches de tomate. La seconde partie concerne le calcul de la diffusivité.

Après l'ensemble des expériences, les résultats obtenus conduisent à l'étude de la cinétique de séchage solaire de la tomate. Ils montrent la présence unique de la phase de ralentissement, et l'absence de la phase de mise en température et la phase à allure constante, comme c'est le cas de la majorité des produits agricoles. Ce c'est dû à la structure de ces produits. L'augmentation de la température de l'air de séchage et la diminution de l'épaisseur des tranches diminuent le temps de séchage et augmentent la vitesse de séchage.

- L'effet de la vitesse de l'air est moindre en comparaison avec l'effet de la température.
- La tomate traitée avec la solution (sucre, sel et calcium) réduit le temps de séchage par rapport aux échantillons non traités.
- La diffusivité efficace augmente en fonction de l'augmentation de la température, la vitesse de l'air et l'épaisseur du produit.
- Les valeurs de l'énergie d'activation pour les tranches de tomate sont de 29.67, 30.74 et 34.71 kJ/mol pour des vitesses respectivement de 1, 1.5 et 2 m/s.
- L'énergie d'activation augmente avec l'augmentation de la vitesse de l'air.
- Pour expliquer le comportement de séchage, dix modèles mathématiques ont été appliqués. Parmi ces modèles, le modèle de Midilli ajusté très bien les résultats expérimentaux par rapport aux autres modèles.

Ces résultats expérimentaux nous à permis de choisir des conditions de séchage optimales qui sont : des tranches de tomate traité est séchées à une température de 65 °C et une vitesse de l'air de 1.5 m/s[8].

I-4-3: Etude de L'influence de la localisation des claies sur la cinétique de séchage solaire des Dattes

L'objectif de ce travail est d'obtenir des produits agro-alimentaires tout au long de l'année comme les dattes, par le séchage.

Parmi ces méthodes on cite le séchage solaire indirect à convection naturelle et forcée.

Les résultats obtenus par l'auteur sont les suivants :

Le positionnement des claies dans le séchoir influe sur les produits durant l'opération de séchage dans le séchoir solaire indirect à convection naturelle et forcée pour la teneur finale de produit (35% pour la datte). Cette dernière est la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités nutritives (la couleur, le goût, l'odeur, etc.), La cinétique de séchage présente de la phase 3 (ralentissement), et aussi la présence de la phase 2 à allure constante pour le produit (dattes), et l'absence de la phase 1.

Les facteurs influant sur la durée de séchage sont : la masse de produit, le rayonnement, la vitesse de l'air asséchant et sa température.

La durée de séchage obtenue pour les deux séchoirs (séchoirs solaires indirects à convection naturelle et forcée) se rapproche d'un écart d'une heure.

La masse du produit diminue régulièrement et rapidement dans le séchoir solaire indirect à convection forcée. Ceci est dû à la présence du ventilateur

Les inconvénients de séchage solaire sont :

- La variation de la température tout au long de la journée.
- L'ouverture du séchoir pour pesé.
- L'effet des conditions climatiques sur la balance lors de chaque pesée du produit.

Pour cela l'auteur recommande :

- Pour maîtriser la température de séchage solaire, on utilise un système asservi pour fixer la température de séchage.
- Le prototype de séchoir solaire utilisé est simple, on propose de l'améliorer en intégrant un système de pesée automatique pour éviter l'ouverture et la fermeture de l'armure de l'armoire de séchage lors de chaque pesée.

- S'offrir une chambre ou un chariot pour conserver les appareils de mesure des conditions climatiques (rayonnement solaire, vent,... etc.)[9].

I-4-4: Application du séchage solaire pour la conservation des produits agro-alimentaires

Dans ce travail il est présente une modélisation des différents éléments qui constituent un système de séchage par convection forcée. Ce modèle numérique permet de simuler le fonctionnement de séchoir, en utilisant un programme de calcul en langage FORTRAN 90.

La validation du modèle développé est ensuite effectuée grâce au développement d'une étude expérimentale. Les données issues expérimentales sont essentielles, pour étudier l'influence des paramètres de l'air asséchant (température, vitesse) sur la cinétique de séchage. Pour rappeler à ce travail.

Les courbes expérimentales obtenues de la tomate et de l'oignon ont montré que le principal facteur qui influe sur les cinétiques de séchage est la température de l'air asséchant.

Les résultats expérimentaux de cette l'étude du séchage ont ensuite été confrontés aux résultats théoriques pour valider les résultats prédits par la simulation numérique. Elle a observé une bonne concordance entre les résultats expérimentaux et les résultats simulés.

Finalement, à travers les résultats obtenus, l'auteur recommande :

1. La modélisation du couplage de la chambre de séchage avec l'isolateur
2. L'application de cette étude pour d'autres produits agro-alimentaires[10].

I-4-5: étude expérimentale du séchage solaire de la pate de tomate dans un séchoir direct

Cette étude est comparaisons entre deux prototypes de séchoir solaire indirect: l'un à convection naturelle et l'autre à convection forcée. Ces, deux prototypes ont été concoctés localement avec des matériaux locaux et testers à vide, puis sous charge pour voir le comportement de ces deux prototypes. L'influence de la température et de la vitesse de l'air asséchant, paramètres influant lors du transfert de chaleur et de masse, a été mise en évidence.

L'objectif est de commercialiser des produits secs, après l'opération de réhumidification du produit. Le couple adéquat pour la tomate est ($T = 65\text{ °C}$, $V = 1.5\text{ m/s}$). La tomate séchée à 60 °C se réhydrate mieux que celle séchée à 70 ou 80 °C [7]. Il distingue que le paramètre température influe beaucoup plus que le paramètre vitesse sur l'opération de séchage.

Les différents produits agricoles où il est constaté que le facteur température est le facteur le plus influant sur la cinétique de séchage.

Par contre, l'effet de l'humidité et de la vitesse est moindre. En l'absence de régulation, l'humidité de l'air est une donnée de l'expérience sur laquelle ils pouvaient agir. Cependant l'expérience a montré que dans l'air réchauffé à température constante l'humidité de l'air à l'entrée de la chambre de séchage variait peu au cours de l'expérience[11].

I-4-6: Etude expérimentale de l'efficacité énergétique d'une unité de traitement des dattes par énergie solaire

L'objectif de ce travail est la comparaison entre la consommation énergétique de deux méthodes: La consommation énergétique lors du traitement conventionnel et la consommation énergétique au cours du traitement avec l'énergie solaire).

La logique suivie dans ce travail comprend une visite sur terrain, une expérimentation sur séchoir solaire indirect suivie d'un calcul énergétique relatif à chacun des procédés étudiés, à savoir la méthode d'étuvage à la vapeur, conventionnellement utilisée par les industriels, et la méthode de traitement par énergie solaire.

Les résultats obtenus par l'auteur sont les suivants :

- La localisation des claies influe sur les produits durant l'opération de séchage dans le séchoir solaire indirect à convection forcée avec résistance ou avec chicanes pour la teneur en eau finale de produit (35% pour la datte). Cette dernière est la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités nutritives (couleur, goût, odeur, etc.),
- Les facteurs influant sur la durée de séchage solaire sont : la masse et la qualité de produit, le rayonnement, la vitesse de l'air asséchant et sa température.
- La différence entre les durées de séchage obtenues par les deux séchoirs (séchoir solaire avec résistance électrique et séchoir avec chicanes) se rapproche d'un écart de 6.5 heures.
- La durée de traitement industriel est très courte par rapport au traitement avec l'énergie solaire.
- La consommation énergétique lors du traitement conventionnel est plus grande que la consommation énergétique au cours du traitement avec l'énergie solaire.
- La capacité de production en cas du traitement conventionnel est plus grande que celle du traitement avec l'énergie solaire.
 - Les inconvénients de séchage solaire sont :
 - La variation de la température tout au long de la journée.
 - L'ouverture du séchoir pour peser.

- L'effet des conditions climatiques sur la balance lors de chaque pesée du produit.
 - Pour cela on recommande :
- Pour maîtriser la température de séchage solaire, on utilise un système asservi pour fixer la température de séchage.
- Le prototype des séchoirs solaires utilisé est simple, on propose de l'améliorer en intégrant un système de pesée automatique pour éviter l'ouverture et la fermeture de l'armoire de séchage lors de chaque pesée[12].

I-4-7: Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire

Ce travail présente une étude expérimentale du procédé de séchage en vue de la valorisation des plantes médicinales (menthe verte) et les produits agro-alimentaires (tomate), dans un séchoir solaire indirect à convection naturelle. Le principe objectif étant d'une part l'étude de la cinétique de séchage de ces deux produits et d'autre part l'influence des paramètres opératoires sur la durée de séchage de la menthe verte. Durant l'opération de séchage ils ont respecté la teneur finale des produits (14% pour la menthe verte et 13% pour la tomate). Cette dernière est la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités nutritionnelles (la couleur, le goût, l'odeur, les huiles essentielles, etc.).

Les résultats expérimentaux amènent aux conclusions suivantes :

- L'étude cinétique de séchage solaire de la menthe verte et de la tomate montrent la présence unique de la phase de ralentissement, et l'absence de la phase de mise en température du produit et la phase à allure constante.
- La durée de séchage dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer : la masse du produit, la vitesse de l'air asséchant, ainsi que sa température.
- la durée de séchage de la tomate il est court.

- Par ailleurs, malgré la détermination des paramètres influençant sur la durée de séchage et pour améliorer les performances du séchoir solaire, il serait indispensable d'attribuer des modifications sur notre dispositif.
- Afin d'augmenter la vitesse de l'air asséchant à travers le produit à sécher, il est nécessaire de réduire la surface de la chambre de séchage et d'augmenter sa hauteur pour maintenir la capacité du séchoir solaire.
- Ils suggèrent aussi, de prévoir un appareillage bien dimensionné en fonction d'un ensemble de produits à sécher, notamment les produits en surproduction qui demandant ce type de traitement.

En développement à la consommation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales se dirigent vers les produits quasi-biologiques[13].

I-4-8: étude expérimentale du séchage solaire des dattes humides et impact sur la qualité

L'objectif principal étant d'une part l'étude de l'hydratation du produit suivi par un complément de maturation par séchage solaire et d'étudier la cinétique de séchage des dattes Deglet Nour et l'influence des paramètres opératoires sur la durée de séchage à différentes conditions climatiques et d'autre part prévoir l'influence de traitement thermique par séchage sur l'amélioration de la qualité finale des dattes par analyse chimique et microbiologiques aux différentes conditions opératoires .

Après avoir effectué un ensemble d'expériences par lesquelles, l'auteur a l'mis les résultats suivants

- L'hydratation des dattes sèches de la variété Deglet Nour, a été réalisée par trempage du produit dans un bain thermostaté. La température de 25°C est le meilleur choix pour hydrater le produit jusqu'à atteindre une teneur en eau approximativement égale à 0.5kg d'eau par kg de matière sèche, et préserver sa qualité
 - L'hydratation de la datte DN sèche peut être assimilée à une maturation artificielle, elle engendre un ramollissement de la datte par le gain en eau et l'inversion du saccharose

Les expériences de séchage solaire convectif des dattes humides sont effectuées pour des températures de séchage solaire en régime variable de l'ordre de 40°C à 50°C pour des vitesses variables de (0.75m/s, 1.2m/s, 2.5 m/s) et en régime constante à des températures constantes (45°C ,50°C 55°C ,60°C, 65°C) :

- La teneur en eau finale des dattes séchées est de 0.35 kg d'eau / kg matière sèche.
- Les courbes expérimentales obtenues ont montré une allure de séchage décroissante. Le principal facteur qui influe les cinétiques de séchage est la température de l'air asséchant; la vitesse de l'air asséchant s'est montrée comme paramètre de faible influence.

La durée de séchage est influencée par les conditions opératoires de l'expérience

- En conditions variables, sans apport supplémentaire d'énergie durant la période 25/04/2009 à 15/05/2009, la durée de séchage varie entre 37 H à 40H.
- Cette dernière diminue vers 11H considérablement dans la période de 14/07 à 26/07/2009
- L'utilisation d'un système d'appoint résistance alimenté par des panneaux solaires réduit de l'opération d'environ 10.5H.
- l'utilisation d'un système d'appoint par alimentation électrique et le maintien des températures constantes près du produit, a permis de prévoir l'influence des températures sur la durée de séchage et sur la qualité des dattes
- Les courbes de séchage aux températures 45°C, 50°C, 55°C, 60°C et 65°C ont été obtenues et commentées. Les durées de séchages respectives étaient de 9h ,7.5h ,6h, 4.5h, et. 3h

L'étude de la qualité améliorée des dattes Deglet Nour est basée sur les caractères organoleptiques, la croissance microbienne, la composition en sucres et la comparaison entre les dattes séchées à l'état final par rapport à celle fraîche (couleur, consistance, texture)

- L'analyse microbiologique ne présente aucune croissance microbienne (levures, moisissures) pour les dattes séchées

- L'analyse chimique des dattes Deglet Nour présente des sucres réducteurs et du saccharose en proportion variable avec des meilleurs résultats obtenus à $T=45-50^{\circ}\text{C}$
- Les dattes séchées présentent des bons caractères organoleptiques.
- La couleur brillante, la texture fibreuse et la consistance demie molle sont les principaux facteurs présentés dans les dattes Deglet Nour séchées.

Ces critères de choix ont conduit vers le choix du traitement sous température de l'air contrôlée à 50°C et une vitesse de 1.2 m/s assurant ainsi un rapport optimum (qualité du produit) / (durée de traitement). En effet, à cette température le produit final a pu conserver sa couleur claire, sa consistance demi-molle avec son goût original sans aucune croissance microbienne. La durée de séchage relative était d'environ 8 heures, elle présente l'avantage de pouvoir éviter la discontinuité du traitement et les problèmes de conservation nocturne. Par ailleurs, il a été remarqué que les températures au-delà de 50°C engendrent un phénomène de brunissement non enzymatique et de caramélisation des sucres plutôt dus aux réactions de Maillard.

Au terme de ce travail, l'auteur continue à penser que la technologie et la biotechnologie des dattes restent la seule garantie à offrir aux opérateurs pour conserver la diversité variétale pour le développement économique surtout pour le marché des dattes de variété Deglet Nour.

Suggestions et perspectives :

- ❖ L'étude de l'influence de la température de conservation à froid et la durée de stockage des dattes hydratées à différentes températures d'hydratation. Il faut prévoir l'influence des basses températures sur le ramollissement des dattes, le taux des sucres et la croissance microbienne, et par la suite nous choisis la meilleure température de stockage des dattes hydratées
- ❖ L'utilisation des panneaux solaires pour le fonctionnement de l'aspirateur au niveau du séchoir solaire
- ❖ L'étude de la conservation des dattes séchées à différentes conditions de stockage. Il faut prévoir l'influence de ces conditions sur la qualité hygiénique et la composition chimique des dattes
- ❖ L'étude technico-économique pour estimer le coût du séchage solaire

- ❖ La proposition d'un modèle mathématique décrivant le processus de séchage solaire de la variété de dattes étudiées [14].

I.4.9: correction d'une géométrie d'un séchoir solaire par le code fluent

Dans ce travail ils ont introduit des données dans le simulateur FLUENT, pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de séchoir. Les résultats obtenus de cette étude montrent qu'il existe des zones où l'on ne trouve pas d'homogénéité durant la température.

Les résultats obtenus montrent l'intérêt de la simulation qui peut faciliter le choix de la géométrie nécessaire pour ce cas.

Dans ce travail, ils veulent introduire dans l'expérience le simulateur FLUENT pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de séchoir solaire indirect à convection naturelle, et ils ont interprété les résultats, en vue de retenir ceux à même d'améliorer ce séchoir.

- Pour le séchoir réel, on a remarqué, une stratification de la température de l'air, dans le haut de la chambre, à cause du gradient vertical de la température, c'est-à-dire que la distribution de la température augmente selon la hauteur de la chambre du séchoir.

Cependant, il existe des zones où l'on ne retrouve pas d'homogénéité de la température, et où on remarque une zone latérale froide; ce qui veut dire qu'on a une perte de chaleur, pour le séchage.

-Pour cela, il est proposé une amélioration de la géométrie de séchoir.

Les résultats obtenus ont montré l'intérêt de la simulation où l'on remarque une homogénéité dans toutes les positions de la température pour le séchoir (3), $y=0.41\text{m}$ pour une température moyenne égale $=331,841\text{K}$ jusqu'à la position de $y=1\text{m}$. Pour cette raison on peut prendre les résultats de la simulation comme base de données pour la construction du séchoir solaire.

- L'importance de cette recherche réside dans l'espoir que ce travail sert de base pour des études futures plus détaillées qui prendront en considération d'autres paramètres qui influent sur le fonctionnement et la performance du séchoir solaire

Résultats de l'étude bibliographique

- ✓ L'ouverture du séchoir lors de chaque pesée joue un rôle négatif et déminiez l'efficacité énergétique de deux séchoirs solaires.
- ✓ Ces résultats expérimentaux ont permis de choisir des conditions de séchage optimales qui sont : des tranches de tomate traitées et séchées à une température de 65 °C et une vitesse d'air de 1.5 m/s
- ✓ Les facteurs influant sur la durée de séchage sont : la masse de produit, le rayonnement, la vitesse de l'air asséchant et sa température.
- ✓ Les courbes expérimentales obtenues de la tomate et de l'oignon ont montré que le principal facteur qui influe sur les cinétiques de séchage est la température de l'air asséchant.
- ✓ Il distingue que le paramètre température influe beaucoup plus que le paramètre vitesse sur l'opération de séchage.
- ✓ Le prototype des séchoirs solaires utilisé est simple, on propose de l'améliorer en intégrant un système de pesée automatique pour éviter l'ouverture et la fermeture de l'armoire de séchage lors de chaque pesée.
- ✓ Par ailleurs, malgré la détermination des paramètres influençant sur la durée de séchage et pour améliorer les performances du séchoir solaire, il serait indispensable d'attribuer des modifications sur notre dispositif.
- ✓ le simulateur FLUENT a été utilisé pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de séchoir solaire indirect à convection naturelle.
- ✓ Pour le séchoir réel, on a remarqué, une stratification de la température de l'air, dans le haut de la chambre, à cause du gradient vertical de la température, c'est-à-dire que la distribution de la température augmente selon la hauteur de la chambre du séchoir.
- ✓ Cependant, il existe des zones où l'on ne retrouve pas d'homogénéité de la température, et où on remarque une zone latérale froide; ce qui veut dire qu'on a une perte de chaleur, pour le séchage[15].

Position du problème et orientation de notre étude

Sur la base des constatations, faites dans les études précédentes, notamment sur le séchoir indirect non ventilé, notre étude s'oriente vers l'exploration expérimentale recherchant l'origine des problèmes mentionnés et par suite l'étude sera axée sur la proposition de certaines solutions telles que la modification des configurations géométriques actuelles afin de permettre une meilleure distribution des températures dans la chambre de séchage.

D'après notre recherche théorique, certains mémoires et articles, une idée savante sur le comportement du séchoir solaire indirect non ventilé apparaît. Il s'agit de la distribution de température autour de séchoir solaire qui d'ailleurs constitue généralement le paramètre le plus important

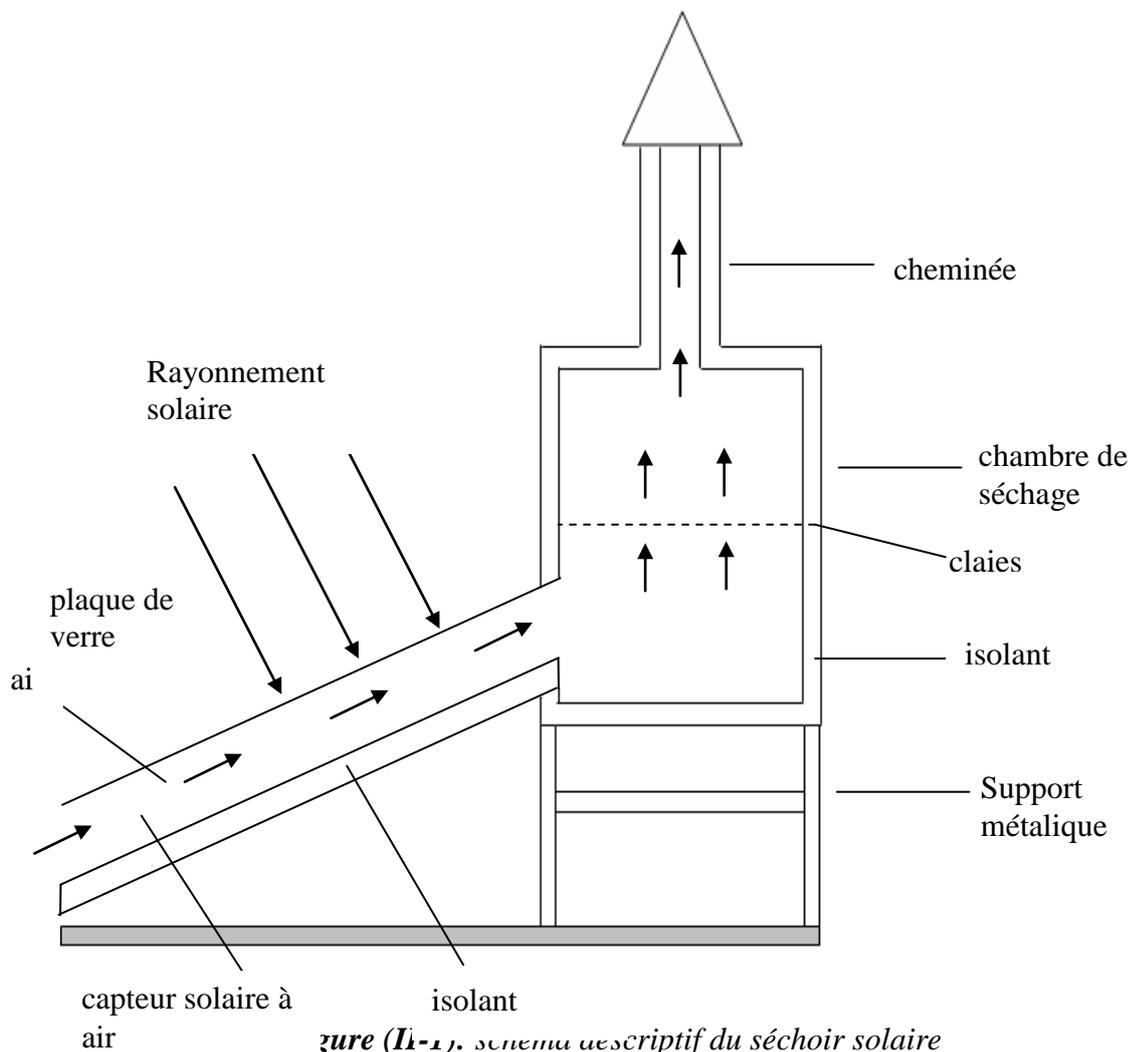
Ce phénomène: (non homogénéité de distribution de température dans le séchoir), conduit à une étude expérimentale, et une autre étude de simulation pour confirmer les résultats expérimentaux et de choisir la géométrie du séchoir pour résoudre le phénomène de distribution de température dans le séchoir solaire.

