

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieures de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

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

GC :08



Département de Génie des Procèdes

Mémoire de Fin d'Etude

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Génie des Procèdes

Option : Génie chimique

Présenté par : OUMAYA*Saadia

THÈME

*Correction d'une géométrie
d'un séchoir solaire par le code
FLUENT*

Le :19/06/2010

Devant le jury composé de :

Mr	BENNOUNA	Maitre assistant A	Université KASDI Merbah OUARGLA	Président
Abdelaziz				
Mr	BOUKSSANI Med	Maitre assistant A	Université KASDI Merbah OUARGLA	Examineu r
Mme	GHIABA Zineb	Maitre assistant A	Université KASDI Merbah OUARGLA	Examineu r
Mr	CHENNOUF	Maitre assistant B	Université KASDI Merbah OUARGLA	Encadreur
Naseraddine				

ANNÉE UNIVERSITAIRE :2009*2010`

Résumé

Les saisons des produits agricoles, en été, ne durent jamais assez longtemps, on fait souvent appel à certains recours au séchage de produits agroalimentaires pour leur conservation et pour garder leurs caractéristiques.

Dans une étude expérimentale effectuée au laboratoire (LENREZA) de l'université Kasdi Merbah de Ouargla, a été consacrée au séchage solaire des dattes,. Les résultats obtenus montrent l'absence d'homogénéité dans la distribution de température dans le séchoir.

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

Pour cela nous avons proposé une amélioration de la géométrie de séchoir. Les résultats obtenus nous ont montré l'intérêt de la simulation qui peut nous faciliter le choix de la géométrie nécessaire pour notre cas.

Mots clés : énergie solaire, séchoir solaire, convection naturelle, le code fluent

Remerciements

*** *** *** *** *** ***

*Je remercie mon Dieu le tout puissant de m'avoir
donner le courage et la force pour mener a bien ce travail,
qu'il soit béni et glorifié.*

*J'exprime ma reconnaissance et vous offrir mes chaleureux
Remerciement sa mon Encadreur Mr :N. Chennouf, maitre assistant
classe B a l'université d'Ouargla pour avoir accepté de diriger ce mémoire .*

*Tous mes remerciements à Dr : Mennouche, maitre assistant
a l'université d'Ouargla.*

*Aux tous les membres des jury ;a profonde gratitude de l'intérêt
qu'ils ont porte a ce travail et d'avoir accepte de le juger.*

*Une attention particulière à Monsieur B. Nigrrou. Et
le Monsieur A. Houti ,le technicien du laboratoire de physique
pour son aide dans l'installtion du séchoir solaire.*

A tous mes collègues a l'université surtout d'option : génie chimique.

Un grand remerciement A tous les professeurs et enseignants.

Notation

Symbols	Designations	Unites
$R = -dX / dt$	vitesse de séchage du produit	kg eau / (kg (MS).s)
M_v	masse d'eau évaporé	kg
M_s	masse de produit sec	kg
M_h	masse humide du produit	Kg
M_e	masse de l'eau	Kg
M_a	masse du gaz	Kg
H_r	humidité relative	%
H_{as}	humidité absolue de saturation	kg eau / kg (as)
H_a	humidité absolue	kg eau / kg (as)
X	teneur en eau du produit à base sèche	kg eau / kg (MS)
S	surface de séchage	m ²
P_s	pression de saturation	Pascal
P_v	tension de vapeur	Pascal
Ψ	degré de saturation	%
ε	porosité volumique	
λ_c	conductivité thermique du matériau	W/ (m.K)
h_c	coefficient de convection thermique	W/ (m ² .K)
ϕ	puissance transmise	W
S	surface d'échange considérée	m ²
T_1	température la plus chaud	°C
T_2	temperature la plus froide	°C
ϕ_r	la qualité d'énergie rayonné	W
σ	constante de stephan-Boldtezman	J / (s m ² k ⁴)
ε_1	facteur d'émission de la surface grise	
f_{1-2}	Facteur de forme entre les corps 1 et 2	
ρ_f	masse volumique	kg/m ³
μ_f	viscosité cinématique	kg/ (ms.)
D_f	coefficient de diffusion	m ² /s
J	flux massique surfacique	Kg / (m ² .s)

Notation

C_m	fraction massique	
k_f	perméabilité intrinsèque	m^2
φ_i	flux direct incident	W
φ_a		W
φ_g	flux global	W
φ_d	flux diffuse	W
T	la température	K
Y	la position sur l'axe (oy)	m
moy		

Liste des figures

Figure I.1	Cinétique de séchage	4
Figure I.2 :	Volume de contrôle microscopique.	8
Figure I.3	: Les différents types d'eau dans le matériau	8
Figure I.4.	Description du solide humide.	10
Figure II.1	Le séchoir solaire intégral.	17
Figure II.2	Séchoir solaire indirect.	18
Figure II.3	séchoir solaire armoire	19
Figure II.4	séchoir solaire hybride à convection forcée	21
Figure II.5	Capteur solaire plan	23
Figure II.6	L'effet de serre dans un capteur à air.	24
Figure III.1	: schémas descriptif du séchoir solaire forcée.	26
Figure III.2	schéma descriptif du séchoir solaire	27
Figure (VI-1)	les dimensions de notre séchoir réel	31
Figure (VI-02)	les surfaces de maillage avec les condition aux limites	32
Figure(VI-03)	Adaptation de maillage de séchoir à partir le Gambit	33
Figure (VI-04)	Evolution de résidu pour le séchoir 01	36
Figure (VI-05)	Evolution des lignes de courant dans le séchoir 01 en (m ³ /s)(fild)	37
Figure (VI-06)	Evolution des lignes de courant dans le séchoir 01 (sans fild)	37
Figure (VI-07)	Evolution de la vitesse de l'air de séchoir en(m/s)	38
Figure (VI-08)	L'évolution de les isothermes en (K) dans le séchoir 01(avec fild)	39

Liste des figures

Figure (VI-9)	L'évolution de les isothermes en (K) dans le séchoir 01(sans fil)	39
Figure (VI-10)	Les positions de la distribution de la température	40
Figure (VI-11)	La distribution de la température selon les positions dans le cas réel	41
Figure (VI-12)	Evolution des résidus pour le séchoir 02	43
Figure (VI-13)	évolution les lignes de courants en (m^3/s) dans le séchoir 02 avec fil	43
Figure (VI-14)	évolution des lignes de courant en (m^3/s) de séchoir 02(sans fil)	44
Figure (VI-15)	évolution de la vitesse pour le séchoir 02 en (m/s)	44
Figure (VI-16)	les isothermes en (K) dans le séchoir 02	45
Figure (VI-17)	les isothermes en (K) dans le séchoir 02(sans fil)	46
Figure (VI-18)	La distribution de la température selon la position le cas de séchoir 02	47
Figure (VI-19)	Evolution des résidus de séchoir 03	48
Figure (VI-20)	évolution des lignes de courant (en m^3/s) dans le séchoir 03(avec fil)	48
Figure (VI-21)	évolution des lignes de courant en (m^3/s) dans le séchoir 03(sans fil)	49
Figure (VI-22)	évolution de la vitesse de l'air en (m/s) dans le séchoir 03	49
Figure (VI-23)	L'évolution des isothermes en (K) dans le séchoir 03	50
Figure (VI-24)	l'évolution des isothermes en (K) dans le séchoir 03	51
Figure (VI-25)	La distribution de la température selon les positions dans le séchoir 03	52
Figure (VI-26)	La distribution de la température selon les positions dans les trois séchoirs (réel, séchoir 02 et séchoir 03)	54

Liste des tableaux

Tableau(VI.1)	l'évolution de la température en fonction du temps [03/06/2008] séchoir naturelle vide	35
Tableau (VI-02)	la distribution de la température selon les positions à l'axe (oy) dans le cas réel	41
Tableau (VI-03):	la distribution de la température selon les positions pour le séchoir 02	46
Tableau (VI-04)	distribution de la température au différentes positions dans le séchoir 03	52
Tableau (VI-05)	la distribution de la température sur différentes positions	53

Sommaire

- Résumé
- Remerciements
- Sommaire
- Notation
- Liste des figures
- Introduction générale

Chapitre I :Généralité sur le séchage

I. Généralité sur le séchage	02
I. 1. Définition	02
I. 1.2. Mode de séchage	02
I. 1.2.1. Séchage par convection	02
I. 1.2.2. Séchage par conduction	02
I. 1.2.3. Séchage par rayonnement.	02
I. 1.2.4. La lyophilisation	02
I. 1.3. Le choix du procédé de séchage	02
I. 1.4. Le processus de séchage	03
I. 1.5. La vitesse de séchage	03
I. 1.6. La cinétique du séchage	04
I. 1.6.1. Période(1) :période transition	04
I. 1.6.2. Période(2) :période à vitesse de séchage constant	04
I. 1.6.3. Période(3) :période à vitesse de séchage décroissante	05
I. 1.7. Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage	05
I. 1.7.1. Influence de la température de l'air	05
I. 1.7.2. Influence de la vitesse de l'air	05
I. 1.7.3. Influence de l'humidité de l'air	05

I. 1.8. Qualité des produits sèches	05
I. 2. Les Grandeurs caractéristiques de l'air de séchage	06
I. 2.1. Humidité absolue	06
I. 2.2 Degré de saturation	07
I. 2.3. Humidité relative	07
I.2.4 Le point de rosé ou la température de rosé	07
I. 2.5Température sèche	07
I.2.6.Température humide du gaz	07
I.3.Les Grandeurs caractéristiques du solide	07
I.3.1.Humidité absolue	07
I.3.2.Humidité relative	07
I.3.3.Caractéristique d'un solide poreux	08
I.3.3.Porosité volumique d'un produit	08
I.3.4.Répartition de l'eau dans le matériau	09
I.3.4.1.Description du solide humide	10
I.3.4.2.Hygroscopicité	10
I.4.Transfert de chaleur	10
I.4.1.Transfert par conduction	10
• Loi de Fourier	11
I.4.2Transfert par convection	11
I.4.3Transfert par rayonnement	11
I.5.Transfert de masse	13
I.5.1.Loi de Fick	13
I.5.2.Loi de Darcy	13

Chapitre II : Séchoirs solaires

II.1. Notion sur le gisement solaire	14
II.1.1. Aperçue de la source soleil	14
II.1.2.rayonnement au voisinage	14