Chapitre: II

Exploration
expérimentale d'un
séchoir solaire
fonctionnant à vide

II-1-Description du séchoir solaire

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



II-1-1- Le capteur solaire

Le capteur solaire est un capteur à air plan, de longueur de 2 m, de largeur 1 m et une hauteur de 0,13m. Le capteur est recouvert d'une plaque de verre, d'épaisseur 0,004 m.

En 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 côtes latéraux et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec le polystyrène, le capteur est incliné d'un angle de 31° par rapport au plan horizontal et orienté vers le plan sud.

II-1-1-2-La chambre de séchage

La chambre de séchage est une boîte galvanisée de forme cubique, de hauteur de 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'une cheminée cubique fabriquée avec des feuilles galvanisées de hauteur 1 m, les cotés de 0,020 m. Les parties latérales sont isolées thermiquement par du polystyrène et la chambre de séchage est posée sur un support métallique. Les produits sont déposés à l'intérieur de la boîte, sur une claie de forme rectangulaire composée d'un cadre en métal ; sur lequel est fixé un grillage pour permettre le passage de l'air.

II-1-2-Fonctionnement du séchoir solaire

L'air frais, capté de l'extérieur circule dans le capteur solaire par convection naturelle. Il est chauffé avant d'arriver à l'entrée de la chambre de séchage, puis il continue son chemin à travers la claie. Enfin l'air asséchant est évacué vers l'extérieur à travers la cheminée solaire.

II-2-1-Préparation du séchoir solaire

La préparation du séchoir solaire concerne l'assurance de bon fonctionnement du séchoir par :

- nettoyage de la couverture transparente et de la plaque noire du capteur solaire.
- vérification de stabilité du système de pesée à l'intérieur de la chambre par un poids témoin.
- fonctionnement du séchoir à vide, pendant 60 min
- vérification de l'homogénéité et la stabilité de la température par une série des expériences

II-3- Préparation du produit

Dans notre travail, nous avons choisi deux produits différents : l'un à haute teneur en eau (tomate) et l'autre à faible teneur en eau (dattes Deglet Nour)

II-3-1-Préparation du produit à haute teneur en eau (tomates)

La tomate est choisie d'une façon homogène, pièce par pièce, en utilisant trois critères qui sont: la dimension, le degré de maturation (ni crue ni trop mur), et la morphologie externe (surface saine sans fissure) [16].

II-3-2-Préparation du produit à faible teneur en eau (dattes)

Les dattes choisies sont triées par élimination manuelle de tous les fruits écrasés ou noircis, ce qui permet d'homogénéiser le lot définissant au mieux l'état initial du produit.

II-4-Appareillages de mesures

II-4-1-Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement global reçu sur le plan du capteur est mesuré en W/m^2 à l'aide d'un solarimètre (figure (II-3)) et ceci durant la journée de l'expérience. Les résultats obtenus sont affichés sur un appareil à affichage numérique.



Figure (II-3) : Solarimètre à affichage numérique

II-4-2-Mesures des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K figure (II-4) dans plusieurs endroits du capteur solaire :

- entrée et sortie du capteur solaire.
- avant la claie portant le produit à sécher.
- au niveau du produit à sécher.

Les résultats de mesure des thermocouples sont affichés sur un thermomètre figure (II-4)



Figure (II-4) : Thermomètre

II-4-3-Mesure de l'humidité de l'air

- La mesure de l'humidité relative de l'air extérieur est effectuée par un hygromètre type Testo 608-H1



Figure (II-5): hygromètre Testo 608-H1

II-4-4- Mesure de vitesse de l'air

- Les mesures de la vitesse et de la température de l'air ambiant sont effectuées à l'aide d'un anémomètre à affichage numérique (type CA 1051).

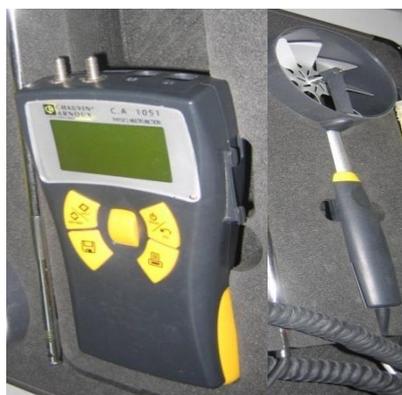


Figure (II-6) : Appareil fonctionnel

physique multi

II-4-5- Mesure de la perte de masse

La mesure de la perte de masse du produit en fonction du temps est effectuée sur l'ensemble produit – claie support, à l'aide d'une balance de précision à 0,01g ; pour la pesée systématique des produits séchés.



Figure (II-8): la Balance

II-5- Protocole expérimental

Le suivi de la perte de masse des produits d'étude au cours du séchage est assuré par des mesures de masse effectuées à intervalles de temps réguliers de 60 minutes ; en utilisant une balance de précision à 0,01g. La durée de séchage étant le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau finale souhaitée. Pour la variété de datte, la teneur en eau finale est de 0,23kg eau/kg de matière sèche, qui représente l'humidité standard de conservation de la datte. La teneur en eau finale, pour la tomate, est de 0.13 kg eau/kg de matière sèche. Les mesures de

température, du rayonnement, et de la vitesse de l'air sont effectuées régulièrement chaque 60 minute.

II-6-Série d'expériences

Nous avons effectué une série d'expériences pour étudier le comportement physique du séchoir solaire à convection naturelle. Le travail expérimental est subdivisé en deux parties :

- la première partie est consacrée pour l'étude du séchoir solaire à vide (période de travail expérimental : 03/06/2010 à 02/11/2010).
- la deuxième partie de l'étude est basée sur l'étude de processus de séchage solaire des produits à faible et à haute teneur en eau, pour évaluer la température au niveau de la chambre d'une part et prévoir le problème de stratification d'autre part (période de travail expérimental: 03 /11/2010 à 09/11/2010).

II-7- abréviation de séchoir naturel

Le comportement physique du séchoir solaire à vide est illustré sur les figures II 9

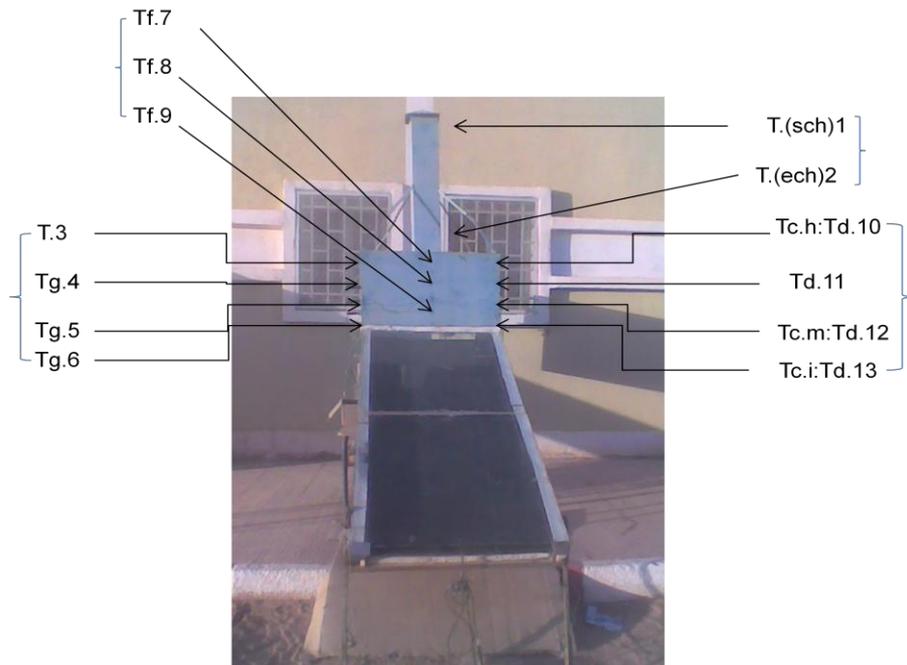


Figure (II-9-a): la distribution des thermocouples dans le séchoir solaire

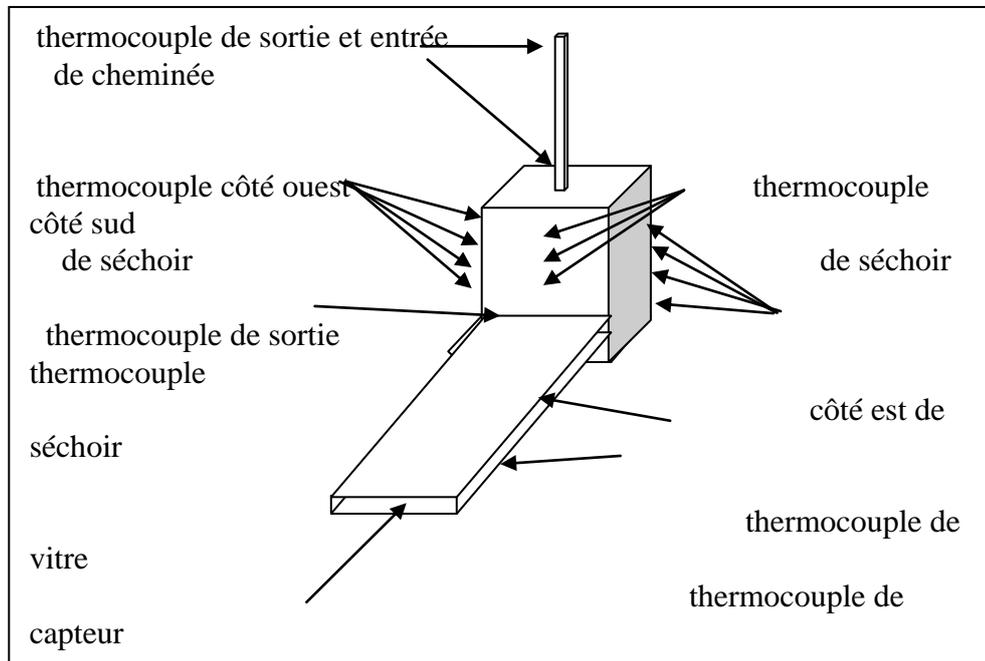
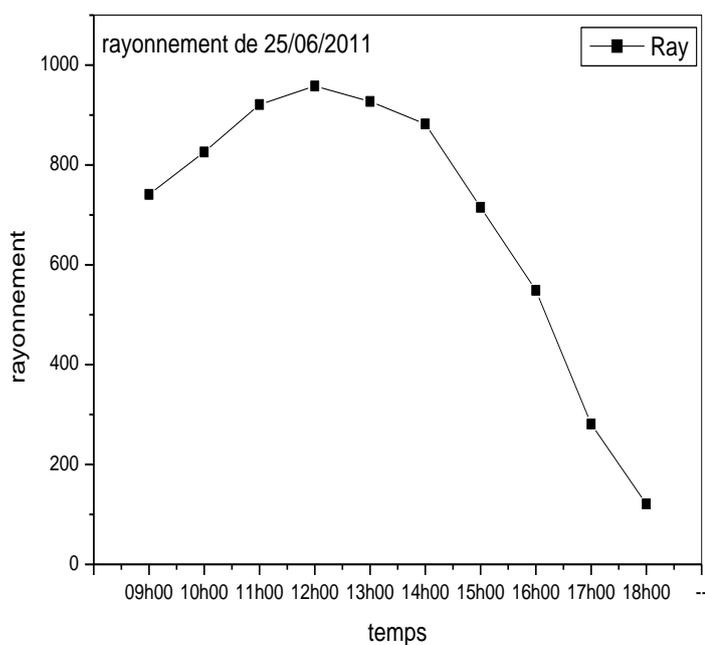
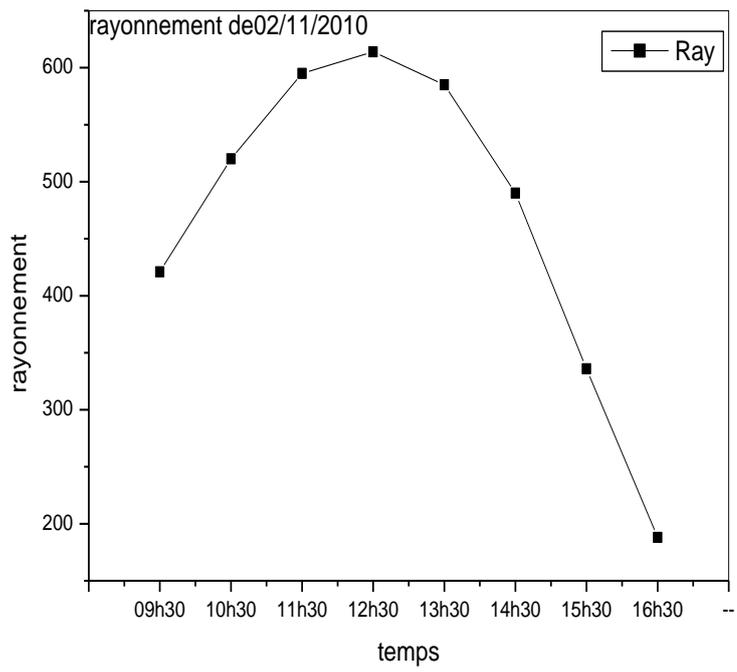


Figure (II-9-b): la distribution des thermocouples dans le séchoir solaire

II 8 – Résultats et discussion

Les figures (II-9-a et b) montrent l'allure du rayonnement au cours de deux jours d'expérimentation





Figures II.10: l'allure de rayonnement solaire (du_25/06/2011 et 02/11/2010)

II-9-Variation de la température dans différents endroits de la chambre côté (OUEST, SUD, EST)

Les figures II-10-1, 2, 3 et 4 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.

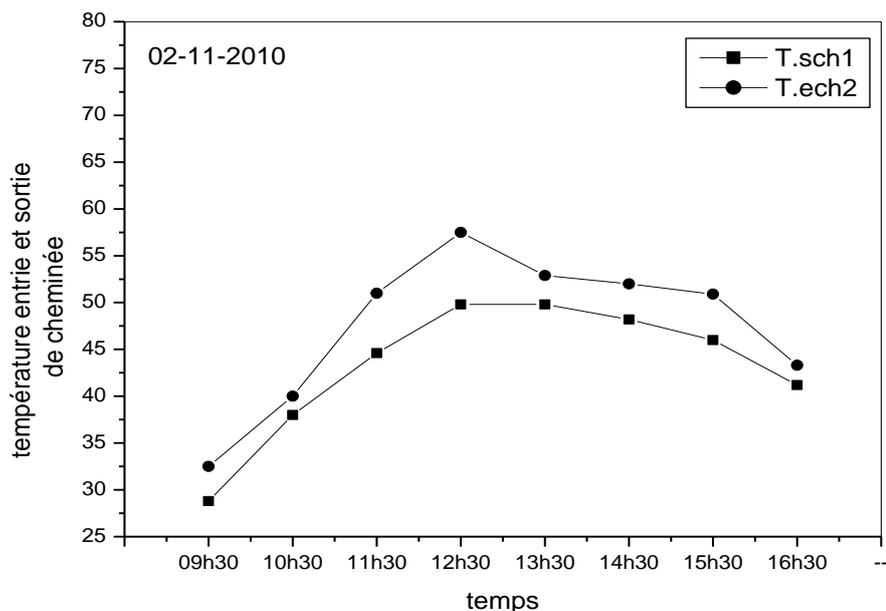


Figure II.10.1 : Variation des températures en fonction du temps entrée et sortie de cheminée

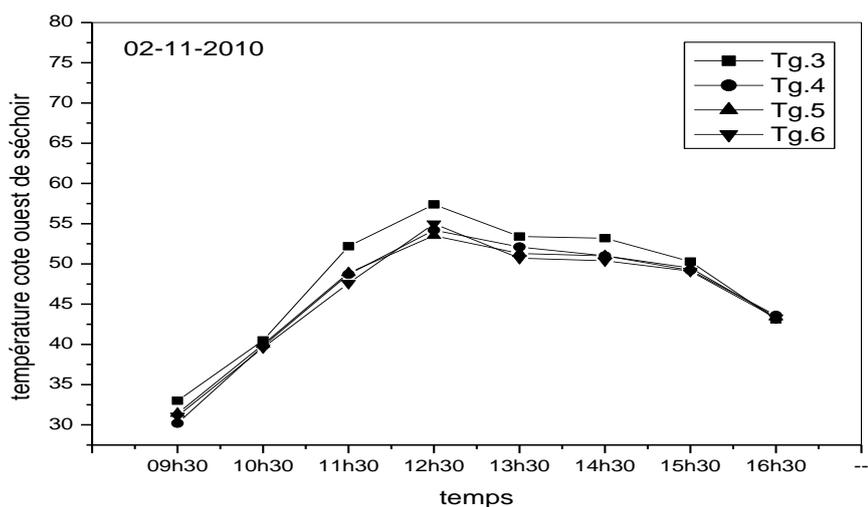


Figure II.10.2: la distribution de température sur le séchoir côté OUEST de séchoir

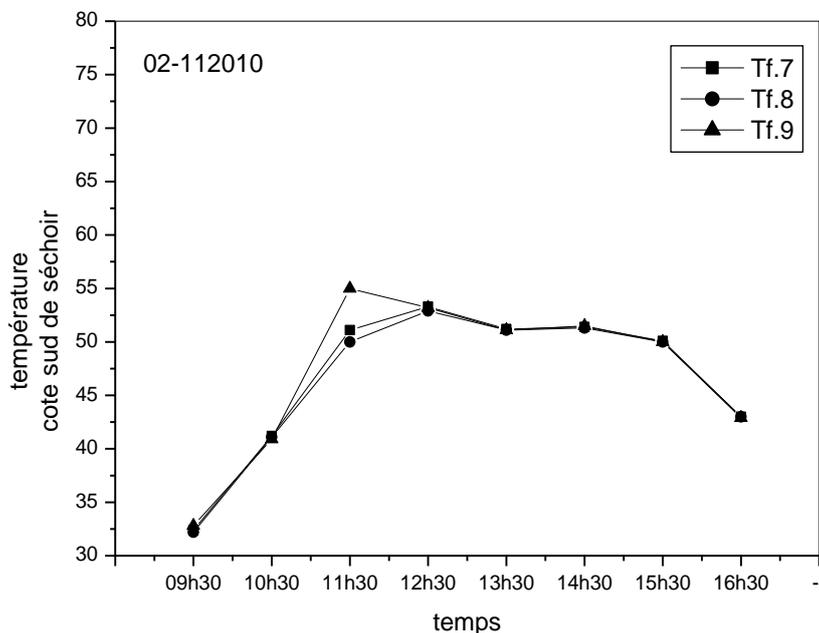


Figure II.11.3 : Variation des températures en fonction de temps côté SUD de séchoir

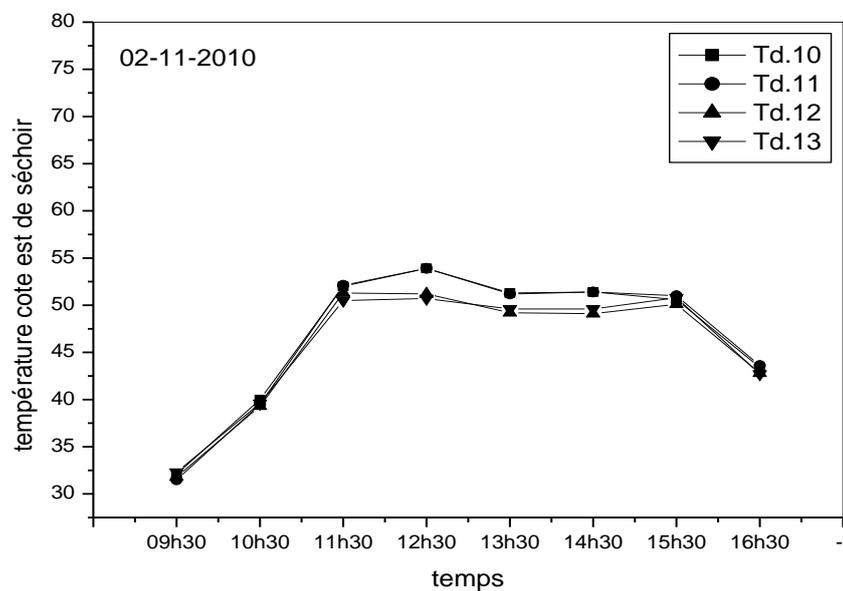


Figure II.11.4: variation des températures en fonction de temps côté EST de séchoir

Chapitre II | Exploration expérimentale d'un séchoir solaire fonctionnant à vide

D'après les résultats trouvés sur les figures ci dessus, on peut dire que :

Le coté OUEST est moins chaud, par rapport aux autres côtés ; avec une température maximale de 51,9°C.

Tandis que le côté SUD de séchoir, la température des capteurs (T_f7 , T_f8 T_f9) attend une valeur max est de 64,9°C

La zone le plus chaude correspond au côté EST avec une accumulation importante de la chaleur, la température max est de: 67,3°C

Le champ de température au côté EST représente le cas le plus chaud de toute les régions, cette augmentation est expliquée par le problème de stratification.

Chapitre: III

Expériences de
recharge de produits
à haute et faible
humidité initiale

Chapitre III | Expériences de séchage de produits à haute et faible humidité initiale

III-1-Détermination de la teneur en eau initiale à faible humidité

(datte)

La détermination de la masse sèche à l'état initial est effectuée selon les étapes suivantes :

- réglage de la température de l'analyseur d'humidité à 105°C. [16]
- introduction d'une masse de 3 g des dattes, broyées dans la chambre de l'analyseur
- démarrage de l'analyseur d'humidité.
- arrêt automatique de l'appareil après que la masse de l'échantillon soit constante.

La teneur en eau initiale des dattes est déterminée en utilisant l'analyseur (III-1)



Figure III.1: Analyseur d'humidité SARTORIUS MA

III-1-1-Expression des résultats

La teneur en eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \dots\dots\dots (\text{III-1})$$

M_i : La masse initiale de dattes (g): 970 g

X_i : teneur en eau 30%

M_s : La masse sèche (g) : $M_s = \frac{M_i}{X_i + 1} = 746 \text{ g}$

III-1-2-L'allure des rayonnements

La figure III-1-2 montre les variations des rayonnements.

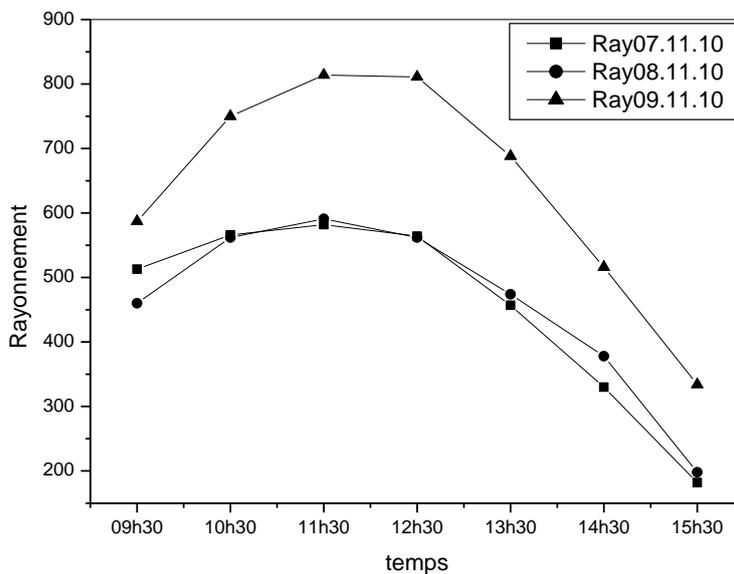


Figure III-1-2: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps avec produit (datte).

III-1-3-la cinétique de séchage (datte)

La figure III-1-3 montre les évolutions de séchage de datte.

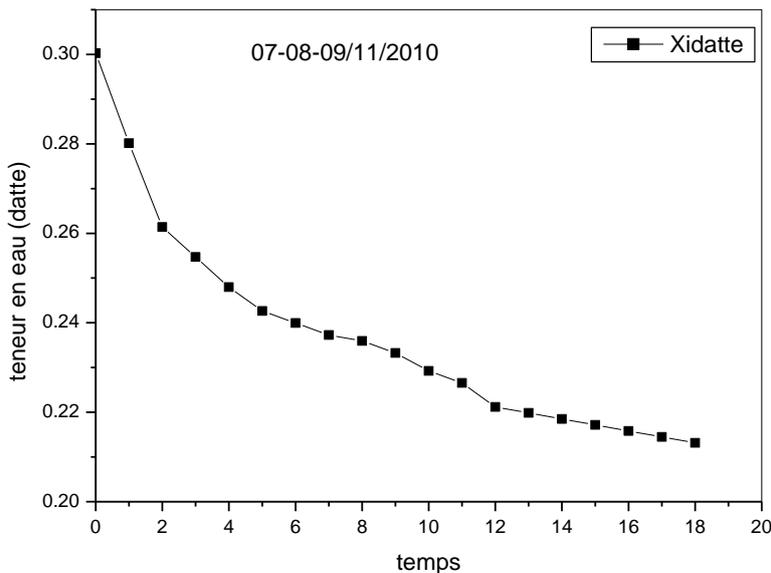
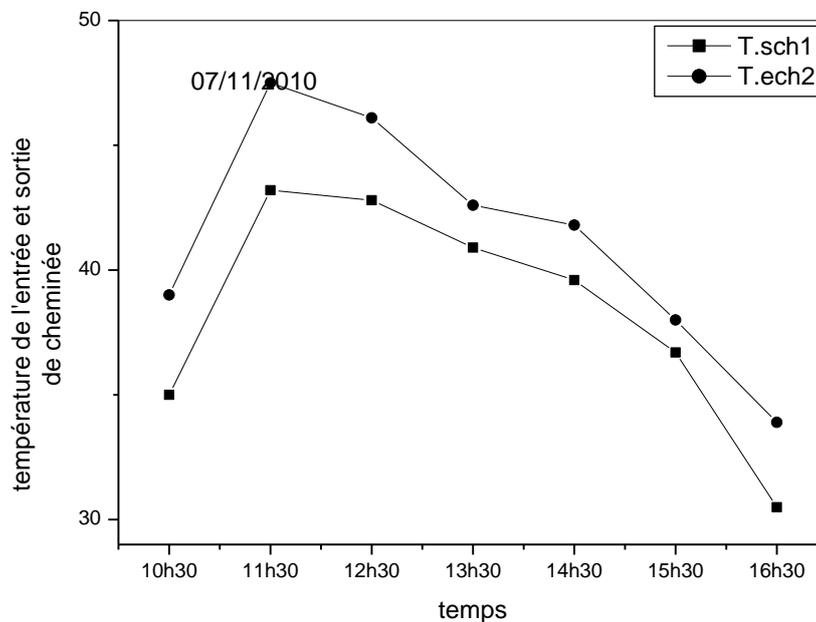


Figure III-3: Variation de la teneur en eau de datte en fonction de temps

Le suivi de la perte de masse de l'échantillon en fonction du temps est enregistré. Pour déterminer la teneur en eau initiale des dattes sèches, nous avons tracé la courbe de la perte de masse séchée en fonction du temps. Nous avons arrêté l'expérience lorsque le poids devient constant.

III-1-4-L'allure des températures l'entrée et sortie de cheminée (datte)

Les figures III- 4 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir exactement à l'entrée et sortie de cheminée.



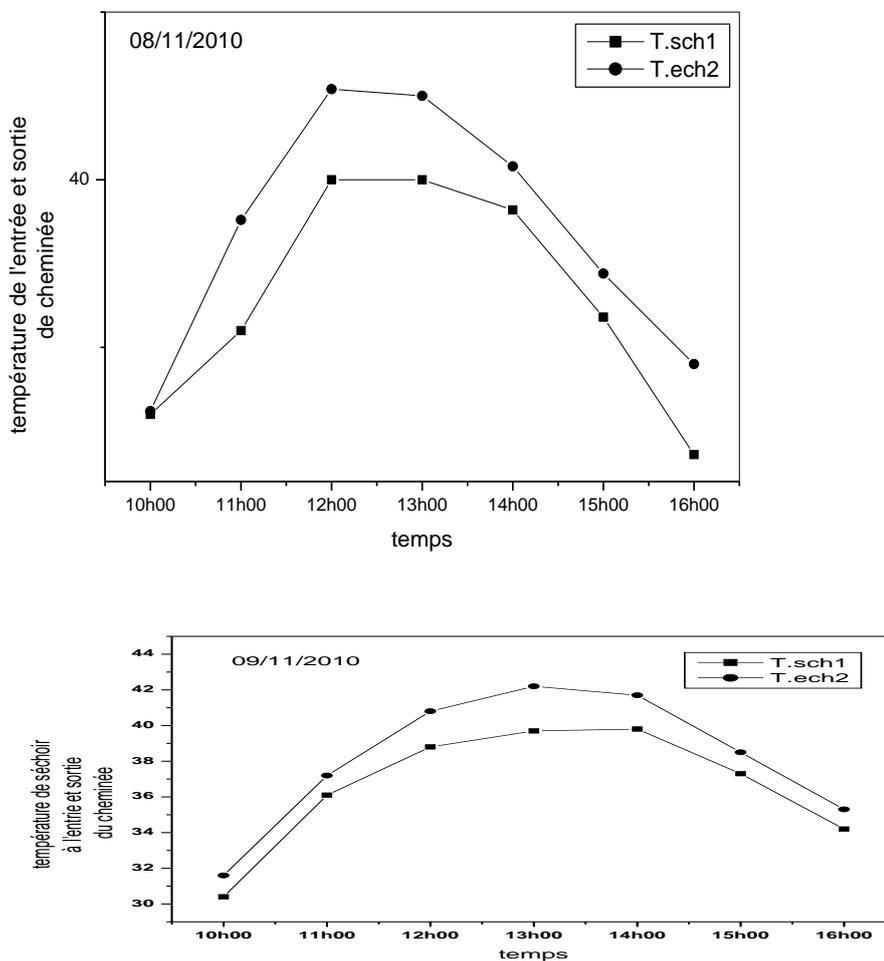


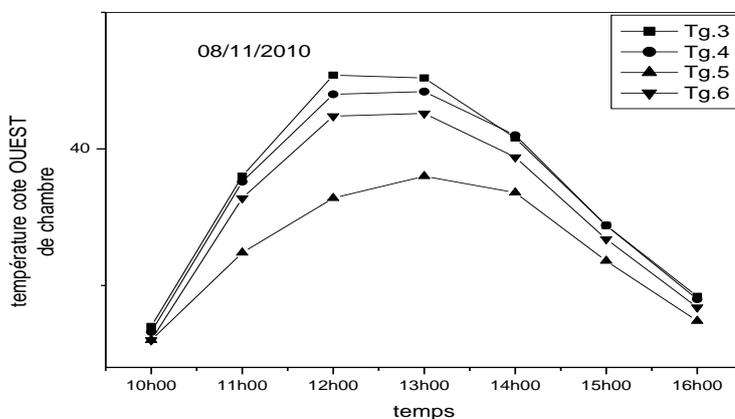
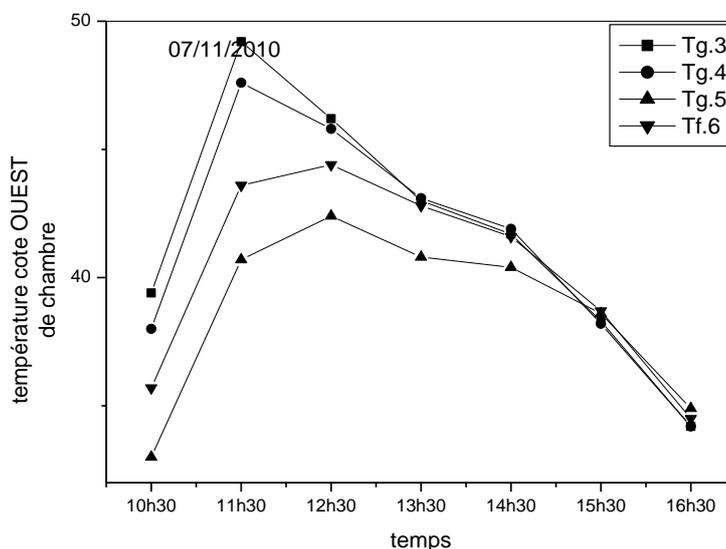
Figure III-4 : Variation des températures en fonction du temps entrée et sortie de cheminée les journées du 07-08-09/11/2010

Chapitre III | Expériences de séchage de produits à haute et faible humidité initiale

L'allure des températures de cheminée pour les journées du 07-08-09/11/2010, montrent les mêmes allures. Les courbes composées de deux parties : la première est la partie de l'augmentation de température et la deuxième, une diminution de température. La température la plus élevée est enregistrée pour la journée du 07/11/10 ; par contre la température la plus basse, était pour la journée du 09/11/10.

III-1-5-L'allure des températures côté OUEST de la chambre (datte)

Les figures III-5 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.



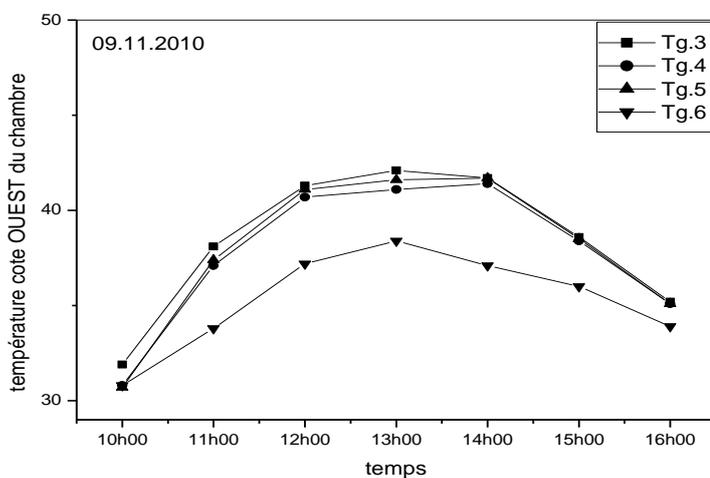


Figure III-5 : Variation des températures en fonction du temps côté OUEST de séchoir les journées du 07-08-09/11/2010

L'allure de température côté OUEST de la chambre montre une différence entre le premier jour et le deuxième jour ; ainsi que le 3^{ème}. Cette différence est remarquée pour la journée du 07/11/10. Les points de départ des trois températures sont différents et la valeur maximale est atteinte à 49°C. La journée du 08-09/11/10 présente une allure de température sont semblable pour les trois points.

Le point de départ des températures est le même.

III-1-6-L'allure des températures cote SUD de chambre (datte)

Les figures III-6 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.

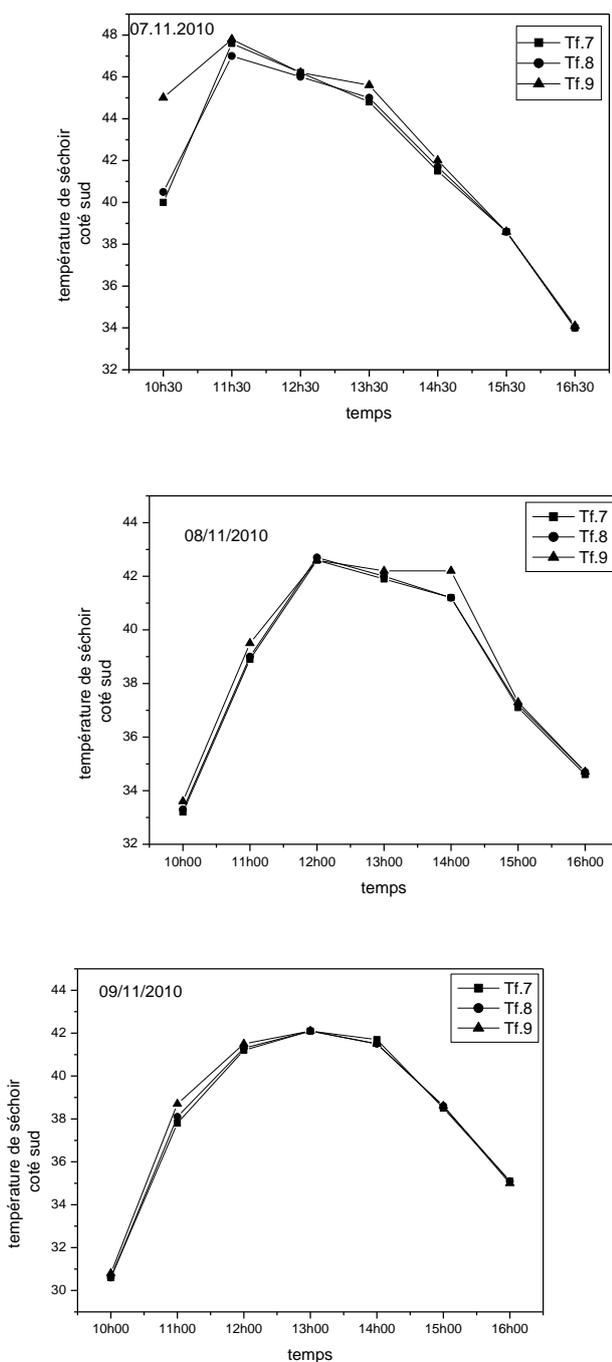


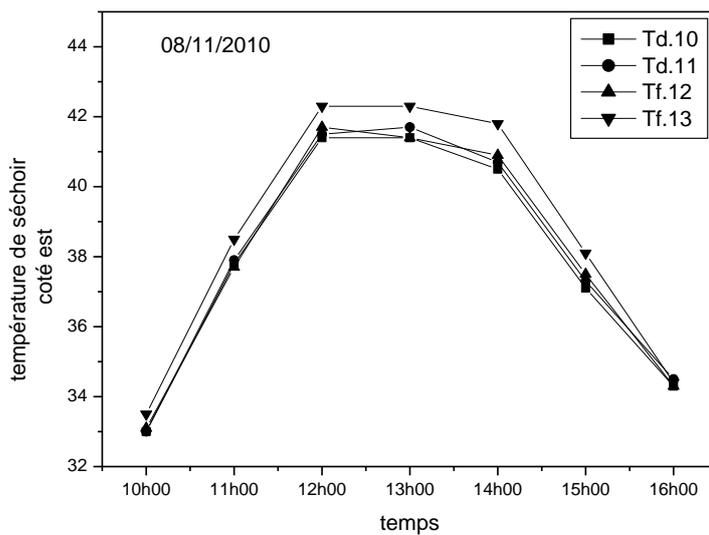
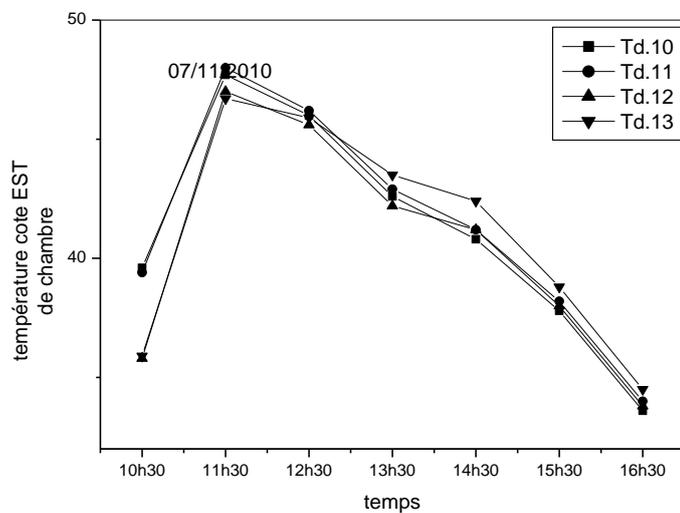
Figure III-6 : Variation des températures en fonction du temps côté SUD de séchoir journées du 07-08-09/11/2010

Chapitre III | Expériences de séchage de produits à haute et faible humidité initiale

L'allure des températures, côté SUD de chambre, au cours de la journée du 07/11/10 présente généralement un abaissement de température qui atteint jusqu'à 34°C. La journée du 08-09/11/10 présente une même allure des températures, une augmentation et après une diminution.

III-1-7-L'allure des températures côté EST de chambre (datte)

Les figures III-7 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.



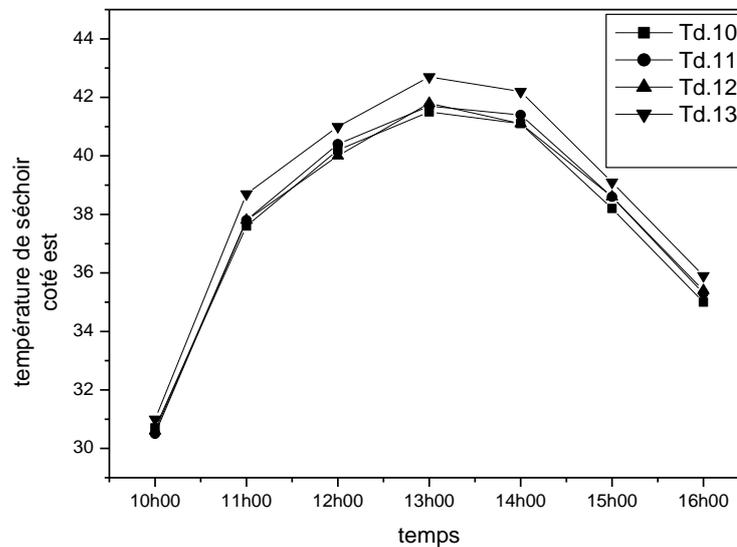


Figure III-7 : *Variation des températures en fonction du temps côté EST de séchoir journées du 07-08-09/11/2010*

L'allure des températures, côté EST de chambre; pour les quatre points de température des journées du 07-08-09/11/10. Elles sont superposées sous forme d'une seule ligne courbée ; cette courbe est composée, de deux parties. Dans la première température augmente et, dans la deuxième, elle diminue.

III-2-Détermination de la teneur en eau initiale à haute humidité (tomate)

La détermination de la masse sèche à l'état initial est effectuée selon les étapes suivantes :

- réglage de la température de l'analyseur d'humidité à 70°C. [16]
- introduction d'une masse de 1g de tomates broyées dans la chambre de l'analyseur
- démarrage de l'analyseur d'humidité.
- arrêt automatique de l'appareil après que la masse de l'échantillon soit constante.

III-2-1-Expression des résultats

La teneur en eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{M_I - M_s}{M_s} \times 100$$

M_i : La masse initiale de dattes (g): 1240 g

X_i : teneur en eau 86%

M_s : La masse sèche (g) : $M_s = \frac{M_I}{X_i + 1} = 666,6 \text{ g}$

Après la préparation des tranches de tomate à une épaisseur 1 centimètre, l'une est mise dans la claie et introduit à l'intérieur du séchoir.

III-2-3-L'Allure du rayonnement

La figure III- 8 montre les variations des rayonnements.

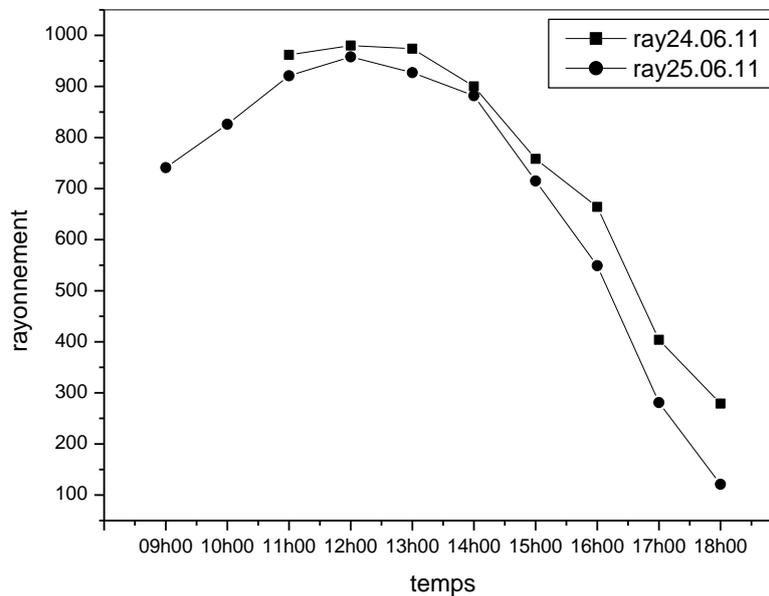


Figure III-8 : Variation du rayonnement en fonction du temps

III-2-4-1'Allure de la cinétique

La figure III-9 montre l'évolution de séchage de tomate.