II.1.3.L'importance d'utilisation de l'énergie solaire	14
II.2. Types de séchoirs solaires	15
II.2.1 les séchoirs solaires directs	15
II.2.1.1. principe de fonctionnement	15
II.2.1.2.Avantages	16
II.2.1.3.Inconvénients	16
II.2.1.4.types de séchoirs directs	16
II.2.1.4.1.le séchoir intégrale a convection naturelle	16
II.2.1.4.2. la boite de séchage ou séchoir coffre	17
II.2.1.4.3le séchoir solaire "coquiage"	17
II.2.1.4.4.séchoir cabane	17
II.2.2. les séchoirs solaires indirects	17
II.2.2.1. principe de fonctionnement	18
II.2.2.2.avantages	18
II.2.2.3.inconvénients	19
II.2.2.4. Types du séchoir indirect	19
II.2.2.4.1.le séchoir armoire	19
II.3.Les séchoirs hybrides	19
II.3.1.Avantages	20
II.3.2. inconvénients.	20
II.3.3.types des séchoirs hybrides	20
II.3.3.1 séchoir hybride a convection forcée	20
II.3.3.2.le séchoir hybride a solide -gaz	21
II.4.les séchoirs mixtes	21
II.5.les capteurs solaires	22
II.5.1.capteur par effet de serre	22
II.5.2. constitution d'un capteur plan	22
II.5.3.bilan thermique du capteur	23

II.5.4.rendement instantané d'un capteur	23
II.5.5.rendement optique d'un capteur	24

Chapitre III: Partie Expérimentale

III.1. Description du séchoir forcée	26
III.1.1. Le capteur solaire	26
III.1.2. La chambre de séchage	27
III.2. Description du séchoir naturel	27
III.2.1 Le capteur solaire	28
III.2.2 La chambre de séchage	28
III.3 Fonctionnement du séchoir solaire	28
III.5. Méthode de travail	28
III.7.L'étude expérimentale	29
III. 8. Résultats expérimentaux	29

Chapitre VI : Partie Simulation

VI.1 Le code FLUENT	30
VI.2. Méthode de travail avec FLUENT	30
VI.3.1 ^{er} cas réel de séchoir naturel(séchoir 01)	31
VI.4. 2 ^{eme} cas le séchoir 02	40
VI.5. 3 ^{eme} cas le séchoir 03	44
VI.6. étude comparative entre les trois séchoirs	48
• Conclusion	
• Les annexes	
• Bibliographie .	

INTRODUCTION

Introduction générale

Les opérations de séchage jouent un rôle important dans les industries alimentaires. Elles représentent souvent la dernière opération du procédé de fabrication d'un produit [1], elles consistent à éliminer tout une partie de l'eau qui contient un produit humide [2]. Les saisons des produits agricoles, en été ne dure jamais assez longtemps. Les solutions proposées pour pallier à cet handicap sont : cultures sous serre, congélation, séchage ... toutefois le recours au séchage des produits agroalimentaires s'avère comme étant une solution simple, sûre et adéquate[3].

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important surtout dans le sud. Le séchage solaire des produits agroalimentaires est un procédé de conservation qui favorise le stockage des aliments et qui a un intérêt économique certain ce pays[4].

Une étude expérimentale effectuée au laboratoire (LENREZA) de l'université Kasdi Merbah de Ouargla, est consacrée au séchage solaire des dattes, les résultats montrés l'absence d'homogénéité dans la distribution de température dans le séchoir. Pour cela nous voulons introduire dans notre expérience le simulateur FLUENT pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de séchoir, et interpréter les résultats.

Le contenu de ce mémoire est le suivant:

En générale, dans le 1^{er} Chapitre, on a présenté le phénomène du séchage solaire, l'influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage et des définitions des différents facteurs indispensables ont également été évoqués.

En suite le 2^{ème} chapitre, possède des notions sur le gisement solaire et les différents types d'appareillages de séchoirs solaires, ainsi d'une présentation des capteurs à air.

Dans le 3^{ème} Chapitre l'étude expérimentale effectuée au laboratoire de développement des énergie et renouvelables dans les zones arides [LENREZA] de l'université d' Ouargla.

Le 4^{ème} chapitre, est consacré pour la simulation de l'écoulement de l'air dans le séchoir réel pour voir la distribution de la température et de proposer une géométrie de séchoir plus rentable pour le séchage.

En fin de ce travail une conclusion et recommandation seront données pour analyser tous les résultats obtenus.

CHAPITRE I

Généralité sur le séchage

I.1. Généralité sur le séchage**I.1.1. Définition**

Le séchage est défini comme étant l'opération unitaire qui consiste à éliminer totalement, ou partiellement le solvant (très souvent l'eau) contenu à l'intérieur d'un matériau poreux. Dans cette opération ils interviennent deux phénomènes le transfert de chaleur et le transfert de matière. [4]

On peut distinguer divers procédés de séchage. [5]

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

I.1.2. Mode de séchage

Selon le mode de chauffage de la matière à sécher, il existe dans le pratique 4 types de séchage :

I.1.2.1. Séchage par convection

C'est le mode de séchage le plus utilisé dans l'industrie chimique, l'échange thermique est réalisé grâce à une contacte direct entre le solide humide et le gaz caloporteur.

I.1.2.2. Séchage par conduction

Dans ces procédé l'échange thermique est obtenu par contacte entre le solide humide et une paroi métallique chauffé par un fluide caloporteur, a cause du bon transfert de chaleur dans ces procédé. Cette technique est utilisée pour le produit liquide tel que le solide pâteux et le solide en suspension (mélange liquide-solide).

I.1.2.3. Séchage par rayonnement

On peut aussi réaliser des séchages ou la transmission de chaleur se fait par rayonnement. Une surface portée à une température suffisamment élevée émet un rayonnement infrarouge qui sera absorbé d'une façon plus moins complète par le produit à sécher. [6]

I.1.2.4. La lyophilisation

La lyophilisation, appelée autrefois cryodessiccation, est une opération de déshydratation à basse température qui consiste à éliminer par sublimation, la majeure partie de l'eau contenue dans un produit. Elle autorise une conservation à long terme grâce à l'abaissement de l'activité de l'eau du produit. [7]

I.1.3. Le choix du procédé de séchage

Les types des séchoirs utilisés pour sécher un produit donné est basé sur le choix de l'appareil adéquat qui se fait alors en fonction de certain facteur : [5]

- La nature du produit (liquide, solide, pâte).
- Le taux d'humidité finale et initiale.
- Débit de produit exiger.
- Sensibilité de produit vis-à-vis de la chaleur.
- Sécurité de l'opération (toxicité, inflammabilité,...).

I.1.4. Le processus de séchage

Le séchage par convection à mettre en contact un gaz (généralement air chaud et de faibles hygrométries e) 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. [8]

I.1.5. La Vitesse de séchage

La vitesse de séchage est défini comme le rapport entre la masse de liquide évaporé par unité de temps et par unité de surface de séchage (kg d'eau/m².s) l'expression de la vitesse de séchage s'écrit alors :

$$R = \frac{-dM_v}{s \cdot dt} = \frac{M_s \cdot dx}{s \cdot dt} \quad (\text{I.1})$$

$$M_v = M_s \cdot dX \quad (\text{I.2})$$

$$dX = X_e - X_s \quad (\text{I.3})$$

M_v : la masse d'eau évaporer.

M_s : la masse de produit sec.

dX : l'humidité de produit au début et à la fin de l'opération.

S : la surface de séchage.

La vitesse de séchage est une grandeur qui caractérise pratiquement l'allure du transfert. Elle est fonction de très nombreux paramètre dont les plus importants sont. [8]

La nature, la porosité, la forme et l'humidité de produit.

La température, l'humidité et La vitesse du gaz sécheur

I.1.6. La cinétique du séchage

On étudie la cinétique du 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, vitesse de l'air asséchant, hygrométrie...). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps. Dans la figure (I.1) nous avons reporté les variations de l'humidité de solide x , de la vitesse de séchage $(\frac{dx}{dt})$ et de la température de solide (T_{solide}) en fonction du temps d'opération, tout le travail de séchage montre les courbes de la vitesse de séchage en fonction du temps fonction du temps se distingue suivant la nature du produit. Mais d'une manière générale, on remarque que le processus de séchage passe par 3 principales périodes :

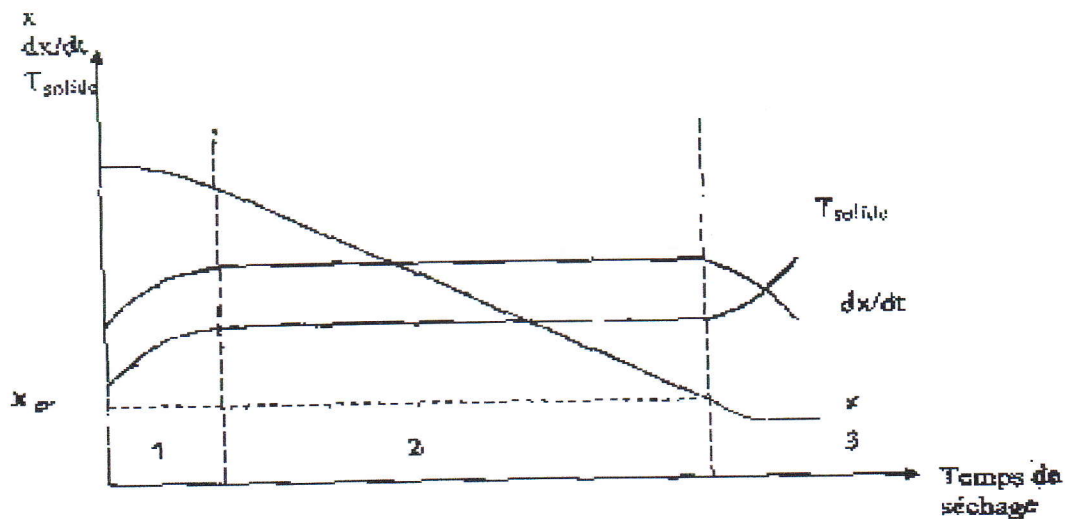


Figure I.1 Cinétique de séchage

I.1.6.1. Période (1) : période transition.

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

I.1.6.2. Période (2) : période à vitesse de séchage constant.

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 du surface, et couvre généralement une grande partie du temps séchage.

I.1.6.3. Période (3) : 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 :

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 contenues dans le produit s'effectuent 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.