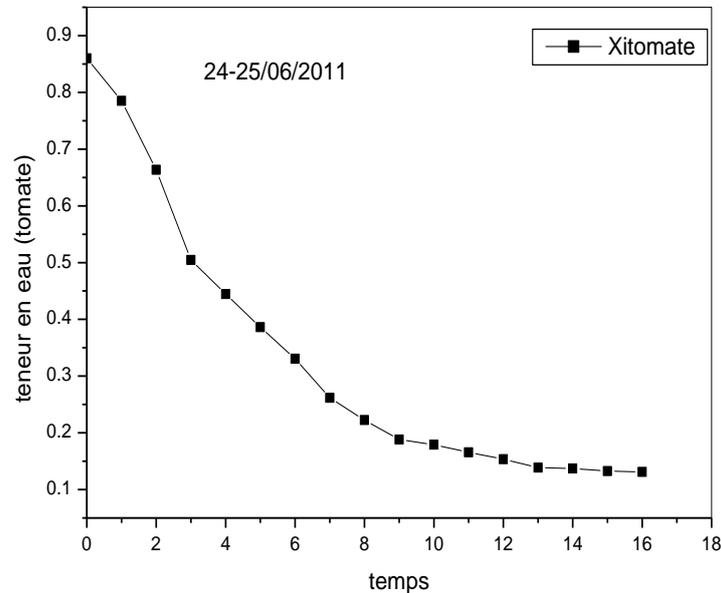
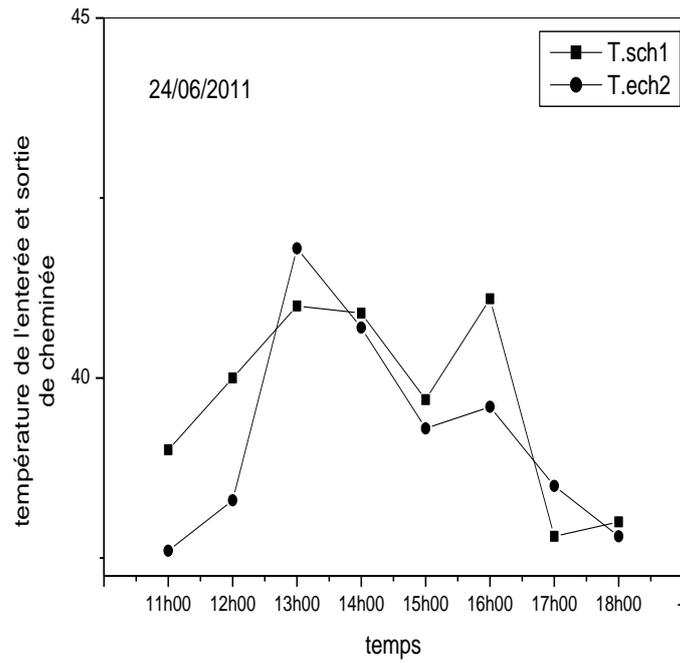


Figure III-9: Variation de la teneur en eau de tomate en fonction de temps

La figure III-9 montre que le temps de séchage pour avoir une teneur finale $X_f = 0,13$, et par conséquent; plus la température augmente, plus la cinétique de séchage décroît et plus le temps de traitement est faible. Ceci résulte d'une part de l'augmentation du flux de chaleur apporté par l'air au produit et d'autre part de l'accélération de la migration interne de l'eau. La durée de séchage est égale à 17h00.

III-2-5-L'allure des températures à l'entrée et à la sortie de cheminée (tomate)

La figure III-10 montre les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.



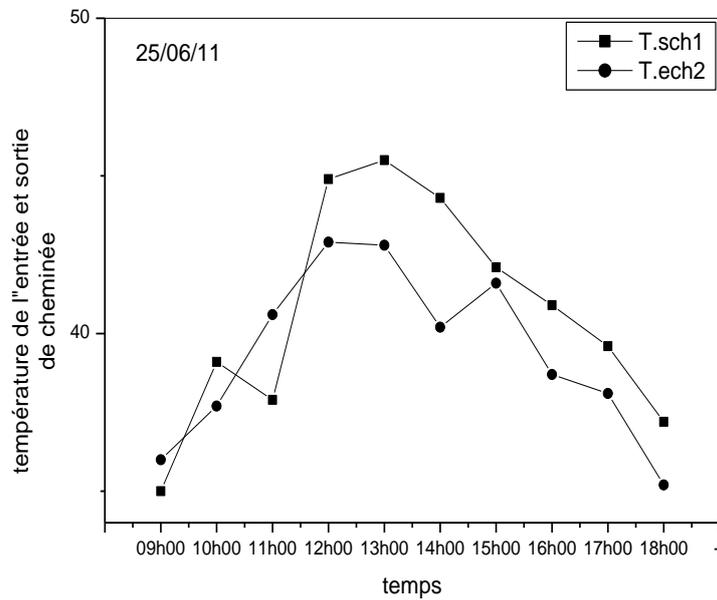


Figure III-10 : Variation des températures en fonction du temps entrée et sortie de cheminée les journées du 24-25/06/2011

L'allure de température de cheminée pendant les journées du 24-25/06/2011, montre que le premier jour présente une variation de températures très légère. La température maximale atteint $41,8^{\circ}\text{C}$. Au deuxième jour, la variation de température est plus importante et la température maximale atteint $45,5^{\circ}\text{C}$.

III-2-6-L'allure des températures côté OUEST de chambre (tomate)

La figure III-11 montre les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.

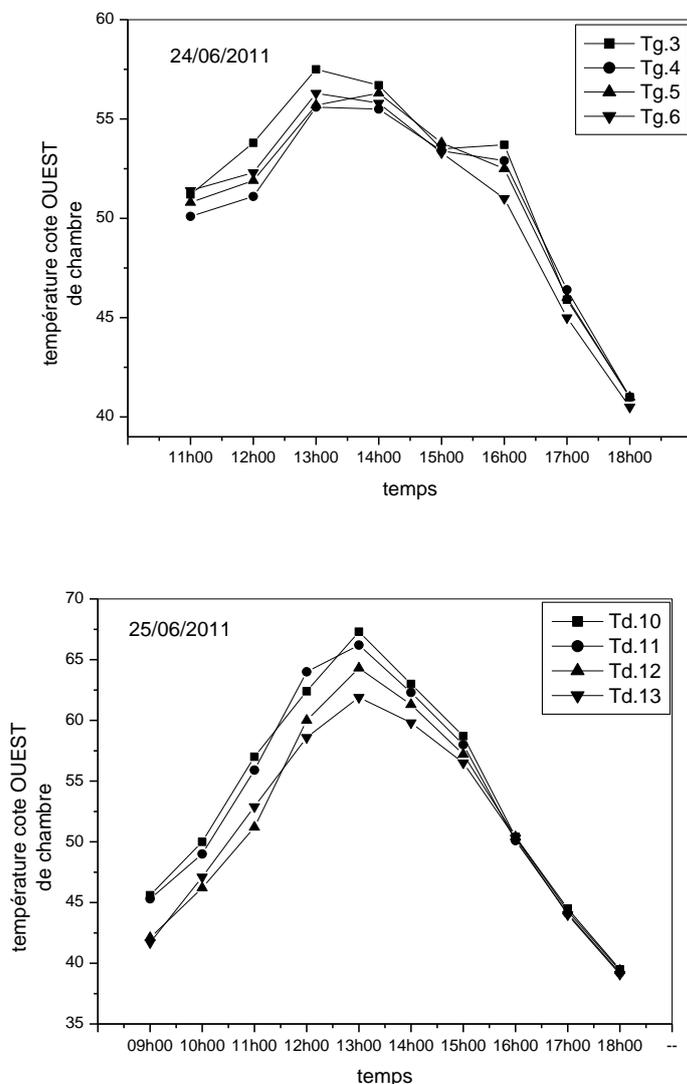


Figure III-11 : Variation des températures en fonction du temps côté OUEST de séchoir les journées du 24-25/06/2011

L'allure de température côté OUEST de chambre montre une différence entre le premier jour et le 2^{ème} jour. Cette différence, montre exactement au temps 13h00 une $T_{\max} = 57.5^{\circ}\text{C}$ et 62.3°C , pour la journée du 24 et 25/06/11.

III-2-7-L'allure des températures côté SUD de chambre (tomate)

La figure III-12 montre les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.

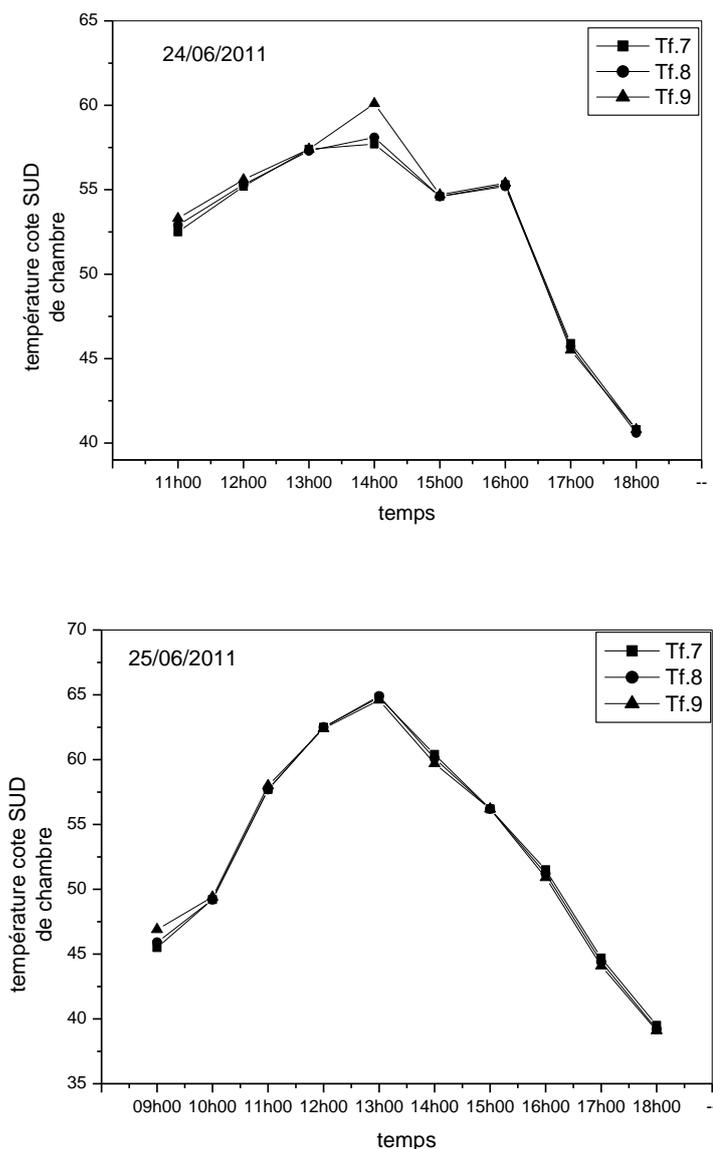


Figure III-12 : Variation des températures en fonction du temps côté SUD de séchoir les journées du 24-25/06/2011

La figure III.12 ressemble généralement à la figure III.10. La T_{\max} atteint $60,1^{\circ}\text{C}$ et $64,9^{\circ}\text{C}$, pour les journées du 24 et 25/06/11.

III-2-8-L'allure des températures côté EST de chambre (tomate)

Les figures III-13 montrent les variations des températures; ainsi que la distribution de température sur le séchoir.

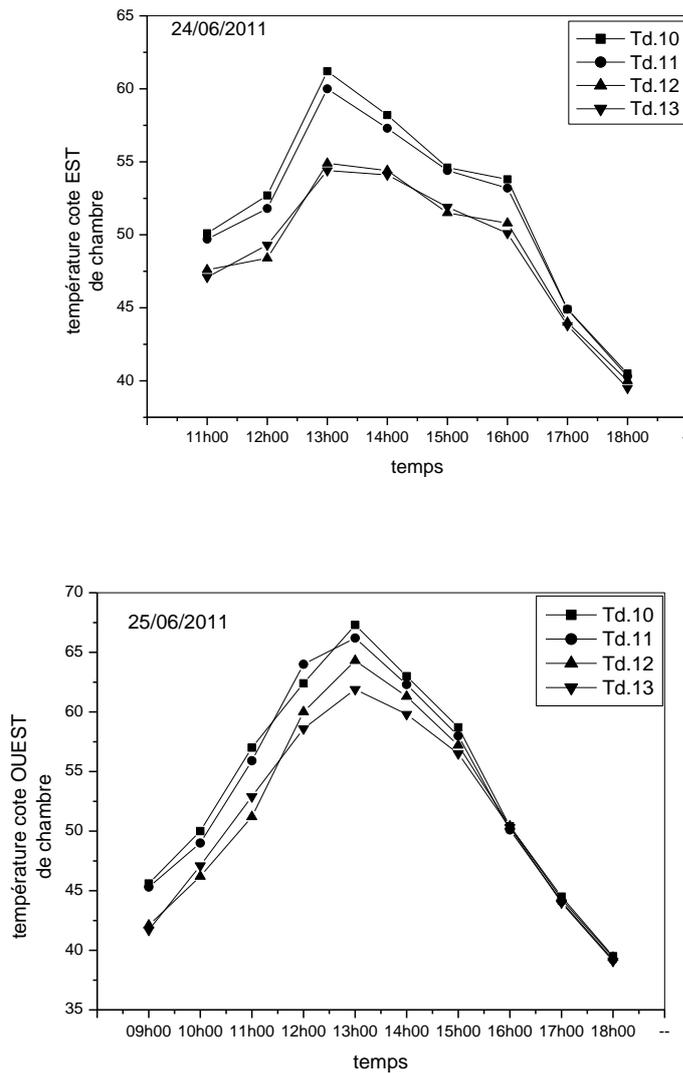


Figure III-13 : Variation des températures en fonction du temps côté EST de séchoir les journées du 24-25/06/2011.

Discussion

Les figures (III.10-11-12-13) présentent la variation des températures en fonction du temps. Nous constatons que la température dans le séchoir solaire avec le produit (datte), dans l'intervalle de temps (10 h 00 jusqu' à 12 h 00), une augmentation de la température atteindre les valeurs de 47,5°C à l'entrée de et à la sortie de la cheminée ; 49,2°C, pour le côté OUEST est de 47,8°C, pour le côté SUD et dernièrement 48°C pour le côté EST. Pour le deuxième produit (tomate), les valeurs de températures sont supérieures par rapport aux valeurs de température pour le produit (dattes) à cause du rayonnement et le phénomène de stratification, la température distribué sur le séchoir solaire est d'une valeur de 45,5°C à l'entrée et à la sortie de cheminée ; 62,3°C, pour le côté OUEST et 64,9°C, pour le côté SUD et dernièrement 67,3°C, pour le côté EST.

Chapitre: IV

Simulation
numérique du
comportement du
séchoir

Introduction

Fluent est un logiciel de modélisation en mécanique des fluides. Ce logiciel est juste le solveur, il ne maille pas le système. Le maillage doit être réalisé avec un mailleur, (Gambit) par exemple qui est réalisé par le même éditeur. Le paramétrage se fait par une interface graphique. Ce logiciel permet la mise en place de script pour automatiser les processus de calcul. Il est même depuis peu intégré dans la fameuse suite de logiciel de simulation ANSYS. Sa force vient du très grand nombre de modèles disponibles, pouvant faire face à de très nombreux aspects de la mécanique des fluides : Ecoulement diphasique (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, Kw, SA, Reynolds stress...), combustion (pré mélangé et non pré mélangé), transport de particules, écoulement en milieux poreux, maillages mobiles et dynamiques avec reconstruction du maillage...Les schémas temporels et spatiaux peuvent de plus être modifiés pour améliorer la convergence.

Le logiciel Fluent est basé sur la méthode des volumes finis, qui permet la résolution des équations qui régissent les écoulements (équation de conservation de la masse, équation de quantité de mouvement, équation de l'énergie). Fluent est associé à Gambit, à l'aide duquel on va définir la géométrie, le maillage, et les conditions aux limites.

Dans la suite de notre travail nous allons étudier le même problème sujet de nos essais expérimentaux exposés dans les chapitres précédents de ce mémoire mais cette fois par moyen de la simulation numérique utilisant le logiciel fluent. Cette partie d'étude nous permettra de valider nos résultats numériques en les comparant avec les données de mesures expérimentales déjà faites. L'exploitation de l'ensemble des résultats sera orientée vers la comparaison entre différentes configurations géométriques du séchoir solaire étudié et le choix d'un cas de conception optimale (hauteur; largeur; forme; cheminée)[17].

Chapitre IV | Simulation numérique du comportement du séchoir

Comme on a vu dans le chapitre expérimental le point le plus chaud est le dernier point cote EST de séchoir, pour approuver notre étude expérimentale les résultats obtenu en l'introduire dans le logiciel de simulation numérique fluent en deux dimensions, 1^{er} dans le cas réel et 2^{eme} dans des cas différent et finalement en observe les résultats de Fluent le plus adaptable.

On joue au changement de forme de séchoir facteur de forme $A = H/L$ (hauteur H et largeur L), ainsi que l'angle de codage et le diamètre de cheminée.

Séchoir I

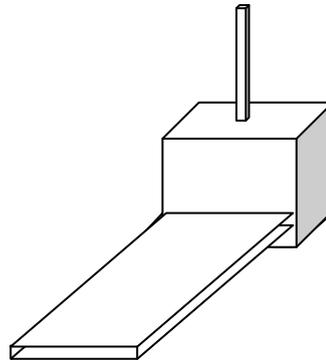


Figure IV: à l'état original

IV-Données des conditions opératoires mesurées

Parmi les journées de collectes on a choisit les journées du 02/11/2010, 08/11/2010 et 25/06/2011 pour introduire les conditions aux limites suivantes:

Les conditions aux limites de la journée du 25/06/2011

- Vitesse d'entrée $V = 0,16$ m/s et température d'entrée $T = 318K^{\circ}$
- température d'absorbeur $T = 342K^{\circ}$
- température du vitrage $T = 337,3K^{\circ}$
- pression de sortie $P = 1$ atmosphère et température de sortie $T = 318K^{\circ}$

Chapitre IV | Simulation numérique du comportement du séchoir

Les conditions aux limites la journée du 02/11/2010

- Vitesse d'entrée $V = 0,17$ m/s et température d'entrée $T = 304,3K^\circ$
- température d'absorbeur $T = 354,1K^\circ$
- température de vitre $T = 328,5K^\circ$
- pression de sortie $P = 1$ atmosphère et température de sortie $T = 322,8K^\circ$

IV-1-Première configuration

Séchoir N° I.1: c'est le séchoir à l'état réel les dimensions sont réelles la longueur $L = 0,8m$, la largeur $H = 0,8m$ la hauteur de cheminée égale à $1m$ et le diamètre de cheminée $r = 0,085m$

Les conditions aux limites de la journée du 25/06/2011

Journée	Vitesse(V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (K)	T _{vitre} (T _v) (K)	T _{sortie} (T _s) (K)
25/06/2011	0.16	318	342	337.3	318.5

IV-1-1-La distribution de Pression

La figure IV-1 montre la distribution de pression dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites la journée du 25/06/2011.

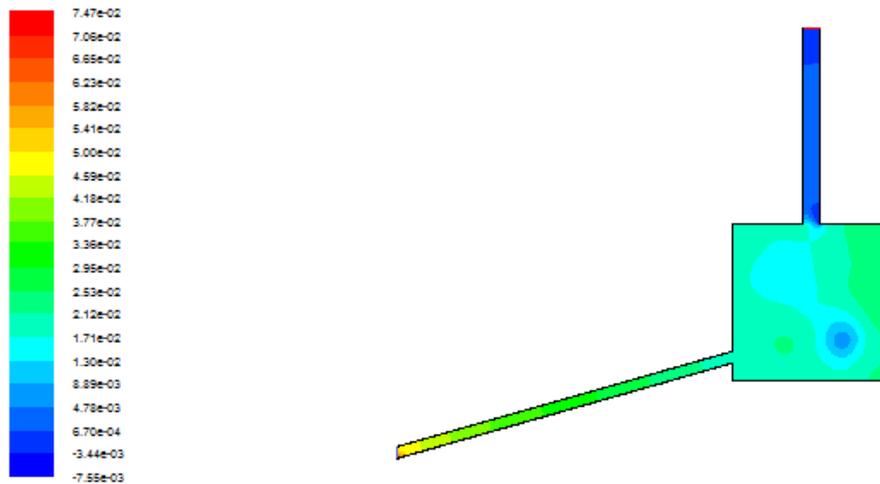


Figure IV-1: la distribution de pression Séchoir N° I

IV-1-2-La distribution de vitesse

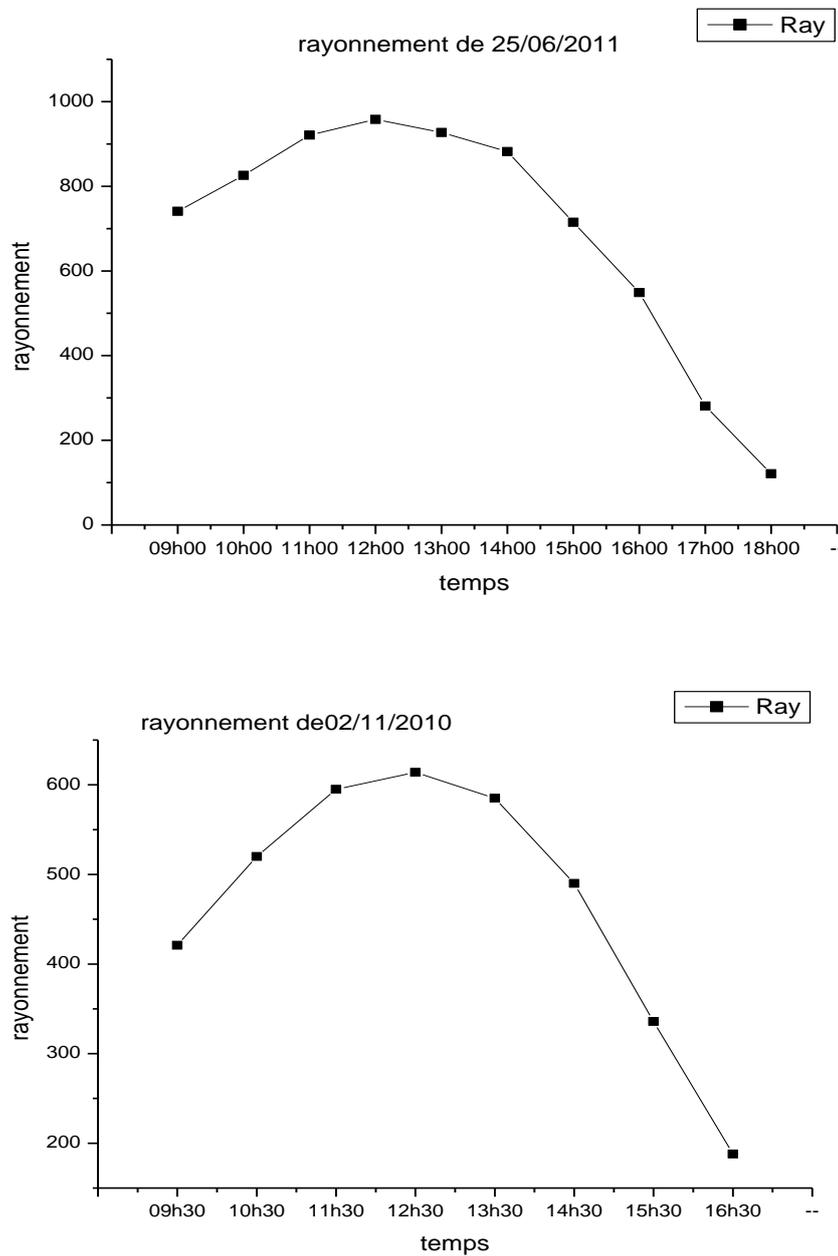
La figure IV-2 montre la distribution de vitesse dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites pour la journée du 25/06/2011.



Figure IV-2: la Distribution de vitesse dans le Séchoir N° I

IV-1-3-L'allure de rayonnement

Les figures IV-3 montrent l'allure du rayonnement, au cours de deux jours d'expérimentation



Figures IV-3: l'allure de rayonnement pour la journée (du 25/06/2011 et 02/11/2010)

IV-1-4-La distribution de température

La figure IV-4 montre la distribution de température dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites de la journée du 25/06/2011.

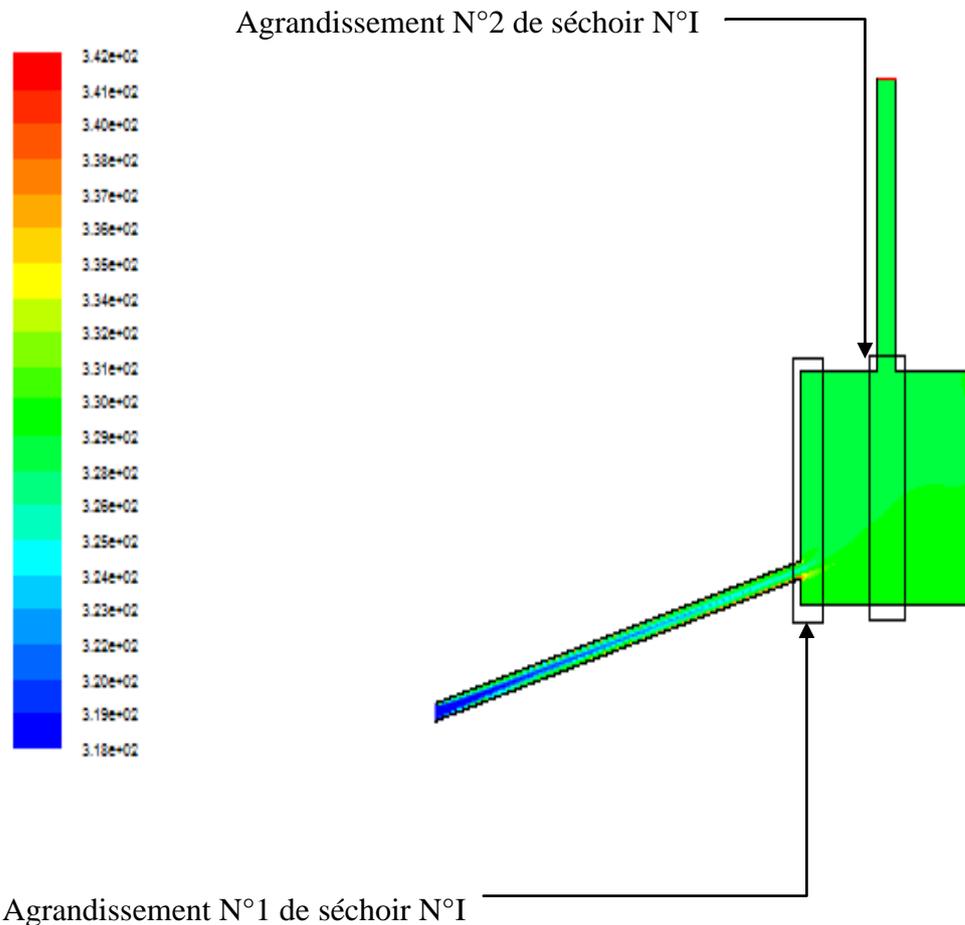


Figure IV-4: la Distribution de la température dans le Séchoir N° I

La distribution de température de séchoir à l'intérieur permet de constater une différence de température très légère.

On compare entre les résultats expérimentaux et les résultats de simulation Fluent côté sud de séchoir.

Chapitre IV | Simulation numérique du comportement du séchoir

Agrandissement N°1 de séchoir N°I

Un agrandissement de séchoir N° I côté sud pour comparer les valeurs des résultats expérimentaux avec les résultats de simulation numérique. On constate que les deux valeurs sont identiques.

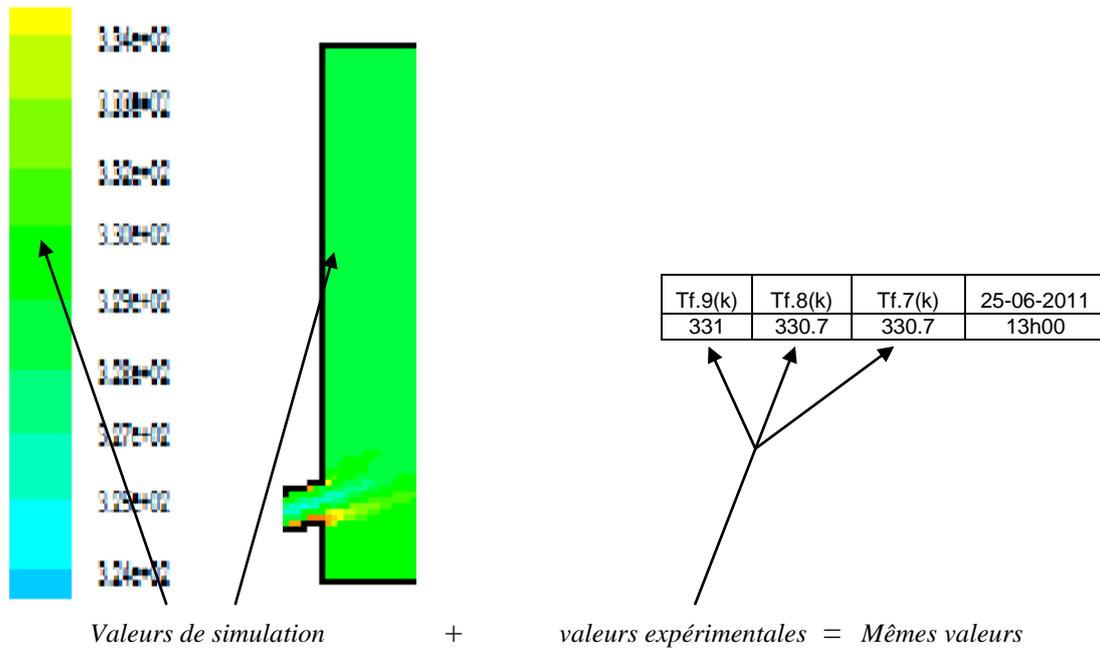


Figure IV-4-1: agrandissement de séchoir N° I **tableauxIV-1-1:** valeurs de température des valeurs de température cote Sud et les valeurs de température par simulation expérimental

Agrandissement N°2 de séchoir N°I

Un agrandissement de séchoir N° I côté EST pour comparer les valeurs des résultats expérimentaux avec les résultats de simulation numérique. On constate que les deux valeurs sont identiques.

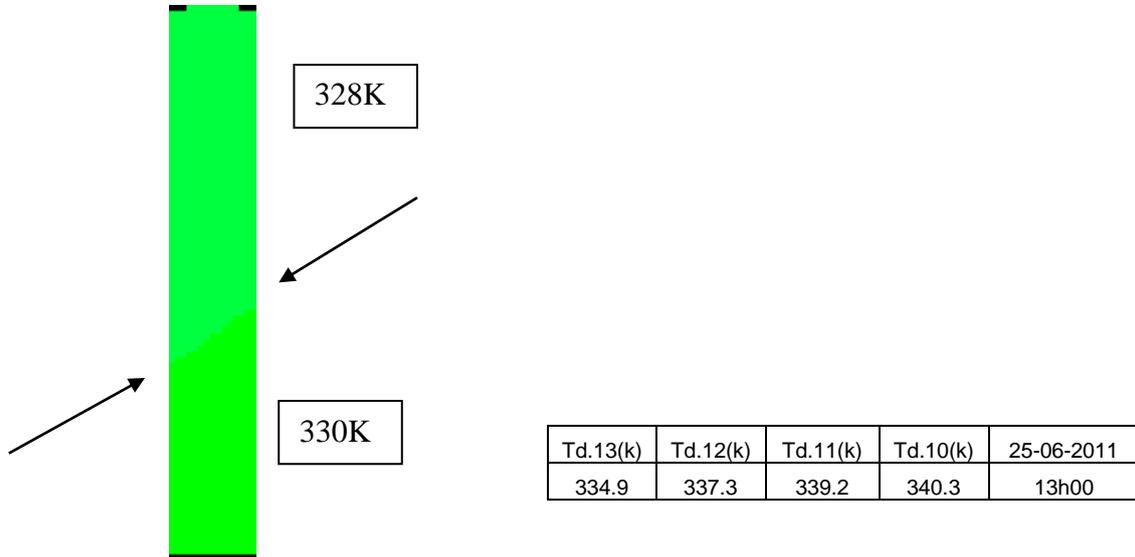


Figure IV-4-2: agrandissement de séchoir N° I **tableaux IV-1-2:** valeurs de côté EST des valeurs de température côté Est et les valeurs ex de température expérimental par simulation

Côté EST de séchoir solaire température en bas est:330K et 328K en haut.

Séchoir N° I-1

C'est le séchoir à l'état réel les dimensions sont réelles la longueur $L= 0,8m$, la largeur $H = 0,8m$ la hauteur de cheminée égale à $1m$ et le diamètre de cheminée $r = 0,085m$

IV-2-Les conditions aux limites la journée du 02/11/2010

journée	Vitesse(V) (m/s)	Tentrie(Tin) (K)	Taberbeur(Tab) (K)	Tvitre(Tv) (K)	Tsortie(Ts) (K)
02/11/2010	0.17	304.3	354.1	328.5	322.8

IV-2-1-La distribution de Pression

La figure IV-5 montre la distribution de pression dans le séchoir à l'état réelle pour les conditions aux limites durant la journée du 02/11/2010.

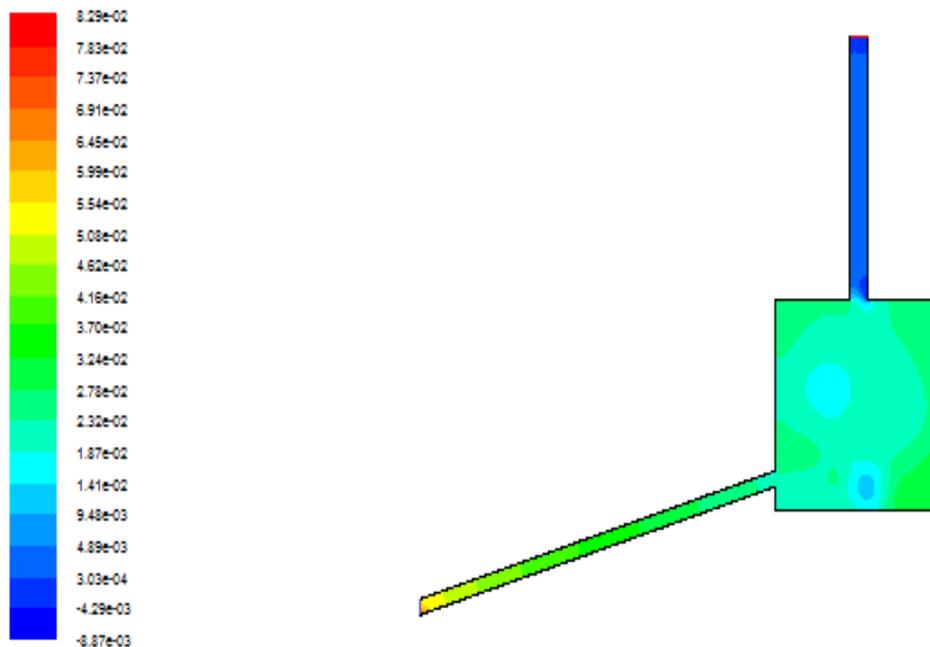


Figure IV-5: la distribution de pression dans le Séchoir N° I

Dans cette figure on constate que la distribution de pression dans le séchoir N°I une légère variation de pression au bas de séchoir N°I, la pression de cheminée elle atteint la valeur de 0,0087 atmosphère.

IV-2-2-La distribution de Vitesse

La figure IV-6 montre la distribution de vitesse dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites durant la journée du 02/11/2010.

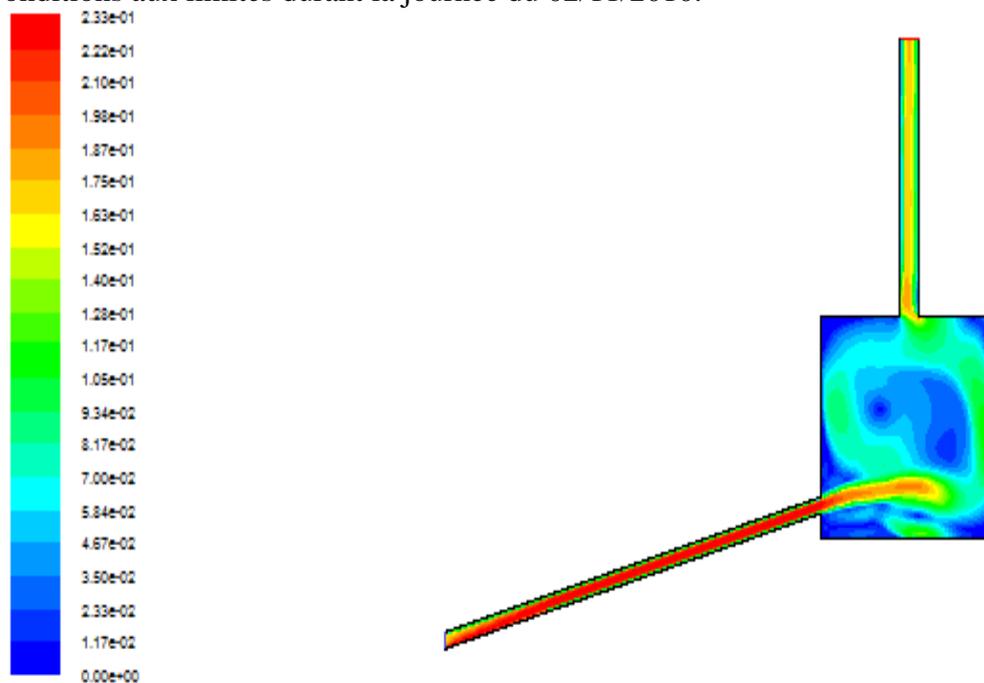


Figure IV-6: la distribution de vitesse Séchoir N° I

IV-2-3-L'allure de rayonnement

Les figures IV-7 montrent l'allure du rayonnement, au cours de deux jours d'expérimentation.

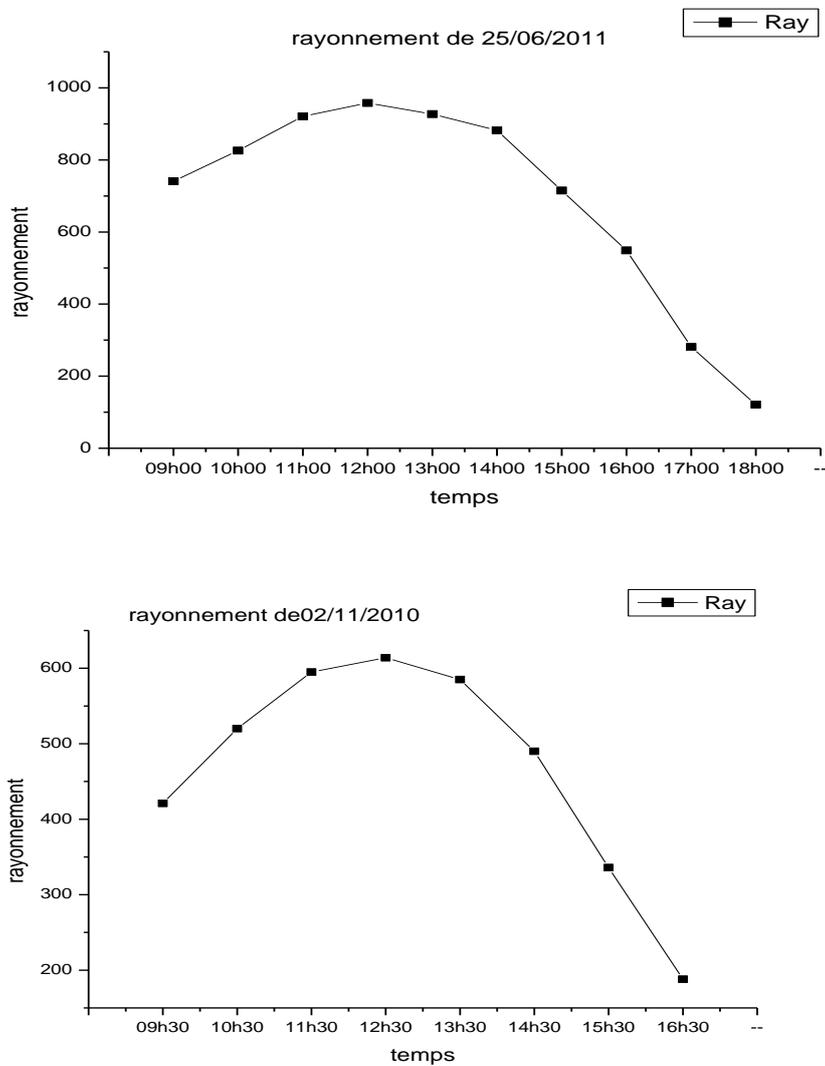
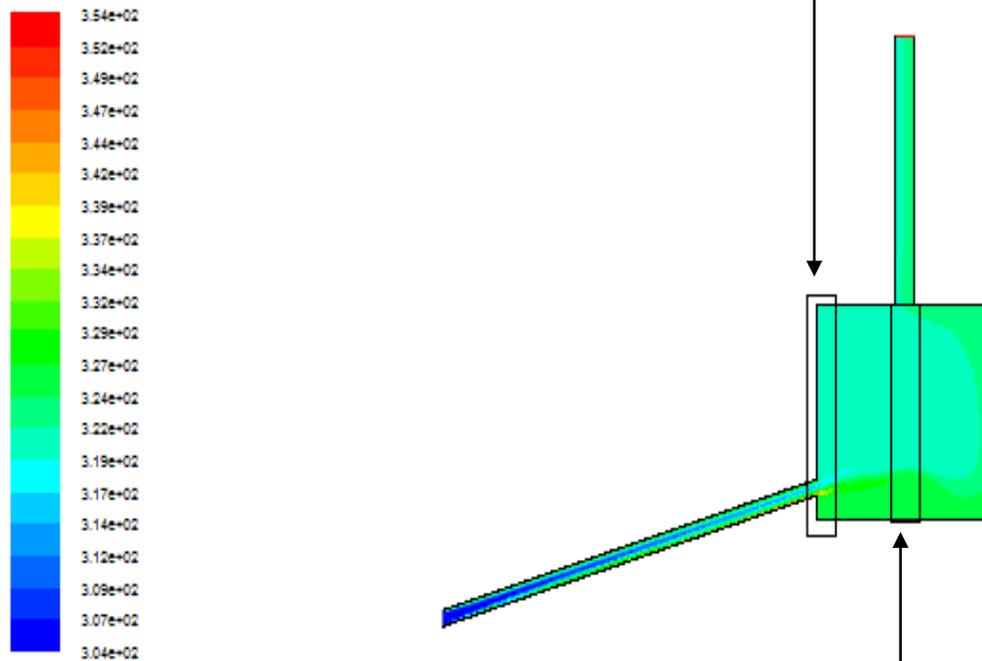


Figure IV-7: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

IV-2-4-La distribution de température

La figure IV-8 : présente la distribution de température dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites la journée du 02/11/2010.

Agrandissement N°1 de séchoir N°I



Agrandissement N°2 de séchoir N°I

Figure IV-8: la distribution de la température Séchoir N° I

Agrandissement N°1 de séchoir N°I

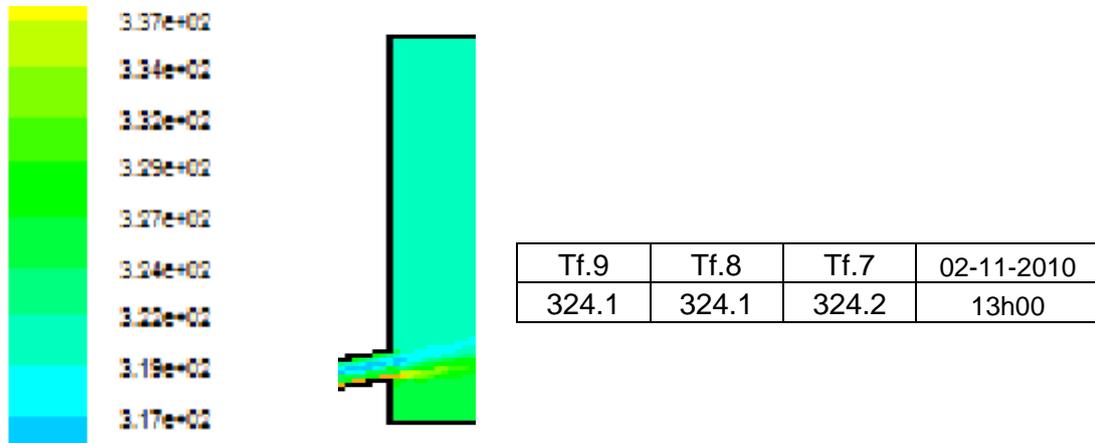
Un agrandissement de séchoir N° II côté sud pour comparer les valeurs de résultat expérimentaux avec les résultats de simulation numérique, on constate que les deux valeurs sont identiques.

Agrandissement N°2 de séchoir N°I

Un agrandissement de séchoir N° I côté EST pour comparer les valeurs des résultats expérimental avec les résultats de simulation numérique on constate que les deux valeurs sont identiques.

La distribution de température à tour de séchoir comme en intéresse à la visualisation de température à l'intérieur, on constate une différence de température très importante.

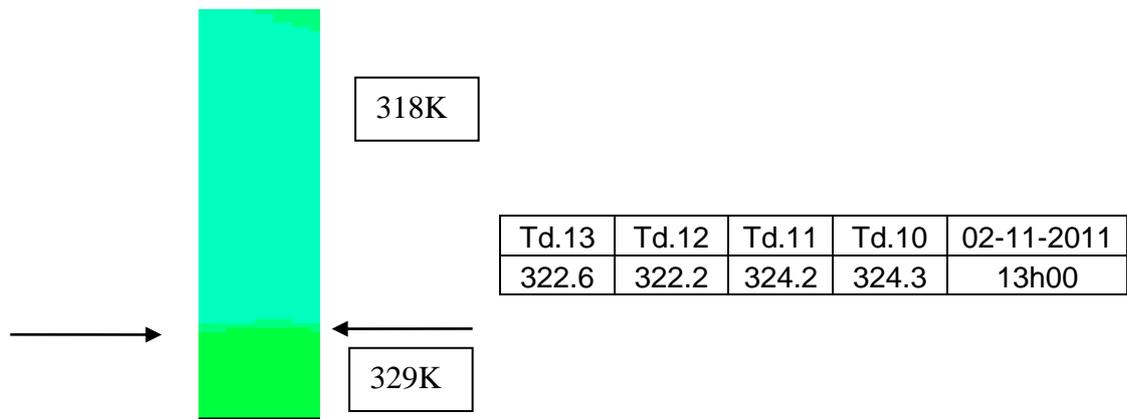
Chapitre IV | Simulation numérique du comportement du séchoir



des valeurs de température côté Est et les valeurs
Les mêmes valeurs

*Tableaux IV-2-1: valeurs de côté SUD
expérimental*

Figure IV-8-1: Agrandissement N°1 de séchoir N°1



Tableaux IV2.1.2: valeurs de côté EST expérimental

Figure IV-8-2: Agrandissement N°2 de séchoir N°1

Chapitre IV | Simulation numérique du comportement du séchoir

Côté EST de séchoir solaire la température en bas de séchoir c'est: 329K et 318K en haut de séchoir.