- L'épaisseur 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.

- La 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.

- La 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.

- Le 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. [4]

I.1.7. Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage.

On distingue plusieurs d'influence des paramètres de l'air :

I.1.7.1. Influence de la température de l'air.

La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air. Elle est aussi 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 deviennent importantes. [3]

I.1.7.2. Influence de la vitesse de l'air.

La vitesse de l'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par la migration interne de l'eau, l'influence de la vitesse de séchage de l'air devient très faible. [3]

I.1.7.3. Influence de l'humidité de l'air.

La teneur en eau de l'air, joue un rôle important sur le comportement des cinétiques de séchage de certains produits, il semble que cette influence est plus importante au début de séchage et diminue lorsque la température de l'air augmente. [3]

I.1.8. Qualité des produits séchés.

Le séchage d'un produit biologique entraîne différentes modifications dont il faut tenir compte :

- Modification biochimique
- Réaction de MILLARD : brunissement non enzymatique résultant de combinaisons entre protéines et glucide. Oxydation de matières grasses.
- Destruction de vitamines.
- Dénaturation des protéines.
- Réaction enzymatique au cas où les enzymes n'ont pas été inactivées par un traitement préalable : Oxydation des polyphénols qui entraîne par exemple un brunissement des produits séchés.

I.2. LES Grandeurs caractéristiques de l'air de séchage.**I.2.1. Humidité absolue.**

On appelle humidité absolue ou teneur en humidité, la masse d'humidité mélangée à un kilogramme de gaz sec, cette humidité que nous désignerons par H_a est donnée par la relation suivante :

$$H_a = \frac{M_a}{M_e} \quad (I.4)$$

I.2.2. Degré de saturation.

Soit H_a la valeur de l'humidité d'un gaz pour une certaine température et H_{as} la valeur de l'humidité correspondant à l'état de saturation pour la même température; on appelle degré de saturation d'un gaz, le rapport :

$$\psi = \frac{H_a}{H_{as}} \quad (I.5)$$

Dans le cas où P_v et P_s sont tout deux petits devant P (cas de l'air humide sous la pression atmosphérique et pour des températures peu élevées), on peut écrire :

$$\psi = \frac{H_a}{H_{as}} = \frac{P_v}{P_s} \quad (I.6)$$

I.2.3. Humidité relative

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température. [9]

$$H_r = \frac{P_v}{P_s} \quad (I.7)$$

I.2.4. Le point de rosée ou la température de rosée.

C'est la température dans un mélange de la vapeur d'eau contenu dans l'air humide, la pression de saturation de la vapeur est constante si la température ne varie pas. Commence à se condenser à pression constante, en gardant la même teneur en humidité.

I.2.5. Température sèche.

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

I.2.6. Température humide du gaz.

On nomme température humide (ou température de bulbe humide) la température donnée par une sonde enrobée d'une mèche placée dans le courant gazeux et humidifiée en permanence par de l'eau pure. Il faut retenir que la température humide est la température prise par un solide humide durant la phase à vitesse constante d'un séchage par entraînement. [5]

I.3. Les Grandeurs caractéristiques du solide.

Soit une masse M_h de matériau humide contenant une masse M_e d'eau et une masse M_s de matière sèche : [10]

$$M_h = M_e + M_s \quad (I.8)$$

I.3.1. Humidité absolue.

L'humidité autoritaire ou taux d'humidité ou teneur (kg/kg) en eau à base sèche, où plus simplement humidité s'exprime par liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche.

$$X = \frac{M_e}{M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (I.9)$$

I.3.2. Humidité relative.

L'humidité relative où titre en eau (%), ou teneur en eau à base humide s'exprime par la masse du liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse humide.

$$X = \frac{M_e}{M_e + M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_h} \quad (I.10)$$

I.3.3. Caractéristique d'un solide poreux.

La caractéristique du solide est liée à la taille des pores ou des canaux poreux, cette taille va conférer au matériau des caractéristiques mécaniques et thermo-physiques particulières. L'évolution de la teneur en eau des produits peut générer des déformations et/ou des retraits et donc une modification des structures poreuses qui rejaillira sur les caractéristiques de séchage par un ralentissement et même un blocage des transferts (croustilles, mais aussi bouchage par entraînement de soluté). Il est nécessaire de bien connaître l'état du produit à sécher, au cours de séchage, pour infléchir les contraintes liées à l'environnement séchant et pour permettre au produit d'arriver au bout de l'opération tout en ayant gardé ses qualités. [9]

I.3.3.1. Porosité volumique d'un produit.

La porosité volumique ε (figure I.2) est définie par :

$$\varepsilon = \frac{\text{volume des pores}}{\text{volume apparent du produit}} \quad (I.11)$$

Le rapport entre le volume intrinsèque du produit et le volume apparent du produit vaut donc 1-

ε

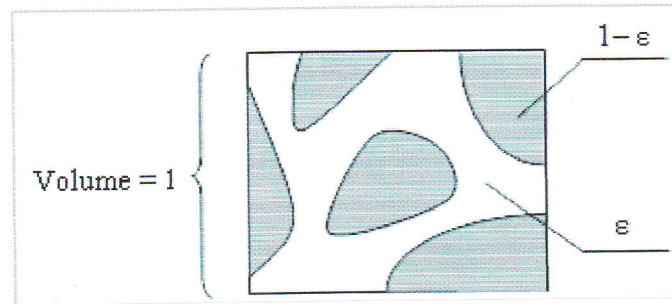


Figure I.2 : Volume de contrôle microscopique.

1.3.4. Répartition de l'eau dans le matériau.

L'eau présente dans un matériau peut se présenter sous trois états (figure I.3) :

- L'eau libre (eau capillaire),
- L'eau liée (eau adsorbée)
- vapeur d'eau.

L'eau libre remplit la majeure partie des vides de la structure, elle est piégée sous forme liquide par des forces d'origine capillaire; la quantité maximale d'eau libre est directement liée à la porosité du milieu (ε).

L'eau liée est adsorbée sur et dans les parois des structures grâce aux propriétés hydrophiles de leurs constituants. Elle aussi liée à la taille des pores qui indique la proportion eau liée/eau libre dans le matériau (un produit constitué de "petits pores " aura, à l'échelle macroscopique, un caractère hygroscopique plus marqué que s'il était constitué de "gros pores").

La vapeur d'eau mélangée à l'air sec (mélange parfait) occupe les espaces vides non saturés d'eau liquide

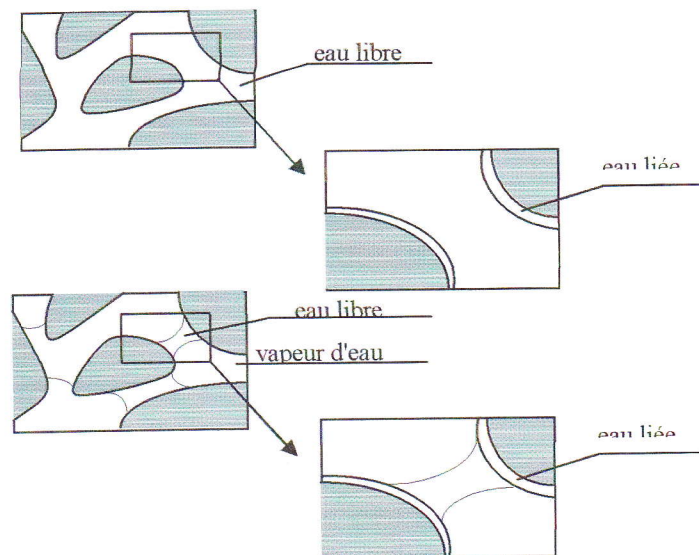


Figure I.3 : Les différents types d'eau dans le matériau

I.3.4.1. Description du solide humide.

Avant le séchage un solide humide peut se représenter schématiquement comme sur la figure suivante. Le solide a un film d'eau adhérent à sa surface externe par des forces superficielles. Une couche limite à la périphérie du solide est constituée par de l'air saturé en eau, c'est-à-dire de l'air contenant de la vapeur d'eau à une pression partielle égale à la tension de vapeur d'une eau qui serait seule présente dans une enceinte, à la même température. C'est la vapeur maximale que peut prendre la tension de vapeur de l'eau à cette température. [5]

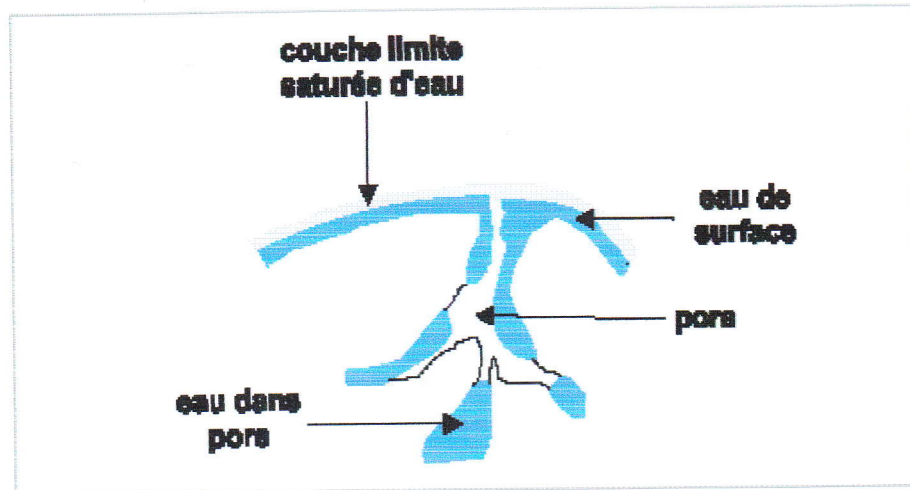


Figure I.4. Description du solide humide.

I.3.4.2. Hygroscopicité.

Pour rappel, un matériau est qualifié d'hygroscopique lorsqu'il absorbe et retient facilement l'humidité de l'air et de non hygroscopique lorsqu'il ne fixe pas naturellement les molécules d'eau présentes sous forme de vapeur dans l'air.

I.4. Transfert de chaleur.

Dans les transferts thermique on peut distinguer trois modes de transfert : la conduction, la convection et le rayonnement, chacun de ces modes étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé. En effet, l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à l'énergie cinétique de ses constituants ayant une certaine liberté de mouvement (molécules, atomes).

I.4.1. Transfert par conduction.