D'après les résultats expérimentaux, on a introduit les données expérimentales dans le simulateur fluent, les résultats obtenus de l'application et les résultats expérimentaux sont très proches, et lorsque la vitesse de l'air à l'intérieur du séchoir solaire augmente la température côté sud base.

Accumulation de la chaleur en bas de séchoir, la figure IV-8 indique la circulation de l'air chaud sous forme d'un cercle, en bas de séchoir la chaleur est très importante, par contre la chaleur est moins chaude au-dessus du séchoir.

IV-3-Deuxième configuration

IV-3-1-simulation en 3 dimensions la journée du 25/06/2011

La figure IV-7-1,2 montre la distribution de température dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites la journée du 25/06/2011 pour les deux côtés EST et OUEST.

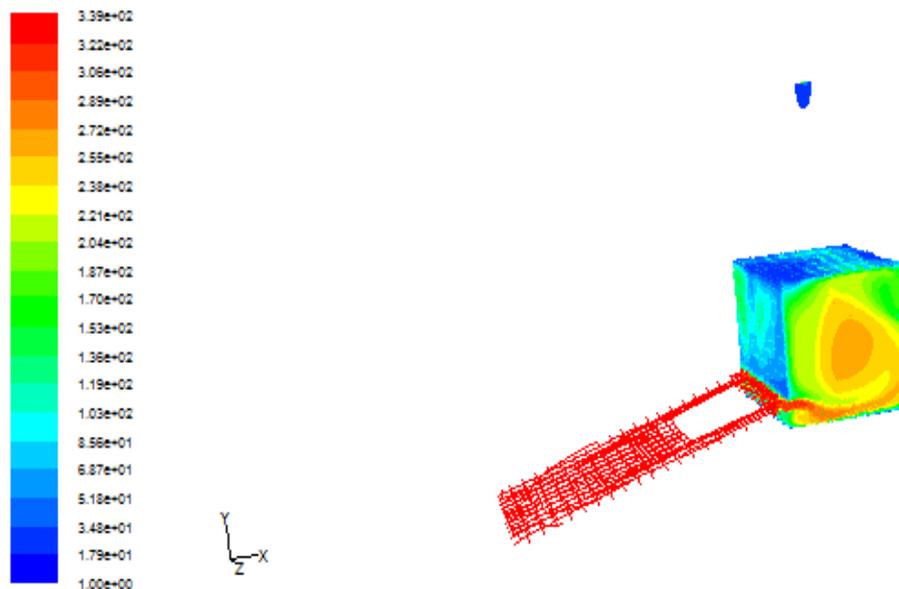


Figure IV-7-1: la distribution de la température en 3 dimensions côté EST de Séchoir N° 1

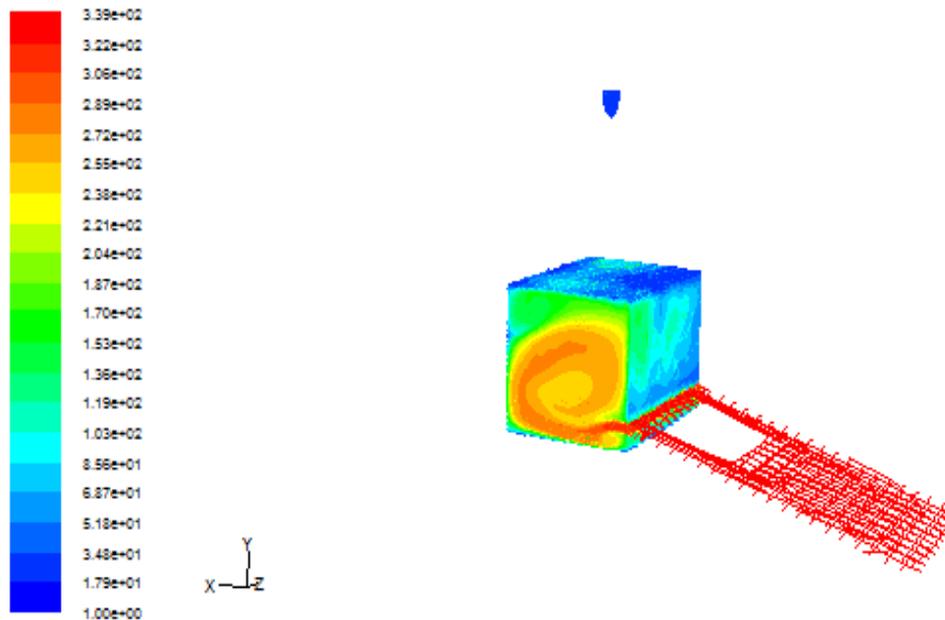


Figure IV-7-2: la distribution de la température en 3dimension cote OUEST de Séchoir N° I

Une vue de 3 dimensions de séchoir montre une circulation de l'air chaud en bas de séchoir vers le haut, elle forme un cercle au centre, la température au centre est plus élevée que le périmètre.

IV-3-2-simulation en 3dimensions Journée du 02-11-2010

La figure IV-5-3;4 montrent la distribution de température dans le séchoir à l'état réel pour les conditions aux limites la journée du 02/11/2010 pour les deux côté EST et OUEST. .

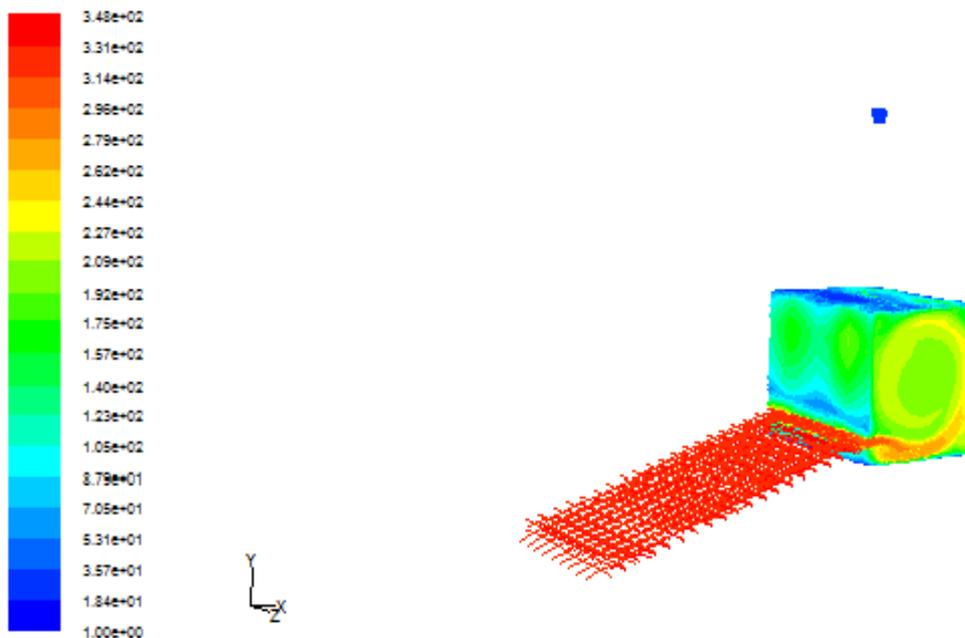


Figure IV-7-3: la distribution de la température en 3dimension cote EST de Séchoir N° I

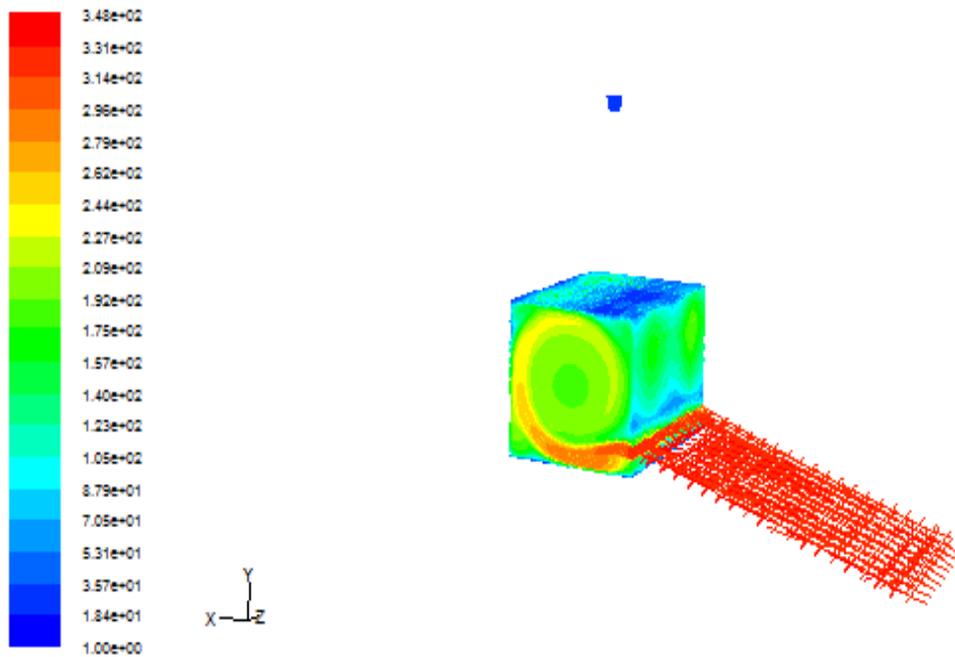


Figure IV-7-4: la distribution de la température en 3 dimensions côté Ouest du Séchoir N° I

Les figures IV-7-3 et 4: sont des figures en 3 dimensions côté Est et Ouest du séchoir. On observe un flux de température chaude à l'entrée et en bas du séchoir. Le flux de température se dégrade selon la circulation de l'air, mais cette dégradation de température est rapide par rapport à la figure IV-7-1 et 2 du centre du cercle. D'après les quatre figures le logiciel fluent nous indique une zone froide; cette zone constitue le côté Nord du séchoir solaire.

Les résultats numériques (fluent) nous donnent une idée sur la distribution de la température et la circulation du flux de la chaleur. Ces résultats nous conduisent donc à faire des changements géométriques de notre dispositif pour obtenir une distribution de température homogène.

Chapitre: V

Simulation
numérique des
modifications
conceptuelles à
prévoir

Chapitre V | Simulation numérique des modifications conceptuelles à prévoir

Dans ce chapitre, on va changer la forme du séchoir; ce changement touchera:

1. La hauteur —————> séchoir II.
2. La largeur —————> séchoir III.
3. L'angle —————> séchoir IV.
4. Le diamètre de la cheminée —————> séchoir V.

Après les résultats et discussion, une forme idéale pour sécher le produit d'une façon homogène et à des bonnes qualités sera déterminée.

V-1-Différentes configurations considérées

V-1-1-Effet du facteur de forme ($A=H/L$)..... Séchoir II

V-1-1-1- Variation de la hauteur

Dans l'état réel, L et H égal à 0,8 mètre donc $A = 1$ pour le 1^{er} cas, on va changer la hauteur $H = 1,3\text{m}$ donc $A = 1,625$ une élévation de 0,5 m.

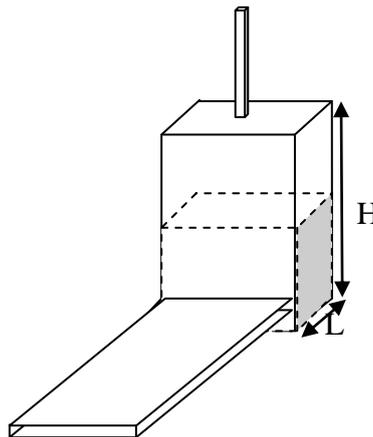


Figure V-1: Variation de la hauteur ($A=H/L$)

V-1-1-2- Variation de la largeur..... Séchoir III

2^{eme} cas, on va changer la largeur $L = 1,5\text{m}$ donc $A = 0,533$ une extension de 0,7 m de largeur.

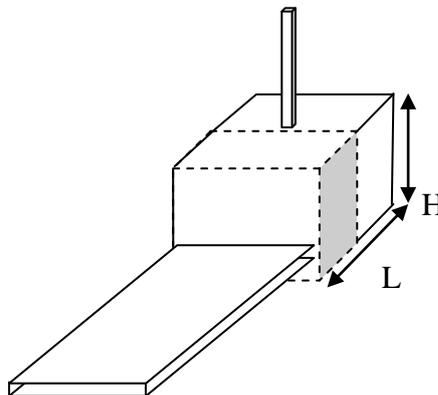


Figure V-2: Variation de la largeur ($A=H/L$)

V-1-2- Effet de la géométrie d'échappement de l'air sans modification des dimensions de la cheminée Séchoir IV

3^{ème} cas, on va changer l'angle de coude dans l'état initial $\theta = 90^\circ$. On va changer l'angle de coudage à $\theta = 45^\circ$.

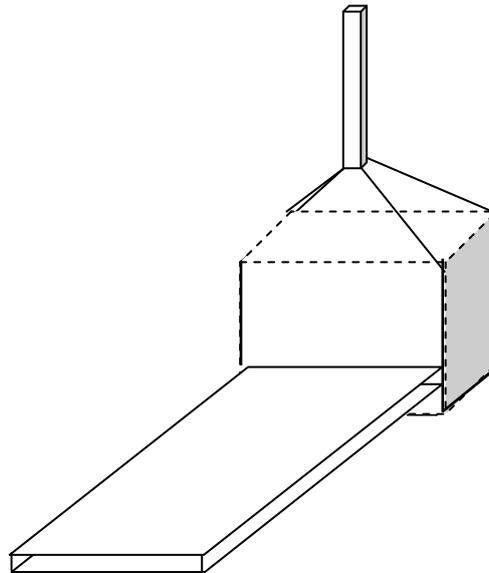


Figure V-3: Variation de la géométrie

V-1-3- Effet de la section de la cheminée d'évacuation Séchoir V

4^{ème} cas, on va changer le rayon de cheminée dans l'état initial $r = 0,085\text{m}$ et on va changer le rayon de cheminée à $r = 0,15\text{m}$.

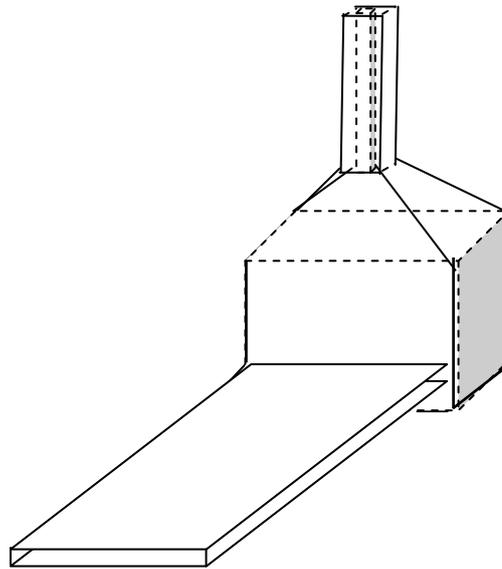


Figure V-4: Variation de la section de cheminée

V-2: Effet du facteur de forme ($A=H/L$)

V-2-1- Variation de la hauteur

le 1^{er} cas on va changer la hauteur $L= 1,3\text{m}$, la largeur $H = 0,8\text{m}$, la hauteur de cheminée est égale à 1m , codage $\theta = 90^\circ$ et le diamètre de cheminée $r = 0,085\text{m}$

Dans l'état réel, L et H égal à $0,8$ mètre donc $A = 1$. Pour le 1^{er} cas, on va changer la hauteur $H = 1,3\text{m}$ donc $A = 1,625$ une élévation de $0,5$ m.

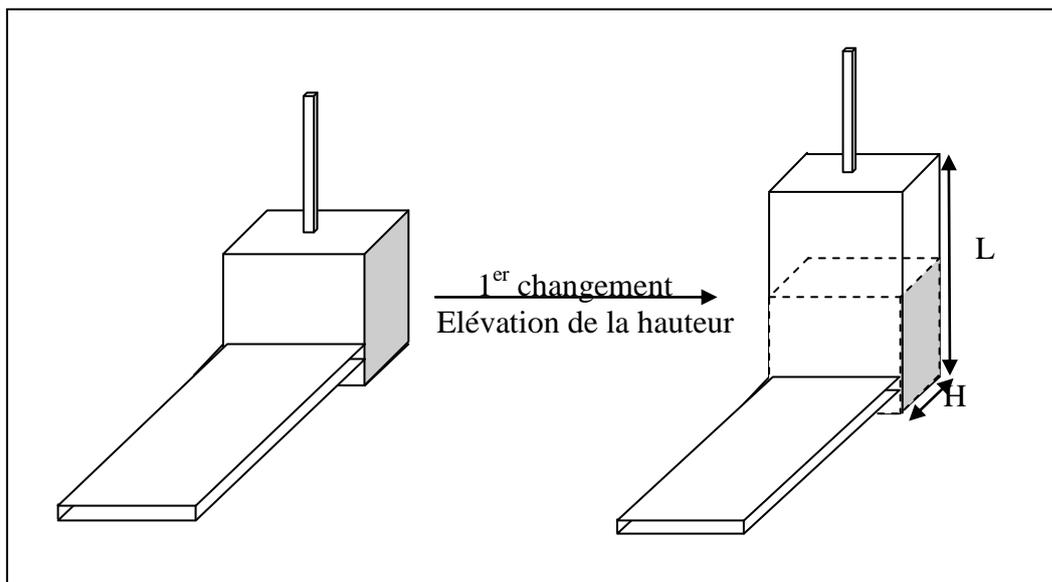


Figure V-5: Changement de la hauteur de séchoir

Les conditions aux limites (la journée du 02/11/2010)

journée	Vitesse (V)	T _{entrée} (Tin)	T _{absorbeur} (Tab)	T _{vitre} (Tv)	T _{sortie} (Ts)
02/11/2010	0,17	304,3	354,1	328,5	322,8

Après la convergence par le simulateur, on a eu les trois graphes : pression, vitesse et température

V-2-2-L'allure de rayonnement

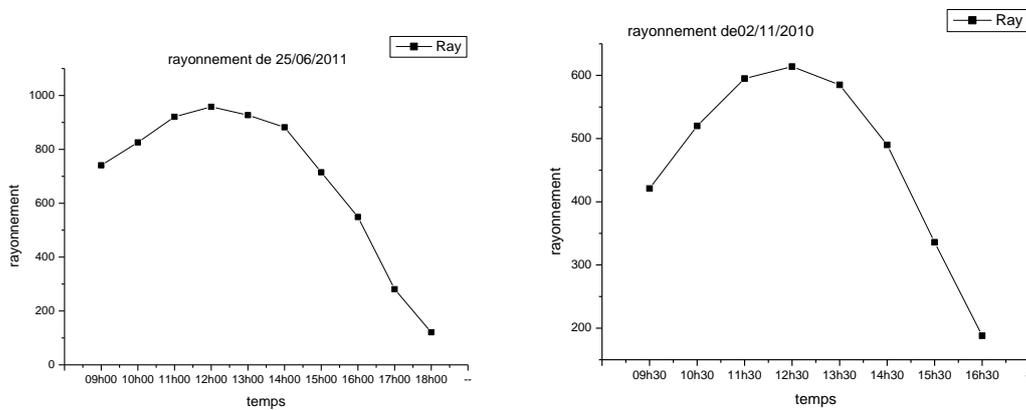


Figure V-6: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-2-3-Présentation graphique de Température

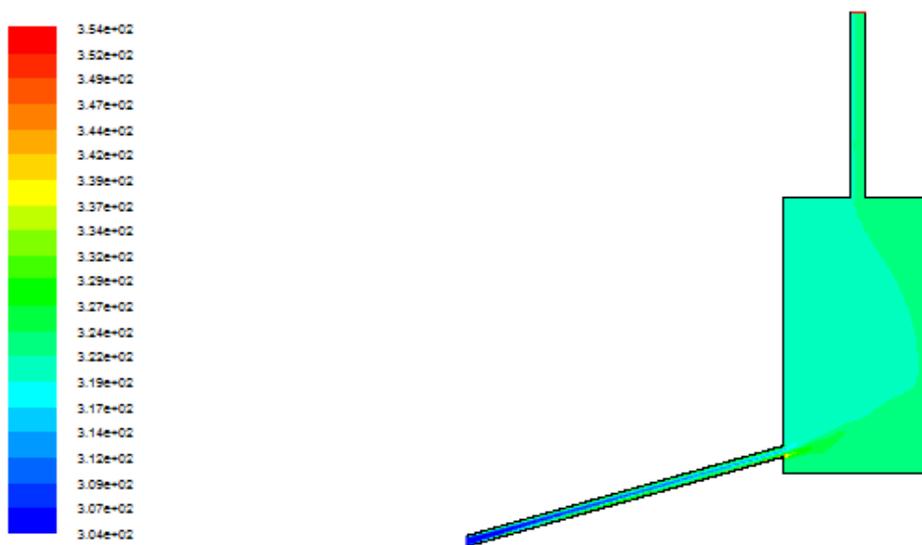


Figure V-7: la distribution de température séchoir N° II

Chapitre V | Simulation numérique des modifications conceptuelles à prévoir

La distribution de température consiste deux intervalles: le plus chaud, c'est le bas et côté NORD. Cette valeur est de $T = 329 \text{ }^\circ\text{K}$ et $T = 219 \text{ }^\circ\text{K}$, et le plus bas c'est le côté SUD de séchoir.