La conduction est la transmission de la chaleur dans le matériel par vibration moléculaire. Elle concerne surtout les solides, mais aussi les liquides et les gaz pour lesquels elle est souvent négligeable par rapport à la convection ou au rayonnement. [10]

•Loi de Fourier.

$$\phi = -\lambda_c \cdot s \frac{dT}{dX} \quad (\text{I.11})$$

Avec:

ϕ : Flux de chaleur.

λ_c : Conductivité thermique.

I.4.2. Transfert par convection.

Le transfert de chaleur par convection est complexe, car il résulte de la superposition de deux phénomènes :

- Conduction entre les particules de fluide qui se rencontrent ;
- Mélange de ces particules par suite du mouvement d'ensemble du fluide.

Si ce mouvement n'est provoqué que par seules différences de températures (donc de densité), la convection est dite libre ou naturelle. Si ce mouvement résulte d'une action mécanique (pompe, ventilateur, etc...), la convection est dite forcée.

Le transfert par convection est régi par la loi de Newton qui stipule que le flux de chaleur transmis est proportionnel à l'écart entre la température T_1 du corps solide qui reçoit ou transmet de la chaleur et la température T_2 du liquide ou du gaz qui transmet ou reçoit cette chaleur. Le coefficient de proportionnalité de la loi Fourier est appelé coefficient de convection thermique est noté h_c . [11]

Le flux calorifique (puissance) transmis par convection s'exprime alors par l'équation fondamentale suivant :

$$\phi = h_c \cdot s \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{I.12})$$

Avec :

Φ : Puissance transmise en **W**.

h_c : Coefficient transmission thermique par convection, ou coefficient de convection thermique en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

S : Surface d'échange considérée en m^2 .

T_1 : température la plus chaude (paroi ou fluide en $^{\circ}\text{C}$).

T_2 : température la plus froide (paroi ou fluide en $^{\circ}\text{C}$).

I.4.3. Transfert par rayonnement.

Tous les corps émettent par leur surface de l'énergie sous forme de radiations électromagnétiques. Si cette énergie rayonnée rencontre un corps absorbant pour ses longueurs

d'onde, elle se transforme en chaleur. La transmission de chaleur par rayonnement se produit même aux basses températures (il suffit que la température soit supérieure à 0 K) dès que deux corps à des températures différentes sont séparés par un milieu perméable. Ce transfert de chaleur qui ne nécessite aucun support matériel se produit même dans le vide.

L'énergie reçue par la surface du corps le plus froid se divise en trois parties : une fraction de l'énergie reçue est réfléchie ; une autre fraction peut passer à travers le corps ; une troisième fraction enfin est absorbée par le corps et de ce fait élève sa température. [12]

L'énergie rayonnée par unité de temps, par une surface S_1 d'un corps noir est donnée d'après la loi de Stephan-Boltzmann (en 1884) par : [13]

$$q_r = \sigma S_1 T_1^4 \quad (\text{I.13})$$

Où :

Q_r : la quantité d'énergie rayonné en W.

T_1 : la température du corps en K.

σ : constante de Stephan-Boltzmann : $\sigma = 5.66 \cdot 10^{-8}$ en J/s m² K⁴.

Si le corps noir est entouré d'une enceinte dont la surface est également noire, la quantité de chaleur effective transmis par rayonnement est donnée par : [13]

$$q_r = \sigma \cdot S_1 T_1^4 \quad (\text{I.14})$$

Avec :

T_2 : la température superficielle de l'enceinte.

La quantité de chaleur effective transmise d'un corps gris à la température T_1 à un corps noir à T_2 entourant le 1^{er} est :

$$q_r = \sigma \cdot S_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{I.15})$$

Où :

ε_1 : facteur d'émission de la surface grise.

Si aucun des deux corps n'est noir, la quantité d'énergie rayonnée par le corps 1 vers le corps 2 est :

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon_1 f_{1-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{I.16})$$

Où :

f_{1-2} : facteur de forme entre les corps 1 et 2.

I.5. transfert de masse.**I.5.1. Loi de Fick :**

La loi de Fick caractérise la diffusion moléculaire d'un fluide de masse volumique ρ_f dans un milieu, elle exprime un flux massique surfacique. Le paramètre pertinent du milieu est D_f , le coefficient de diffusion moléculaire : [9]

$$J_c = -\rho_f D_f \left(\frac{dC_m}{dX} \right) \quad (\text{I.17})$$

I.5.2. Loi de Darcy

La loi de Darcy caractérise la diffusion d'ensemble d'un fluide de masse volumique ρ_f et de viscosité dynamique μ_f dans un milieu poreux, elle exprime un flux massique surfacique, Le paramètre pertinent du milieu est dans ce cas la perméabilité intrinsèque :

$$J_s = -\rho_f \left(\frac{k_f}{\mu_f} \right) \cdot \left(\frac{dp}{dX} \right) \quad (\text{I.18})$$

CHAPITRE II

Séchoirs solaires

II.1. Notions sur le gisement solaire.

Le gisement solaire représente l'énergie disponible sous forme de rayonnement l'énergie solaire est le moteur de toutes les grandes sources d'énergie naturelles.

II.1.1. Aperçue de la source soleil.

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre) sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^2$ tonnes.

Toute l'énergie du soleil provient d'hydrogène en $560 \cdot 10^6$ tonnes d'hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous formes d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de $36 \cdot 10^{22}$ kW. La terre étant à une distance de $150 \cdot 10^6$ km du soleil, elle reçoit une énergie de $1.8 \cdot 10^{17}$ W. [25]

II.1.2. Rayonnement au voisinage du sol.

On vue utilisation de l'énergie solaire on s'intéresse au rayonnement reçue au voisinage du sol, qu'à la limite de l'atmosphère terrestre.

Le rayonnement solaire arrivant au sol se compose du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

Le rayonnement direct I_{DIR} : est le rayonnement solaire incident sur un plan donné, est provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire.

Le rayonnement diffus I_{DIF} : est le rayonnement solaire réfléchi revient frapper la terre. Il comprend la plus grande partie du rayonnement réfléchi par le sol, suivant l'inclinaison de la surface réceptrice, dont l'ensemble donne **le rayonnement global (I_G)**. [14]

II.1.3. L'importance d'utilisation de l'énergie solaire.

Le globe terrestre capte l'énergie solaire sous forme d'onde photoélectrique constituée de rayons ultraviolets, lumière, l'infrarouge et autre.

C'est pour cela l'homme recherche toujours de tirer le maximum de l'énergie solaire il se trouve des domaine d'utilisation de l'énergie solaire on citons :

La climatisation des locaux, le préchauffage ou le chauffage de domestique est des applications directes de la chaleur qu'apporte le rayonnement solaire.

Il y'a d'autre utilisation surtout dans le séchage des récoltes céréalières, et en plus la distillation de l'eau de mer.

Autres avantages d'utilisation thermique de l'énergie solaire à savoir :

- Les technologies à mettre en œuvre pour utilisés l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux situations de tous les régions.
- Les techniques et les matériaux utilisés sont similaires à ceux employés dans secteur traditionnel du chauffage du sanitaire.
- La main d'œuvre ne nécessite qu'une formation complémentaire aisément maîtrisable.
- Il s'agit d'une forme modulable de production d'énergie que l'on peut adapter en fonction de ces besoins.
- Les frais de maintenance sont réduit, si l'entretien des installations ne doit pas être néglige, les frais de maintenance et donc de fonctionnement sont cependant relativement faible. [5]

II.2. Types de séchoirs solaires.

Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement en plusieurs catégories : [15]

- Les séchoirs solaires directs.
- Les séchoirs solaires indirects.
- Les séchoirs solaires hybrides.
- Les séchoirs solaires mixtes.

II.2.1. Les séchoirs solaires directs.

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de large possibilités de conception : du séchoir coffre à plateau et adapté au petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités.

II.2.1.1. Principe de fonctionnement.

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire.

Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais en peut également utiliser d'autres matériaux plus chères comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles).

II.2.1.2. Avantages.

- Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- Pas besoin de main-d'œuvre qualifié.
- Grandes possibilités de conception.

II.2.1.3. Inconvénients.

- dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration. [16]
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments. [17]

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

II.2.1.4. Type de séchoirs directs.**II.2.1.4.1. Le séchoir intégral à convection naturelle.**

Le séchoir intégral (figure II.1) est un séchoir direct dont le produit est placé dans une chambre de séchage avec des parois transparentes, le rayonnement solaire empiète directement sur le produit. L'exposition directe au rayonnement solaire augmente la maturation appropriée de couleur des fruits verdâtres, et permettant la décomposition de la chlorophylle dans le tissu [18].

Pour certaines variétés de raisins et de dattes, l'exposition au rayonnement est considérée essentielle pour le développement de couleur requise dans le produit sec [18].

Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grande.

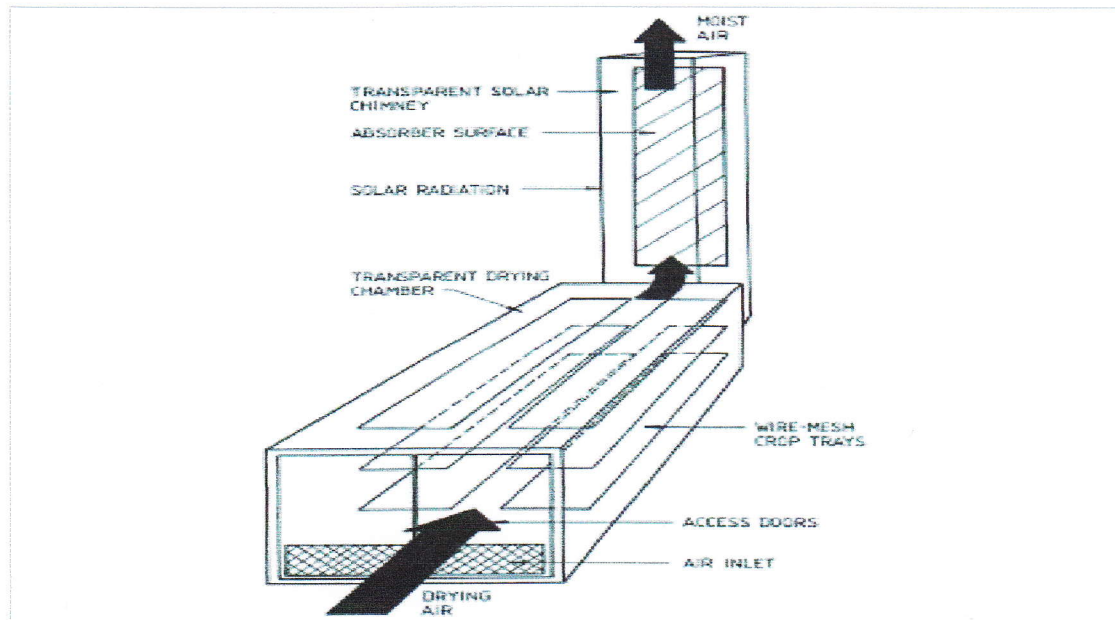


Figure II.1 Le séchoir solaire intégral.

II.2.1.4.2. La boîte de séchage ou séchoir coffre.

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, légumes, poissons et de la viande. [19]

II.2.1.4.3. Le séchoir solaire "coquillage".

Le séchoir coquillage est un séchoir solaire direct à convection naturelle, destinée à l'auto consommation et à la vente locale. Il est essentiellement utilisé par les familles, les coopérations et les groupes de femmes.

II.2.1.4.4. Le séchoir cabane.

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7m². [20]

II.2.2. Les séchoirs solaires indirects.

Ces systèmes sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive [20]. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires.

II.2.2.1. Principe de fonctionnement.

Le séchoir solaire indirect se compose de parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et une cheminée (figure II.2). L'air pénètre dans le collecteur; il est chauffé, sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques. [20]

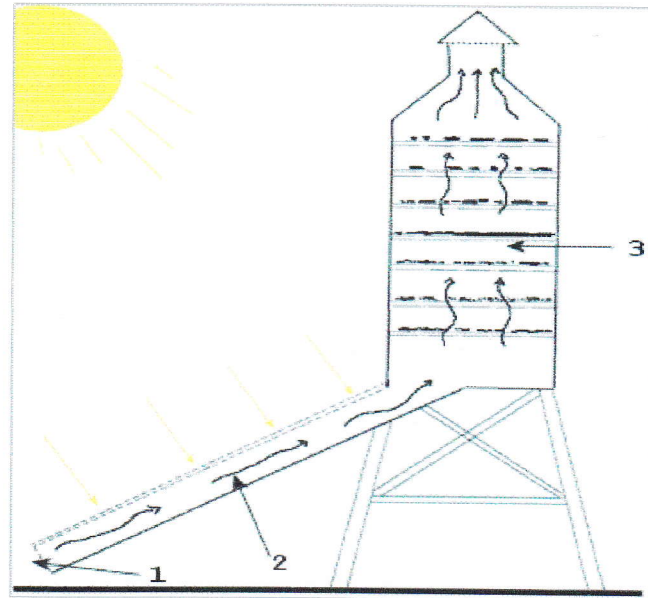


Figure II.2 Séchoir solaire indirect.

1. Entrée d'air
2. Partie exposée aux rayons du soleil, sous une vitre.
3. claie.
4. Cheminée

II.2.2.2. Avantages.

- Le produit n'est pas exposé directement au soleil. Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).
- Possibilité de construire ce type des séchoirs localement, avec un coût réduit. [21]
- Leur fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles. [22]

II.2.2.3. Inconvénient.

- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.

II.2.2.4. Type du séchoir indirect.

II.2.2.4.1. Le séchoir armoire.

Le collecteur capte l'énergie solaire. L'air chaud s'élève jusqu'à la chambre de séchage où les produits sont disposés sur des claies superposées.

Le séchoir armoire (figure II.3) est composé d'un collecteur solaire dont l'intérieur a été noirci et d'une chambre de séchage contenant des claies superposées. Le collecteur est recouvert de feuille de plastique translucide et assure la production de l'air chaud. La chambre de séchage protège les produits du soleil préservant aussi leur qualité.

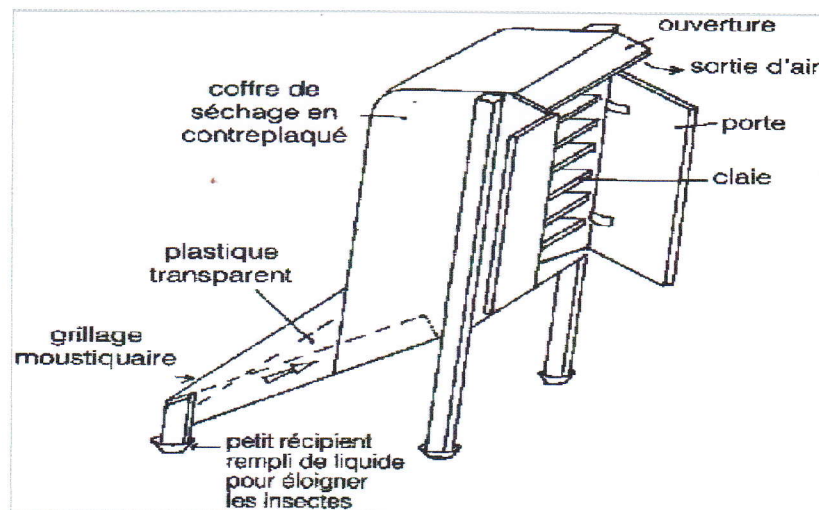


Figure II.3 séchoir solaire armoire

II. 3. Les séchoirs hybrides.

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant une énergie d'appoint : fuel, électricité, bois, gaz ... l'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir : [20]

- Maintenir la température constante dans le séchoir par un brûleur à gaz, une résistance électrique, un feu du bois. Dans ce cas l'énergie solaire devient secondaire, elle permet simplement de préchauffer l'air.

- Augmentation de la circulation de l'air par des ventilateurs électriques, ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation.

II. 3.1. Avantages.

- Affranchissement par rapport aux conditions climatiques.
- Meilleur contrôle du séchage. [23]
- Forte augmentation de la production par rapport aux autres types de séchoirs solaires, car le dispositif peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

II. 3.2. Inconvénients.

- Coût de production et d'investissement élevé.
- Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, pièce de rechange.
- Personnel qualifié pour la maintenance.

II. 3.3. Types des séchoirs hybrides.**II.3.3.1. Séchoir hybride à convection forcée.**

- Principe de fonctionnement le toit du bâtiment sert de capteur, un ventilateur assure une circulation importante de l'air permettant de sécher très rapidement les produits.
- Description technique : L'air est aspiré de l'intérieur du bâtiment par un ventilateur et passe dans un capteur solaire dans le toit du bâtiment. L'air réchauffé arrive dans la chambre de séchage où les fruits sont disposés sur des claies superposées.

Les avantages

- Séchoir très performant.
- Facilement aménageable dans un bâtiment.

Les inconvénients

- Nécessité de grandes quantités de fruits régulièrement sur l'année pour être rentable.

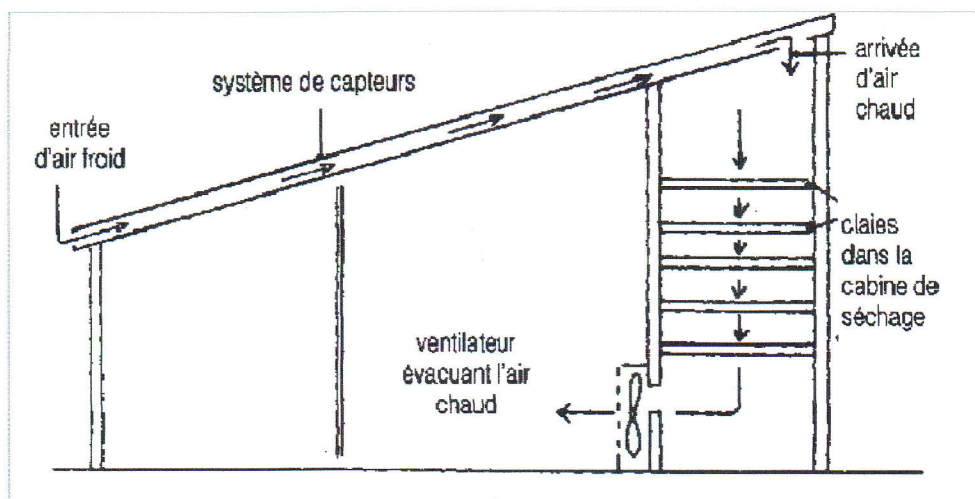


Figure II.4 séchoir solaire hybride à convection forcée

II. 3.3.2. Le séchoir hybride solaire – gaz.

- Principe de fonctionnement le collecteur solaire permet de préchauffer l'air. Si la température est insuffisante, un brûleur à gaz se déclenche pour obtenir la température désirée. Les produits peuvent donc sécher quelque soient les conditions climatiques.
- Description technique la circulation de l'air se fait par convection naturelle du collecteur solaire à l'armoire. Le brûleur à gaz permet d'obtenir la température nécessaire pour sécher correctement les produits quelque soient les conditions climatiques.

Les avantages

- Séchage rapide et d'excellente qualité.
- Contrôle de température.
- Très grande productivité.

Les inconvénients

- Coût très élevé de l'investissement
- Nécessité d'avoir un marché important pour pouvoir écouler les produits.

II.4. Les séchoirs mixtes.

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage.

Un séchoir mixte à circulation naturelle aurait les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage, et une cheminé) mais les parois sont équipées par des plaques de verre de sorte que le rayonnement solaire empiète directement sur le produit comme le séchoir intégral. [16]

II.5. Les capteurs solaires.

II.5.1. Captation par effet de serre.

Le fonctionnement de tout capteur à basse température par effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouvant donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre. [24]

II.5. Les capteurs solaires.

II.5.1. Captation par effet de serre.

Le fonctionnement de tout capteur à basse température par effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouvant donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre. [24]

Le corps qui sert à capter le rayonnement, appelé absorbeur, est généralement noirci afin d'augmenter son facteur d'absorption. L'absorbeur chauffé cède sa chaleur à un fluide circulant en bon contact thermique avec lui.

II.5.2. Constitution d'un capteur plan.

C'est une boîte constituée de trois parties :

- La partie avant ou capteur proprement dit, qui est exposé au rayonnement;
- L'absorbeur où s'effectue la conversion thermique;
- La partie arrière.