Les conditions aux limites durant la journée du 08/11/2010

journée	Vitesse (V) (m/s)	$T_{\text{entrée}} (T_{\text{in}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{absorbeur}} (T_{\text{ab}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{vitre}} (T_{\text{v}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{sortie}} (T_{\text{s}})$ ($^\circ\text{K}$)
08/11/2010	0,36	304,1	348	323	313

V.2.4 L'allure de rayonnement

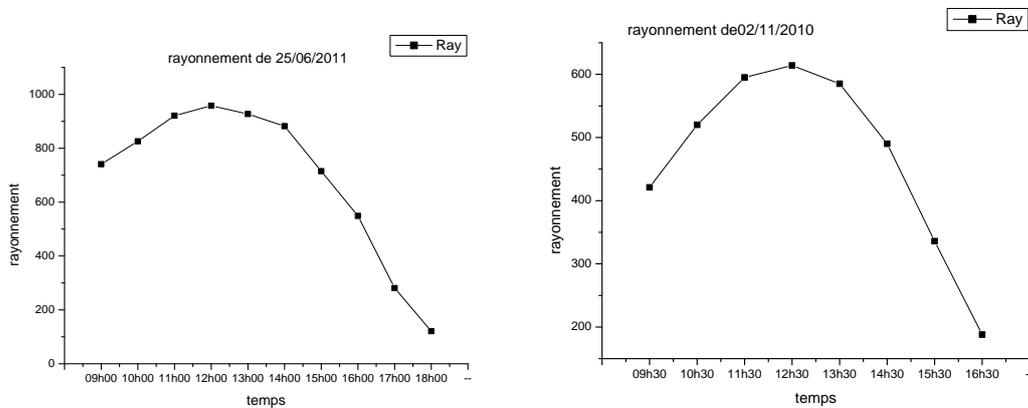


Figure V.8: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-2-5-Présentation graphique de température

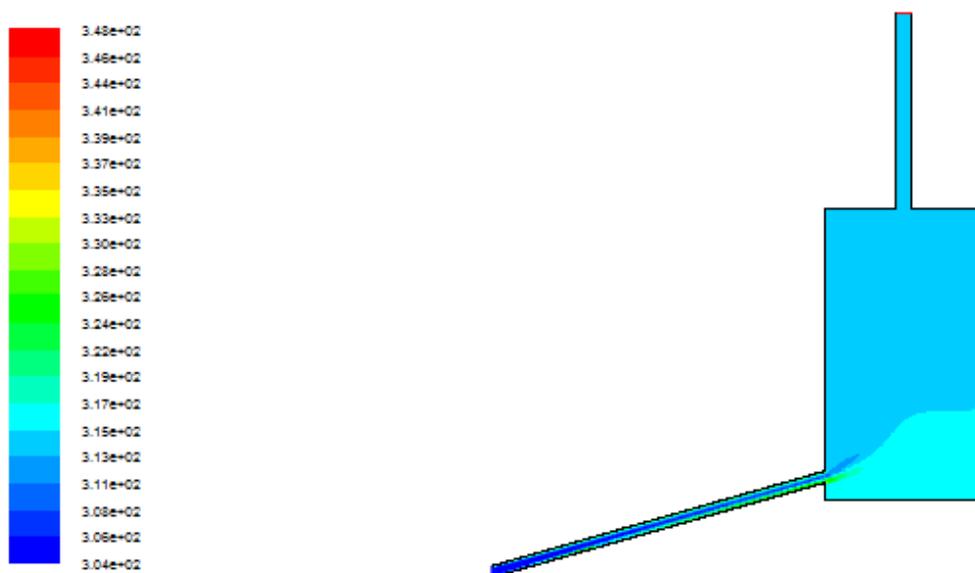


Figure V-9: la distribution de température Séchoir N° II

La distribution de température elle est presque homogène de $T = 315 \text{ }^\circ\text{K}$.

Les conditions aux limites durant la journée du 25/06/2011

journée	Vitesse (V) (m/s)	$T_{\text{entrée}} (T_{\text{in}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{absorbeur}} (T_{\text{ab}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{vitre}} (T_{\text{v}})$ ($^\circ\text{K}$)	$T_{\text{sortie}} (T_{\text{s}})$ ($^\circ\text{K}$)
25/06/2011	0,16	318	342	337,3	318,5

V.2.6 L'allure de rayonnement

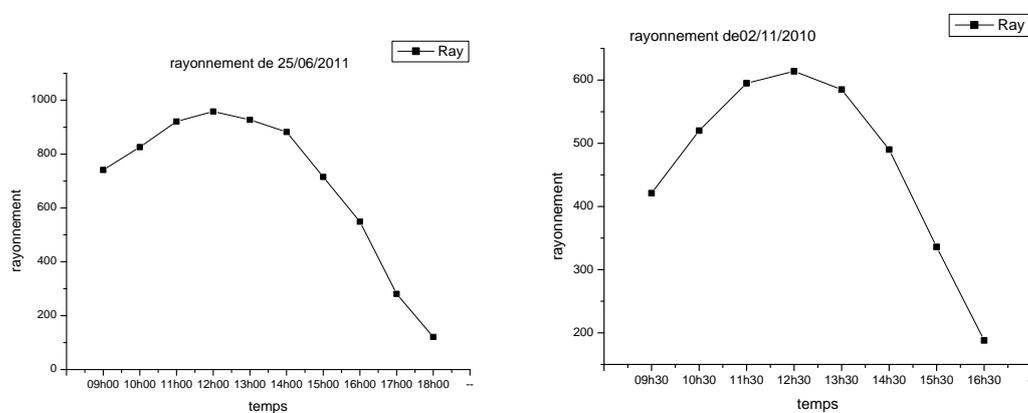


Figure V-10: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-2-7 Présentation graphique de température

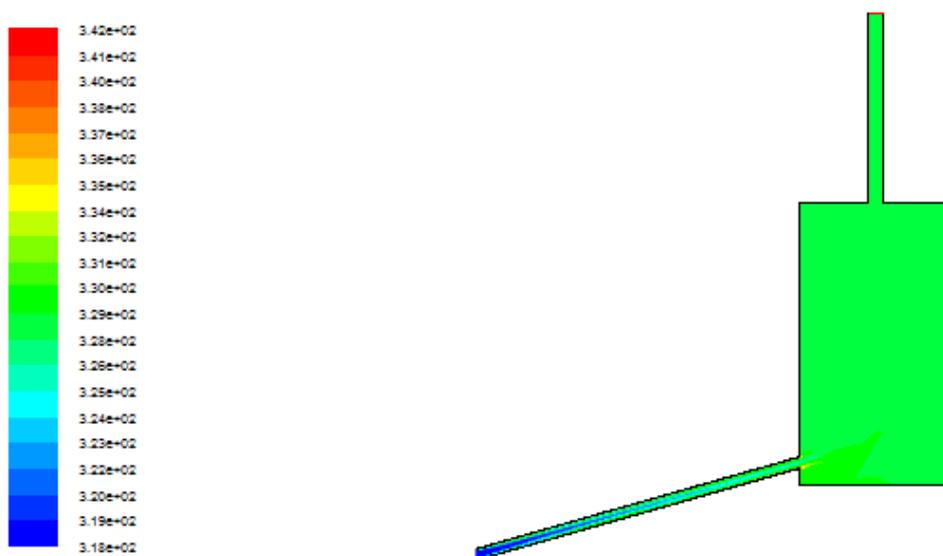


Figure V-11: la distribution de température Séchoir N° II

La distribution de température est homogène de $T = 330 \text{ °K}$.

- ✓ L'effet de la hauteur permet de séparer le séchoir en deux zones : une zone chaude et l'autre froide pour les journées 02-08/11/2010; par contre les conditions aux limites de la journée 25/06/2011, nous donne une distribution de température homogène dans le séchoir N°II.

V-3-Séchoir N°III:

Les dimensions sont la longueur $L = 0,8\text{m}$, la largeur $H = 1,5\text{m}$, la hauteur de cheminée est égale à 1m , cou dage $\theta = 90^\circ$ et le diamètre de cheminée $r = 0,085\text{m}$

V-3-Effet du facteur de forme ($A=H/L$)

V-3-1- Variation de la largeur

le 2^{ème} cas, on va changer la largeur $H = 1,5\text{m}$, la hauteur $L = 0,8\text{m}$, la hauteur de cheminée égale à 1m , cou dage $\theta = 90^\circ$ et le diamètre de la cheminée $r = 0,085\text{m}$

Dans l'état réel, L et H sont égaux à $0,8$ mètre ; donc $A = 1$. Pour le 2^{ème} cas, on va changer la largeur $L = 1,5\text{m}$ donc $A = 0,533$ un élargissement de $0,7$ m.

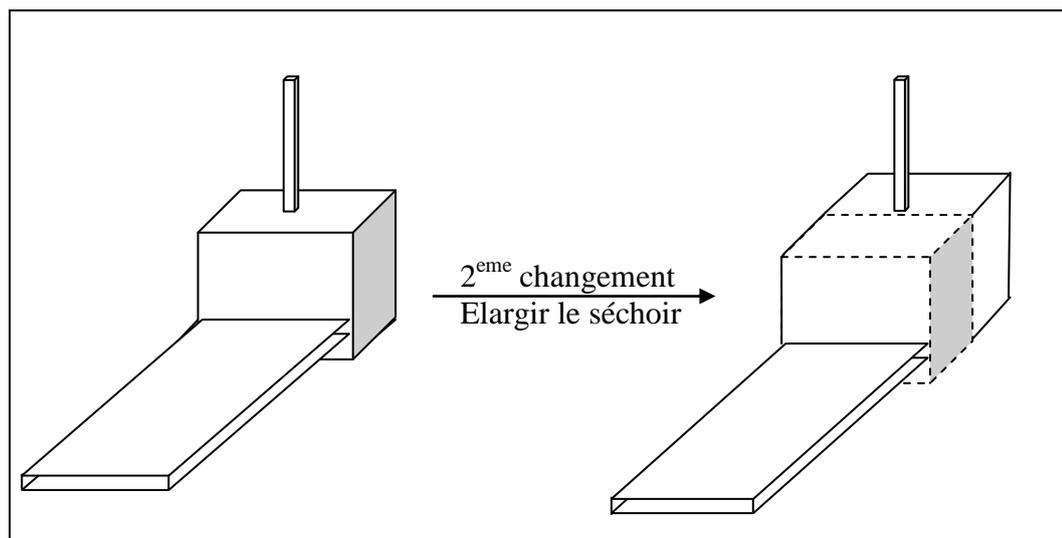


Figure V-12: Changement de la largeur de séchoir (séchoir N°III)

Les conditions aux limites durant la journée du 08/11/2010

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (°K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (°K)	T _{vitre} (T _v) (°K)	T _{sortie} (T _s) (°K)
08/11/2010	0.36	304.1	348	323	313

V-3-2-L'allure de rayonnement

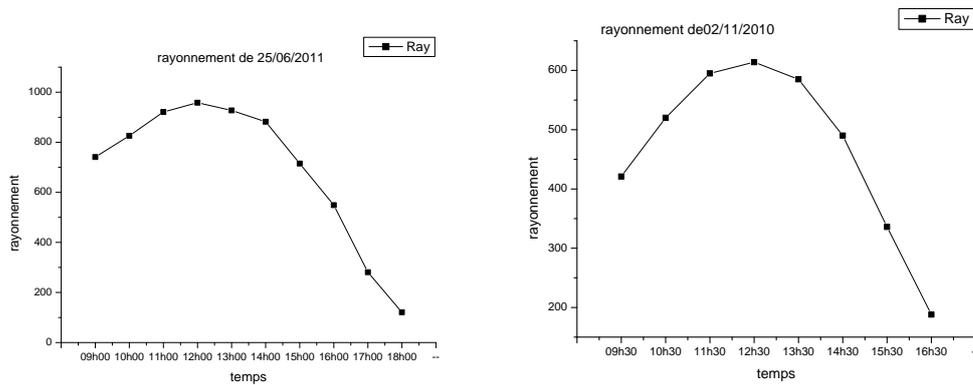


Figure V-13: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-3-3-Présentation graphique de température

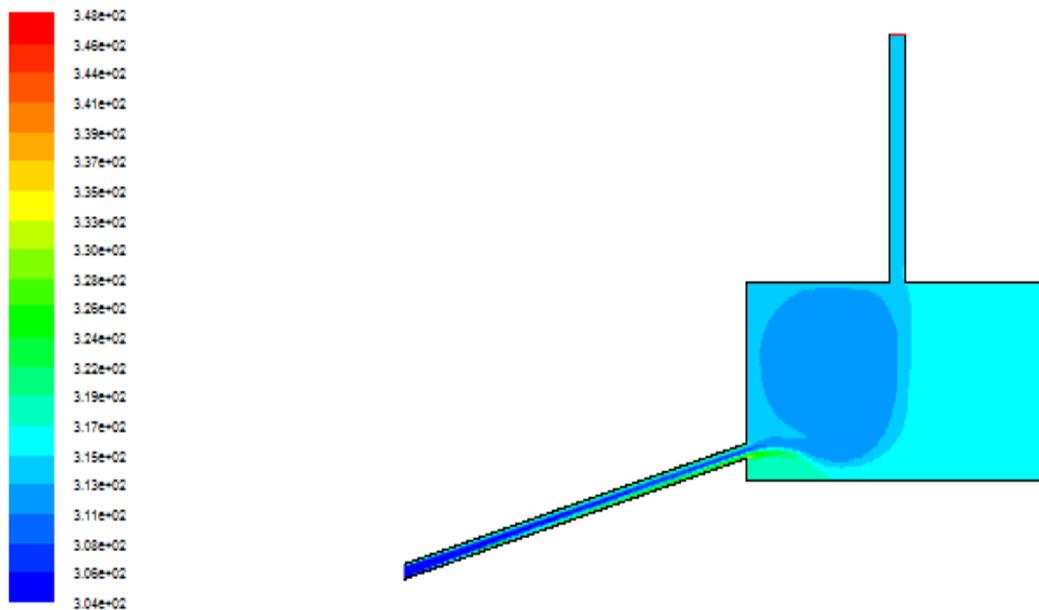


Figure V-14: la distribution de température Séchoir N° III

Chapitre V | Simulation numérique des modifications conceptuelles à prévoir

La distribution de température diffusée en deux zones 01 $T = 311^{\circ}\text{K}$, côté gauche de cheminée et zone 02 ; coté droit cheminée $T = 317^{\circ}\text{K}$.

Les conditions aux limites durant la journée du 25/06/2011

journée	Vitesse (V) (m/s)	$T_{\text{entrée}} (T_{\text{in}})$ ($^{\circ}\text{K}$)	$T_{\text{absorbeur}} (T_{\text{ab}})$ ($^{\circ}\text{K}$)	$T_{\text{vitre}} (T_{\text{v}})$ ($^{\circ}\text{K}$)	$T_{\text{sortie}} (T_{\text{s}})$ ($^{\circ}\text{K}$)
25/06/2011	0,16	318	342	337,3	318,5

V-3-4- L'allure de rayonnement

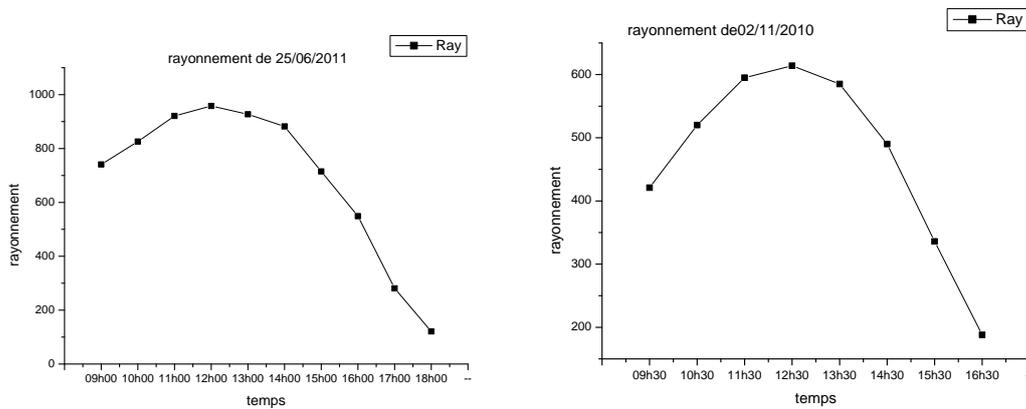


Figure V-15: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-3-5-Présentation graphique de température

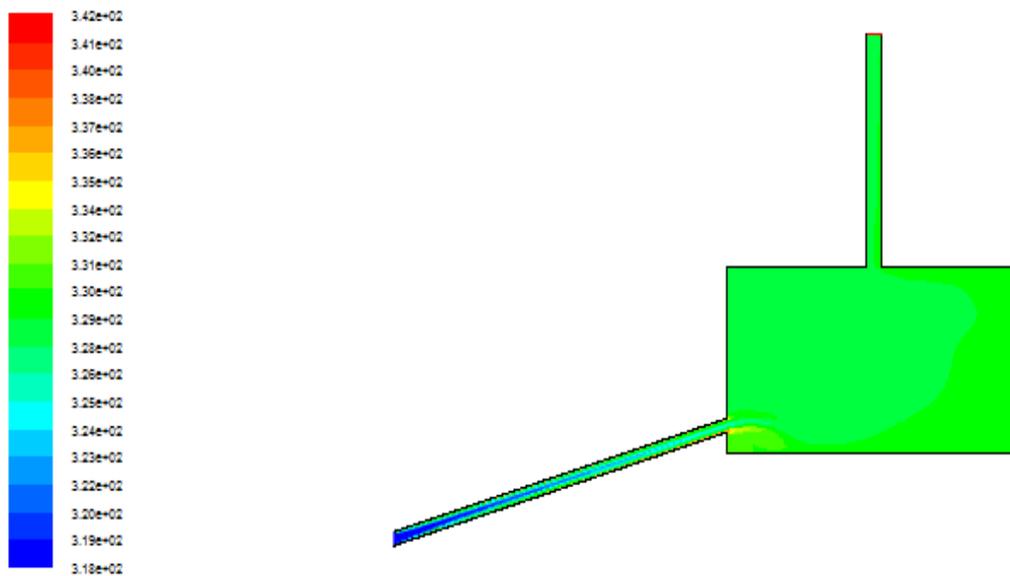


Figure V.16: la distribution de température séchoir N° III

La distribution de température est homogène, d'une valeur $T = 330^{\circ}\text{K}$.

V-4-Séchoir N°IV

V-4-1- Variation de la forme

Le 3^{ème} cas, on va changer l'angle de toit de séchoir 90° (coude), largeur H = 0,8m, la hauteur L= 0,8m, codage $\theta = 45^\circ$. La hauteur de la cheminée est égale à 1m, et le diamètre de cheminée r = 0,085m

longueur L= 0,8m, la largeur H = 0,8m, la hauteur de la cheminée est égale à 1m, codage $\theta = 45^\circ$ et le diamètre de la cheminée r = 0,085m

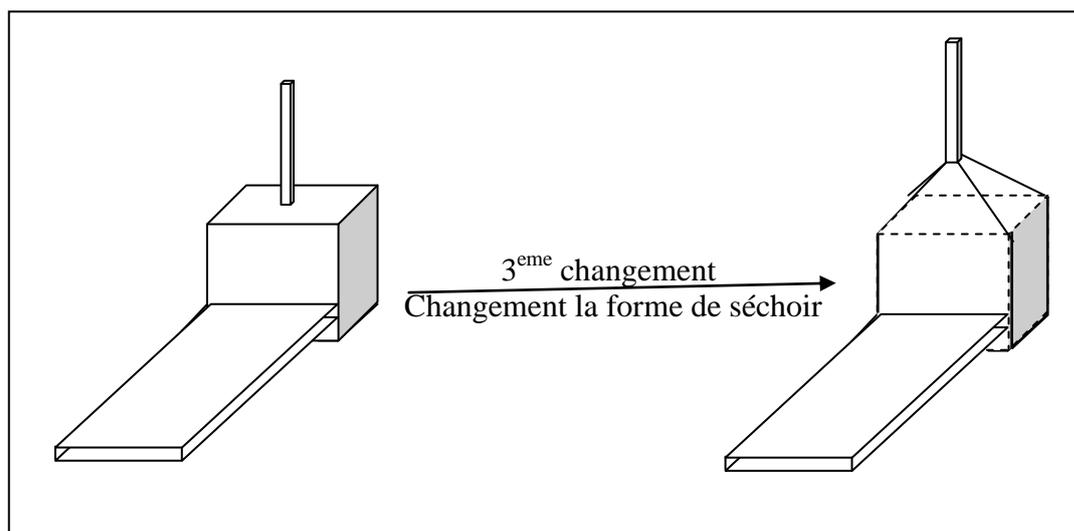


Figure V-17: Changement de la hauteur de séchoir

Les conditions aux limites durant la journée du 02/11/2010

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (Tin) (°K)	T _{absorbeur} (Tab) (°K)	T _{vitre} (Tv) (°K)	T _{sortie} (Ts) (°K)
02/11/2010	0,17	304,3	354,1	328,5	322,8

V-4-2-L'allure du rayonnement

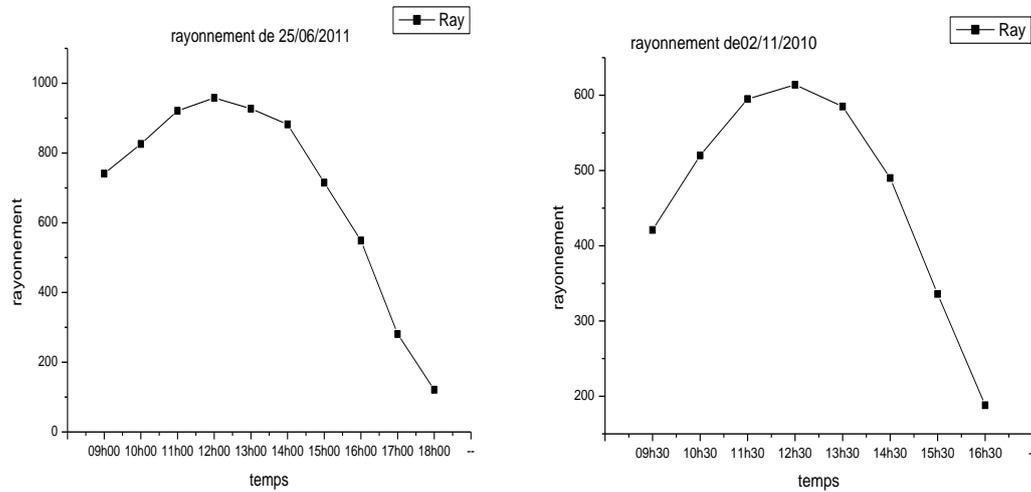


Figure V.18: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-4-3-Présentation graphique de la température

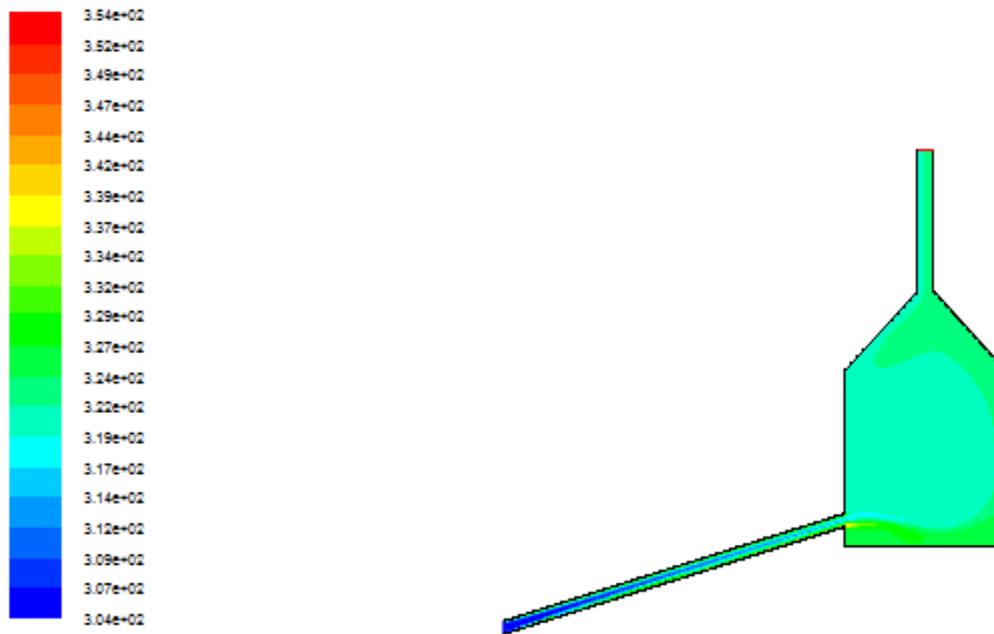


Figure V.19: la distribution de la température séchoir N° IV

La distribution de température est homogène dans l'intervalle $T = 322 \text{ °K}$ et $T = 329 \text{ °K}$.