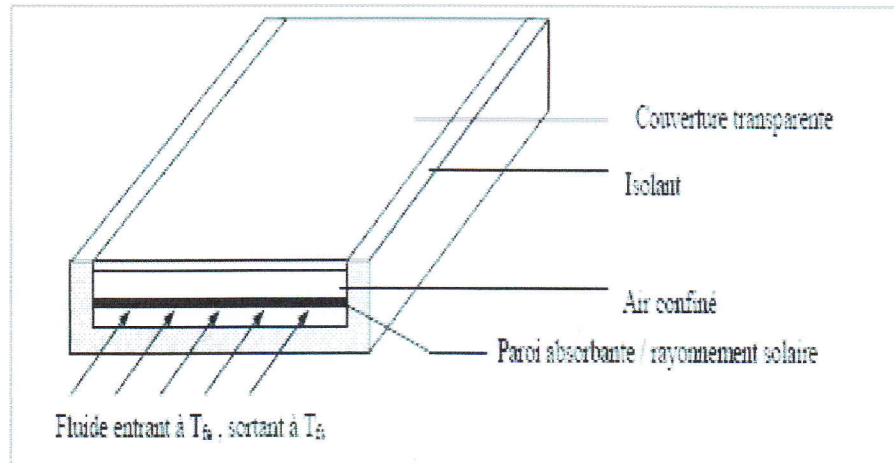


Figure II.5 Capteur solaire plan

II.5.3. Bilan thermique du capteur.

Le bilan énergétique par unité de surface du capteur s'écrit :

$$\varphi_a = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_s \quad (\text{II.1})$$

Où :

φ_a Le flux solaire absorbé à la surface de l'absorbeur.

φ_u La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

φ_p La puissance perdue par convection et conduction vers l'arrière du capteur et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant du capteur.

φ_s La puissance stockée sous forme de chaleur dans les différents éléments du capteur lorsque le régime thermique est variable.

II.5.4. Rendement instantané d'un capteur.

Le rendement instantané d'un capteur est défini par

$$\eta = \frac{\text{puissance thermique utile par m}^2 \text{ du capteur}}{\text{flux solaire incident sur le plan du capteur}}$$

$$\eta = \frac{\varphi_u}{\varphi_a} \quad (\text{II.2})$$

Pour un capteur à inertie thermique négligeable (faible masse des composants, faible chaleur spécifique), ou dans le cas de régime thermique permanente, $\dot{\varphi}_s = 0$ et le rendement devient :

$$\eta = 1 - \frac{\varphi_p}{\varphi_a} \quad (\text{II.3})$$

Cette simple relation montre que dans la conception d'un capteur, on aura toujours intérêt à :

φ_p : Diminuer la puissance perdue

φ_a : Augmenter la puissance absorbée φ_a

II.5.5. Rendement optique d'un capteur.

Le rendement optique est défini par :

$$\eta_0 = \frac{\varphi_a}{\varphi_g} \quad (\text{II.4})$$

Pour un flux direct φ_i incident sur la surface du capteur (figure 3:12), $\tau_t \varphi_i$ sera transmis et arrivera de l'absorbeur, où $\alpha_a \tau_t \varphi_i$ sera absorbé et $\tau_r \rho_a \varphi_i$ sera réfléchi, le flux réfléchi sera à son tour partiellement réfléchi par le vitrage (la portion réfléchie est $\tau_t \rho_r \rho_d \varphi_i$).

ρ_d : est la réflectivité hémisphérique moyenne du vitrage, c'est-à-dire :

$$\rho_d = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho(i) di \quad (\text{II.5})$$

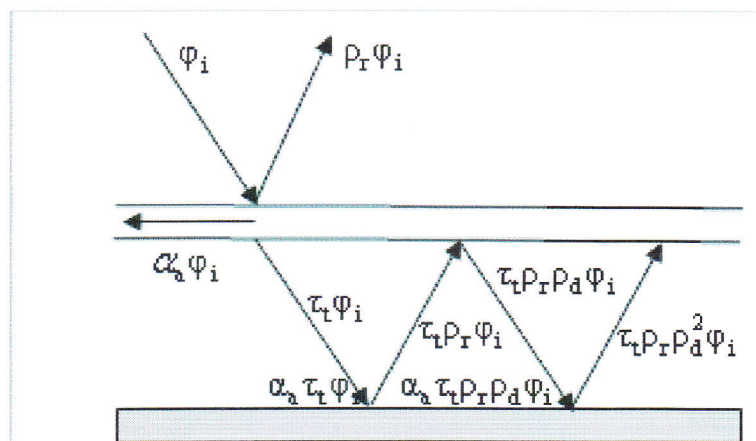


Figure II.6 L'effet de serre dans un capteur à air.

Le flux solaire à un instant donné, étant la somme d'un flux direct et d'un flux diffus :

$$\varphi_a = \varphi_i \frac{\tau_t \alpha_a}{1 - \rho_d (1 - \alpha_a)} + \varphi_d \frac{\tau_d \alpha_a}{1 - \rho_d (1 - \alpha_a)} \quad (\text{II.6})$$

Le rendement optique peut s'écrire :

$$n_0 = \frac{\varphi_a}{\varphi_g} = \frac{\alpha_a}{1 - \rho_d (1 - \alpha_a)} \left(\frac{\varphi_i \tau_t}{\varphi_g} + \frac{\varphi_d \tau_d}{\varphi_g} \right) \quad (\text{II.7})$$

Où φ_i , φ_d et φ_g sont respectivement les flux direct, diffus et global sur le plan du capteur. [24]

CHAPITRE III

Partie expérimentale

Introduction

Parmi les différents types de séchoirs solaires nous avons proposé dans notre étude expérimentale sur le séchoir indirect à convection forcée et à convection naturelle pour voir l'évolution et la distribution de la température.

III.1. Description du séchoir solaire forcé.

Le séchoir solaire étudié (figure III.1) est un séchoir solaire indirect à convection forcée, dont les éléments constitutifs sont :

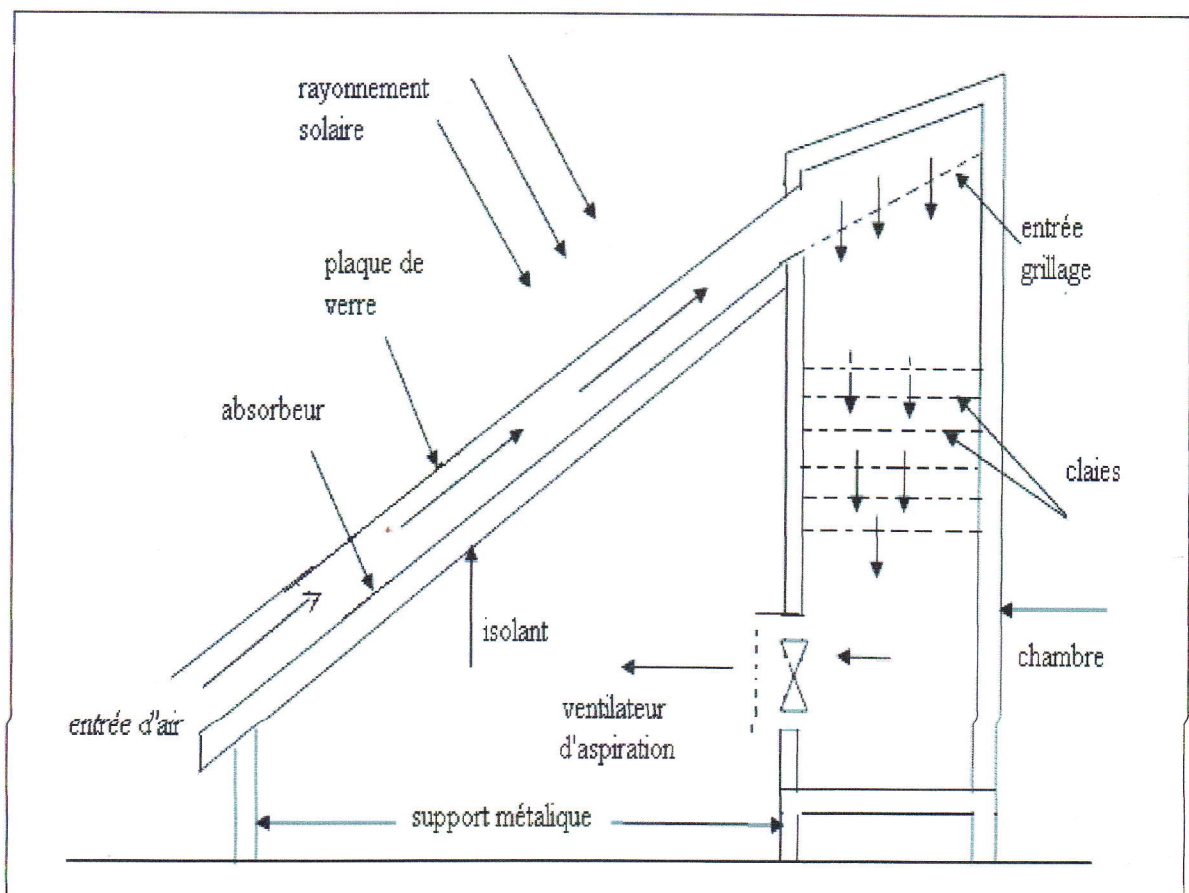


Figure III.1 : schémas descriptif du séchoir solaire forcé.

III.1.1. Le capteur solaire :

Le capteur solaire est un capteur à air plan de longueur de 2.5 m, une largeur à 1 m, et la hauteur est de 0,13m, le capteur est recouvert d'une plaque de verre d'épaisseur de 0.004 m, au dessous de cette plaque et à une distance de 0,06 m est déposée une plaque galvanisée peinte en noire mate qui sert d'absorbeur, les cotés latéraux, et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec le polystyrène. Le capteur est incliné d'un angle de 31° (l'altitude de la ville de Ouargla) par rapport au plan horizontal et orienté plein sud.

III.1.2. La chambre de séchage :

La chambre de séchage est une boîte galvanisée de forme cubique, de hauteur 2 m, de largeur 0,63 et de profondeur de 1 m. les parois latérales, et les parois inférieure et supérieure sont isolées thermiquement par du polystyrène d'épaisseur 0.006 m.

Le produit (les dattes) est déposé à l'intérieur de la chambre sur six (6) claies de forme rectangulaire composée chacune d'une cadre en bois sur lequel est fixé un grillage pour permettre le passage de l'air, ce dernier est évacué vers l'extérieur à l'aide d'un ventilateur.

III. 2. Description du séchoir solaire naturel.

Le séchoir solaire étudié (figure III.2) est un séchoir solaire indirect à convection naturelle, dont les éléments constitutifs sont :

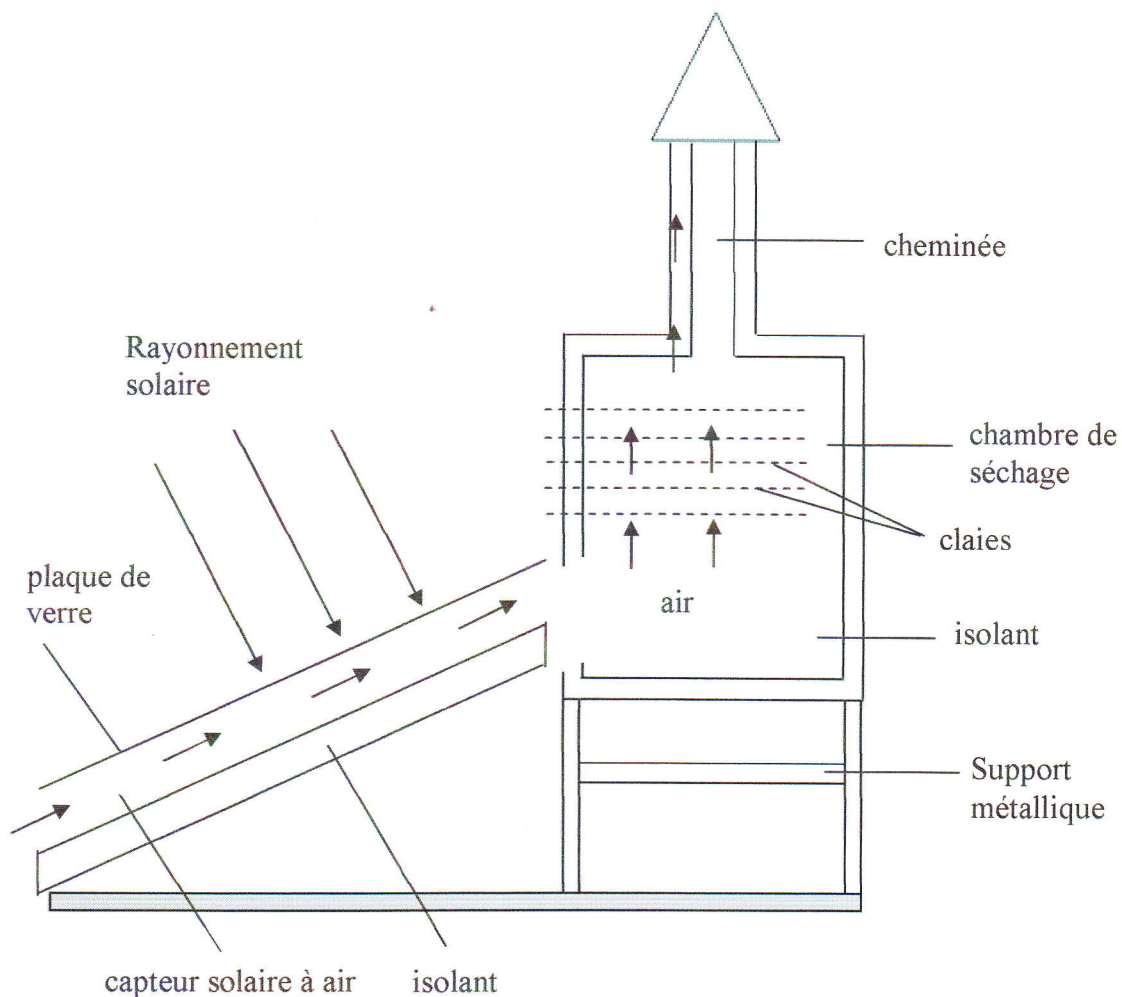


Figure III.2: schéma descriptif du séchoir solaire

III.2.1. Le capteur solaire.

Le capteur solaire est un capteur à air plan de longueur 2 m, une largeur 1 m, et la hauteur est de 0,13 m, le capteur est recouvert d'une plaque de verre d'épaisseur de 0,004 m, au dessous de cette plaque et à une distance de 0,06 m est déposée une plaque d'aluminium peinte en noire mate qui sert d'absorbeur, les cotés latéraux, et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec le polystyrène. Le capteur est incliné d'un angle de 31° par rapport au plan horizontal et orienté plein sud.

III.2.2. La chambre de séchage.

La chambre de séchage est une boite galvanisée de forme cubique, de hauteur 1 m, de profondeur de 0,8 m; les parois latérales, et les parois 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.

La chambre de séchage est posée sur un support métallique, les produits sont déposés à l'intérieur de la boite sur cinq (5) claies de forme rectangulaire composée chacune d'une cadre en bois sur lequel est fixé un grillage pour permettre le passage de l'air, les claies sont distantes les unes des autres de 10 cm.

III.3. Fonctionnement du séchoir solaire.

a- Séchoir force : L'air aspiré de l'extérieur par le ventilateur passe dans le capteur solaire. L'absorbeur permet de préchauffer l'air circulant dans le capteur et qui arrive dans la chambre de séchage où le produit est disposé sur des claies superposées.

b- Séchoir naturel : 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 les claies superposées. Enfin l'air asséchant est évacué vers l'extérieur à travers le cheminée solaire

III.5. Méthode de travail.

Pour suivre la quantité d'eau évaporée du produit au cours du séchage solaire, nous avons mesuré, le poids d'échantillon chaque 30 minutes à l'aide d'une balance, la température, la vitesse, le rayonnement et l'humidité. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau de 35%.

Les mesures de température, du rayonnement et de la vitesse de l'air sont effectuées.

La durée du séchage à réaliser quotidiennement entre (9 h et 17 h) à la fin de chaque la journée le produit est stocké dans un froid pour conservation des dattes.

III.7.L'étude expérimentale

Après la préparation de nos séchoirs solaires, le produit et les appareils de mesure, nous avons suivi les étapes.

Nous avons enregistré les valeurs des températures, des humidités et des vitesses de l'air ambiant et de l'air asséchant de deux séchoirs solaires chaque 30 minutes et nous avons pesé le produit chaque heure. [26]

III. 8. Résultats expérimentaux

Les résultats obtenus lors de cette étude sont les suivants :

Le 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.

La durée de séchage obtenu par les deux séchoirs (séchoir solaire indirect à convection naturel et forcé) se rapproche d'un écart d'une heure.

La masse du produit diminue régulièrement et rapidement et la distribution de la température, elle est homogène ou dattes par séchoir solaire indirect à convection forcée, cela est à cause de la présence de ventilateur (électrique) pour aspiré de l'air asséchant à l'extérieur de la chambre de séchoir forcée ; mais il diminue irrégulièrement et faible par séchoir solaire indirect à convection naturelle, car cet échappement de l'air asséchant de la chambre de séchoir par cheminée et a cause de l'hétérogénéité de la température de la dattes.[26]



CHAPITRE VI

Partie Simulation

Introduction :

A cause de l'absence d'homogénéité de la distribution de la température dans le séchoir naturelle nous voulons introduire dans notre expérience le simulateur FLUENT pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de notre séchoir vide et nous interprètent les résultats pour améliorer le séchoir.

VI.1. le code FLUENT:[27]**VI.1.1.Introduction :**

Le logiciel **FLUENT** est un code industriel qui comprend trois entités complémentaires utilisées dans le but de simuler, à l'aide de modèles mathématiques, des phénomènes physiques qui font intervenir du transfert de masse, de quantité de mouvement ou d'énergie.

VI.2. Méthode de travail :

Pour nous , nous avons commencé le traitement de séchoir par le cas réel :

1. maillage par le Gambit :

- Renommer le maillage. pour le cas réel. [séchoir 01] :figure(VI-1) .
- Solveur : FLUENT 5/6
- Les opérations :

Géométrie :



Création des points(vertex) (donner les dimensions des points)

P ₀ [0.0,0]	P ₁ [0. 0,06. 0]	P ₂ [1.714, 0.4, 0]	P ₃ [1.714, 0.49, 0]
P ₄ [1.714, 0.55, 0]	P ₅ [1.714, 1.2, 0]	P ₆ [2.0715, 1.2, 0]	P ₇ [2.0715, 2.2, 0]
P ₈ [2.156 , 2.2, 0]	P ₉ [2.156 , 1.2, 0]	P ₁₀ [2.514, 1.2, 0]	P ₁₁ [2.514, 0.55 ,0]
P ₁₂ [2.514, 0.49, 0]	P ₁₃ [2.514, 0.4, 0]	P ₁₄ [2.156, 0.4 , 0]	P ₁₅ [2.0715, 0.4, 0]

Les dimensions sont en mètres (m).