Les conditions aux limites durant la journée du 25/06/2011

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (°K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (°K)	T _{vitre} (T _v) (°K)	T _{sortie} (T _s) (°K)
25/06/2011	0,16	318	342	337,3	318,5

V.4.4.L'allure de rayonnement

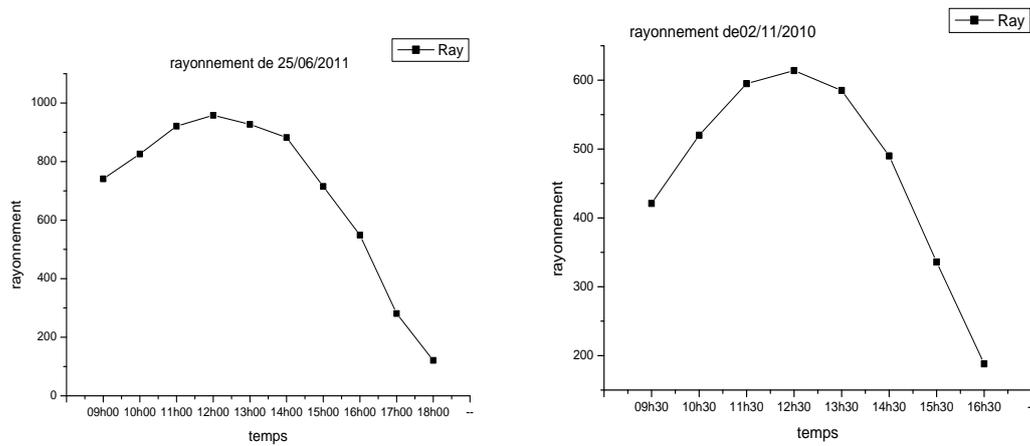


Figure V-20: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-4-5-Présentation graphique de la température

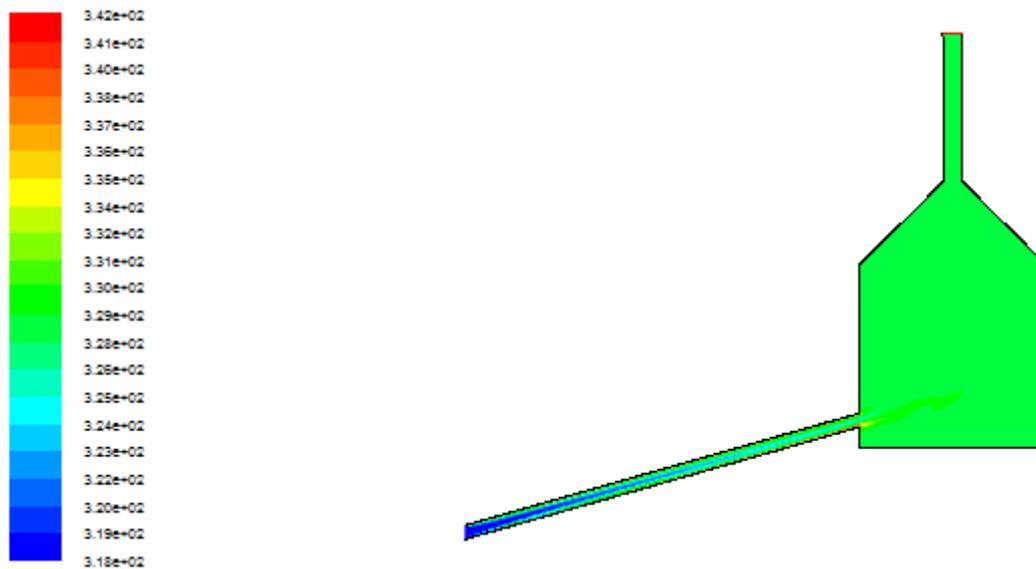


Figure V-21: la distribution de la température séchoir N° IV

La distribution de température est totalement homogène dans l'intervalle T = 331 °K.

- ✓ L'effet du changement de l'angle (coude), donne une distribution totalement homogène dans le séchoir
- ✓ On a aperçu que la vitesse diminue $V = 0,16\text{m/s}$, l'homogénéité de la distribution de la température est partielle. La circulation de la chaleur autour de séchoir, est demi-cercle.

V-5-Séchoir N°V

V-5-1- Variation de la sortie de séchoir

Le 4^{ème} cas, on va changer le diamètre de la cheminée (r) d'une section $r = 0.085\text{m}$ à une section plus grande $r = 0,15\text{m}$, largeur $H = 0,8\text{m}$, la hauteur $L = 0,8\text{m}$, coudage $\theta = 45^\circ$ la hauteur de cheminée égale à 1m .

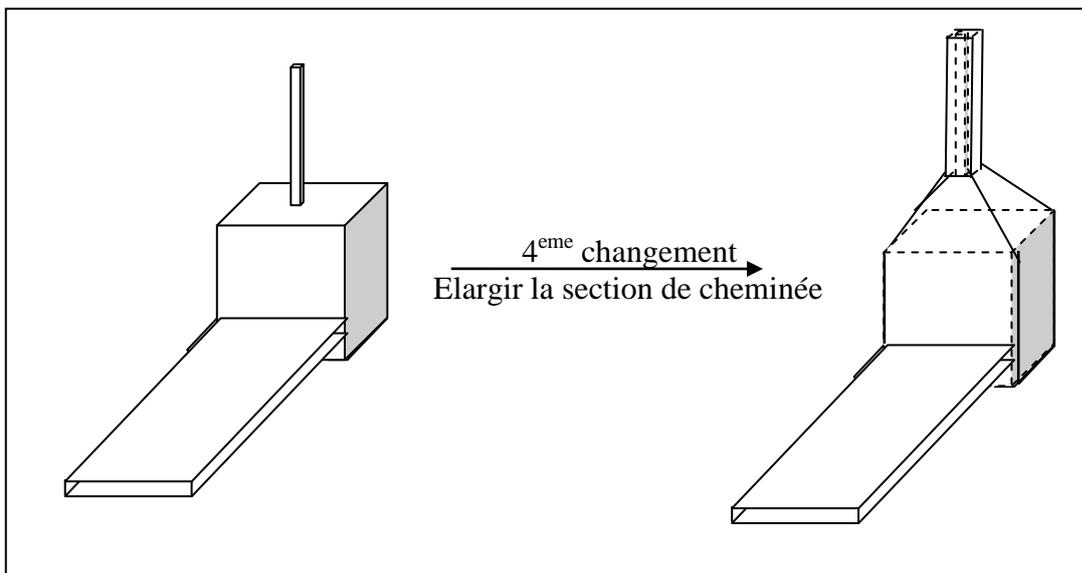


Figure V-22: Changement de la section de cheminée

Les conditions aux limites durant la journée du 25/06/2011

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (°K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (°K)	T _{vitre} (T _v) (°K)	T _{sortie} (T _s) (°K)
25/06/2011	0.16	318	342	337.3	318.5

V-5-2-L'allure du rayonnement

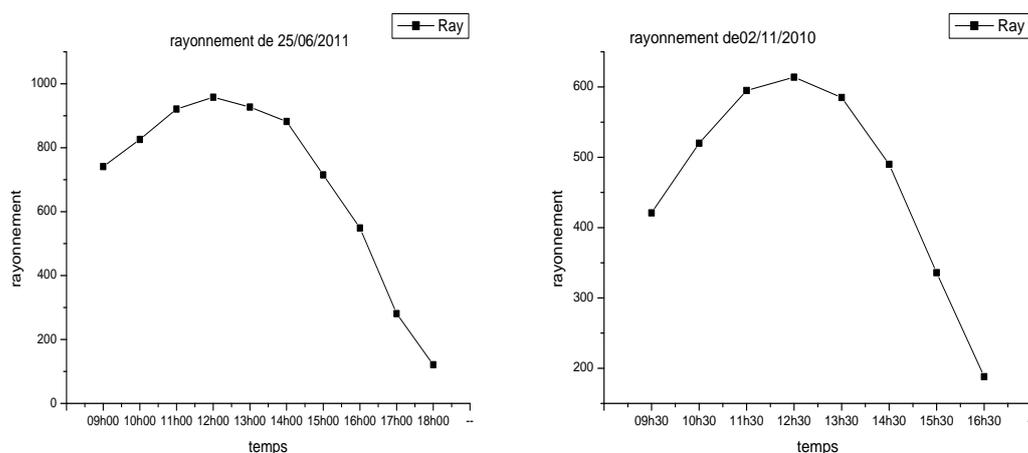


Figure V-23: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-5-3-Présentation graphique de la température

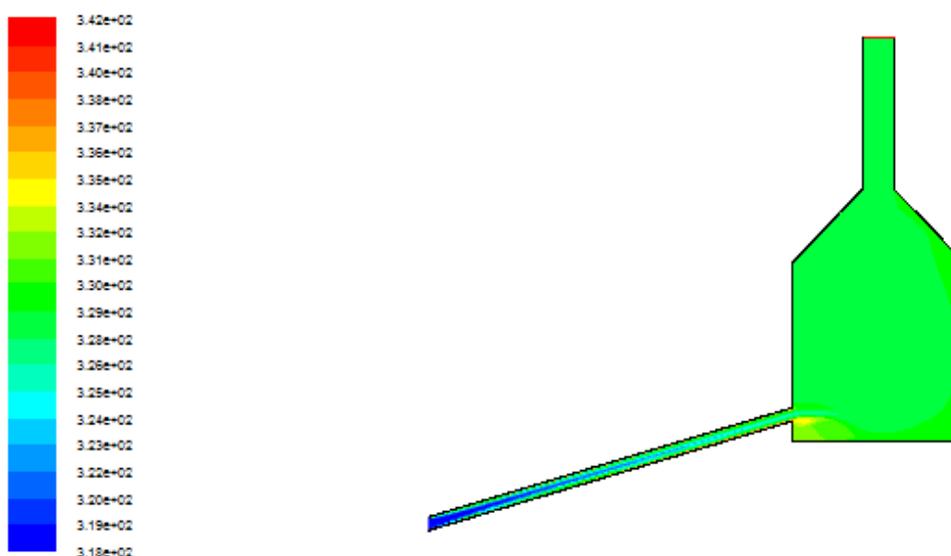


Figure V-24: la distribution de la température séchoir N° V

La distribution de température est totalement homogène dans l'intervalle

T = 330 °K.

Les conditions aux limites durant la journée du 02/11/2010

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (°K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (°K)	T _{vitre} (T _v) (°K)	T _{sortie} (T _s) (°K)
02/11/2010	0,17	304,3	354,1	328,5	322,8

V-5-4-L'allure du rayonnement

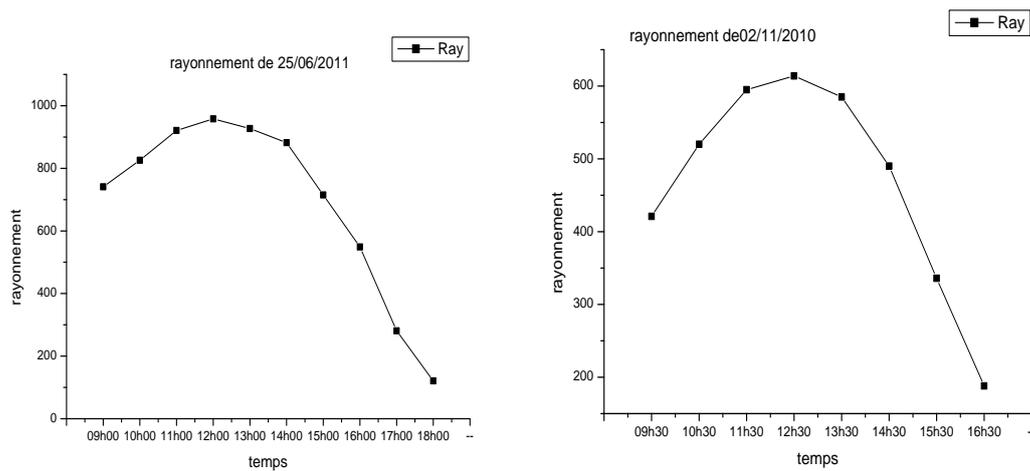


Figure V-25: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-5-5-Présentation graphique de la température

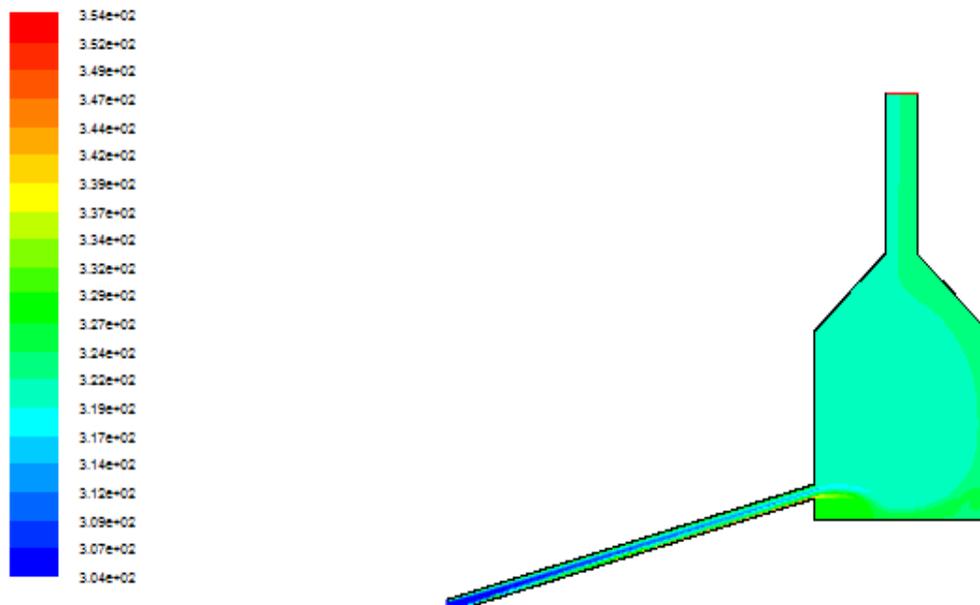


Figure V-26: la distribution de la température séchoir N° V

Les conditions aux limites durant la journée du 25/06/2011

journée	Vitesse (V) (m/s)	T _{entrée} (T _{in}) (°K)	T _{absorbeur} (T _{ab}) (°K)	T _{vitre} (T _v) (°K)	T _{sortie} (T _s) (°K)
25/06/2011	0.16	318	342	337.3	318.5

V-5-6-L'allure du rayonnement

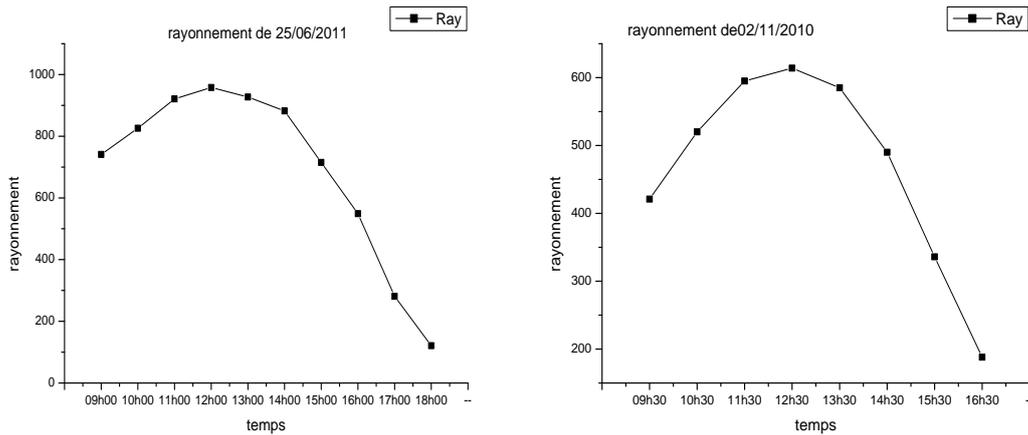


Figure V-27: la variation journalière de rayonnement solaire en fonction du temps.

V-5-7-Présentation graphique de la température

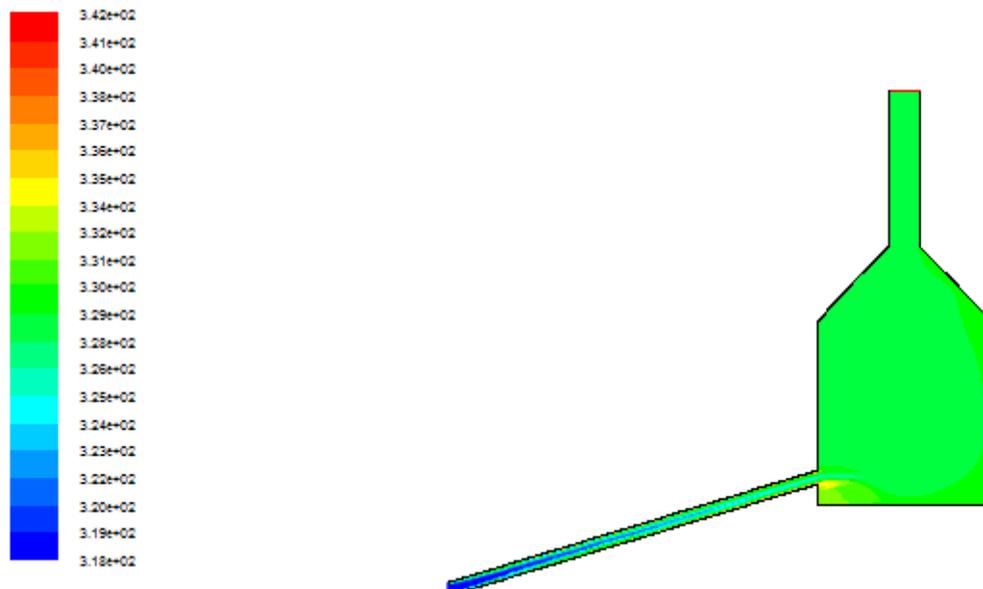


Figure V-28: la distribution de la température séchoir N° V

- ✓ L'effet de la cheminée conduit à éliminer les zones mortes, toujours pour une vitesse $V = 0,17$.

Conclusion générale

La présente étude a fait l'objet d'une investigation expérimentale d'un séchoir solaire indirect non ventilé afin de détecter les anomalies en distribution de températures et de proposer des solutions sous forme de modifications conceptuelles basées sur une étude de simulation numérique. Une analyse globale des résultats obtenus nous a permis, en conclusion, de ressortir les éléments suivants.

- ✓ Les températures de séchage mesurées étaient dans l'intervalle de 58°C à 73°C pendant la période de pic, soit entre 11h30 à 14h30.
- ✓ Une comparaison entre les mesures à vide et avec produit a montré un abaissement de température dans la chambre de séchage due à l'humidité du produit.
- ✓ Une augmentation de température à la région en bas à droite de la chambre est probablement due à la stratification thermique.
- ✓ Le côté OUEST est moins chaud par rapport aux autres côtés avec des températures maximales de 51.9°C à 60.2°C.
- ✓ Sur le côté SUD la température atteint une valeur maximale de 64.9°C.
- ✓ La zone la plus chaude correspond au côté EST avec une accumulation importante de la chaleur, la température maximale mesurée est de 67,3°C.
- ✓ Les résultats obtenus numériquement pour les distributions des températures sont satisfaisants comparés aux valeurs mesurées ce qui offre une forte raison pour des conceptions à base de cette simulation.
- ✓ D'après les modifications conceptuelles simulées numériquement, les meilleurs résultats en matière d'homogénéité des températures ont été constatés en cas d'utilisation d'un convergent au niveau d'échappement de l'air et aussi en cas d'agrandissement de la section de la cheminée.

Références

- [1] B. TOUATI (2008), Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la menthe verte, université de telmcen.
- [2] D. Schnell (1983), Technique de séchage.
- [3] S. Bories and M. Prat (1996), Transfert de chaleur dans les milieux poreux, Technique de l'ingénieur, traité génie énergétique, France.
- [4] A. Mouafki (2004), Modélisation-Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe, Université Ouargla.
- [5] M. Kouhila, and A. Belghith (1998), Etude expérimentale du séchage convectif de la menthe dans un séchoir modulaire polyvalent à chauffage partiellement solaire, Energ. Ren. Physique énergétique, p. 05.
- [6] A. Hade (2002) Nos lacs, éditions fides. p. 360.
- [7] M. Roukia (2009), Etude comparative de l'efficacité énergétique de deux prototypes de séchage solaire, Université Ouargla.
- [8] N. Nadia, "Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire," magister.
- [9] R. Wahiba and B. Samiha (2008), Etude de L'influence de la localisation des claies sur la cinétique de séchage solaire des Dattes, Université Ouargla,.
- [10] W. Belachi (2009), Application du séchage solaire pour la conservation des produits agro-alimentaires, Université Ouargla,.
- [11] S. Boughali and B. Bouchekima (2008), Expérience du séchage solaire dans le Sahara Septentrional Est Algérien, Energies renouvelables, p. 06.
- [12] C. Mokhtar and M. Laid (2009), Etude expérimentale de l'efficacité énergétique d'une unité de traitement des dattes par énergie solaire, Université Ouargla,.
- [13] D. Mennouche (2006), Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Université Ouargla.
- [14] C. Samira (2010), Etude expérimentale du séchage solaire des dattes humides et impact sur la qualité, Université Ouargla.
- [15] O. Saadia (2010), Correction d'une géométrie d'un séchoir solaire par le code FLUENT, Université Ouargla,.
- [16] A. Boubekri and H. Benmoussa (2007), Influence of drying on Deglet Nour date quality.
- [17] G. Mukend, Convection forcée sur une plaque plane.
<http://courses.cit.cornell.edu/fluent>