Création des lignes (edges).[relier entre les tous points pour la création des dix-neuf (19) lignes]

■ Création des surfaces (faces) [on a cinq (05) surfaces

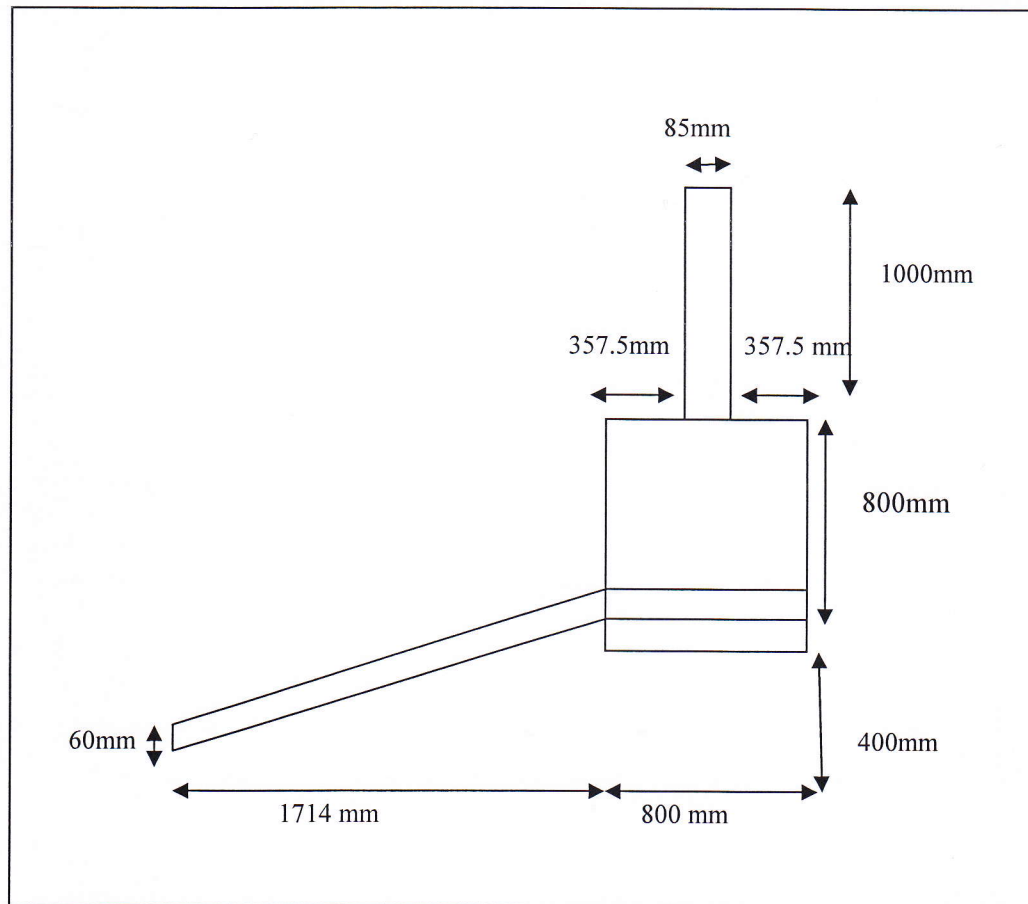


Figure (VI-1) les dimensions de notre séchoir réel

Maillage (Mesh):



Zone:



Zone 1 :

Specify Boundary types (nom, type)

- conditions aux limites
- [P0,P1] l'entrée de séchoir : une faible vitesse d'air.
- [P1 ,P4] : vitre (type : mur) :à une température fixée.
- [P0,P3] : l'absorbeur (type : mur)à une température fixée .
- [P7,P8] la sortie de séchoir :une pression atmosphérique à la sortie.

**le reste zones sont des zones adiabatiques (type : mur).

Mesh : edges , face

- On a cinq (05) surfaces sont:
- ([P1, P0] , [P0, P3] , [P3, P4] et [P4, P1]) surface 01.
- ([P2, P3], [P3, P12] , [P12, P13] et [P13, P2]) surface 02
- . [P3, P4], [P4, P11], [P11, P12] et [P12, P3]) surface 03
- ([P4, P5], [P5, P6], [P6, P9] et [P9, P10], [P10, P11] et [P11, P4]) surface 04
- ([P6, P7], [P7, P8] et [P8, P9]) surface 05.

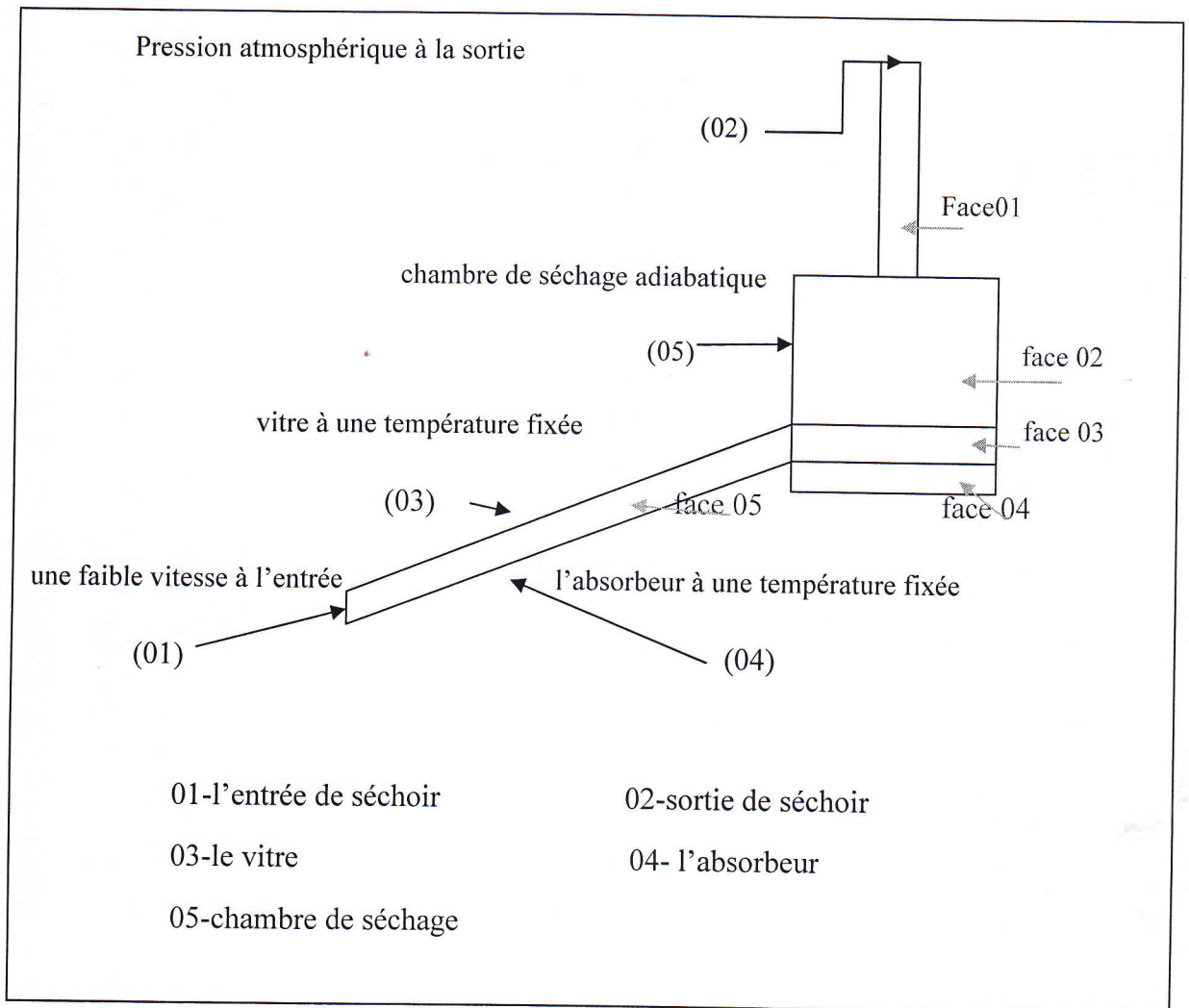
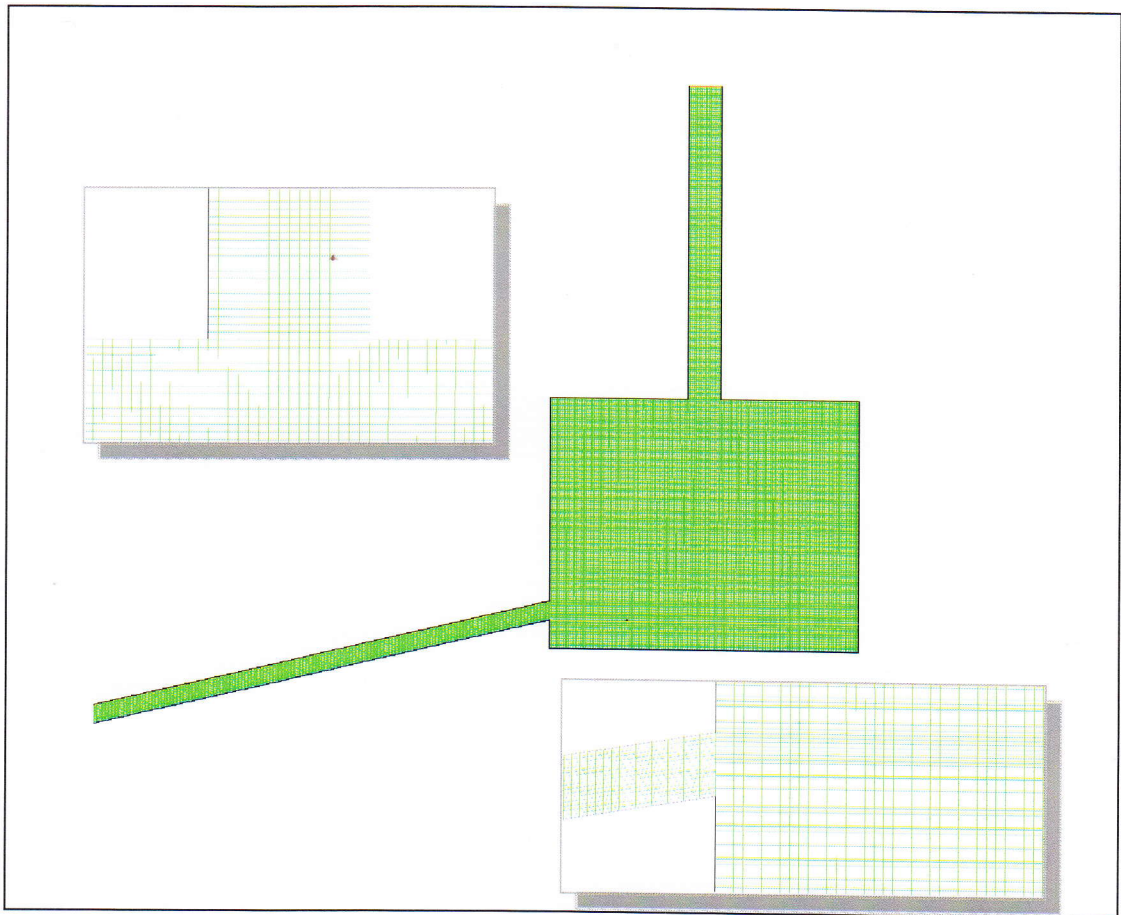


Figure (VI-02) les surfaces de maillage avec les condition aux limites

Intervalle count : on a un maillage raffinerie .

On divise :

- [P0,P1] , [P3,P4]et [P11 ,P12] sur 15.
- [P2, P3] et [P12,P13]sur 20.
- [P2, P13] , [P3, P12]et [P4,P11] sur 160.
- [P4, P5] et[P10,P11] sur 130 .
- [P5,P6] et[P9, P10] sur72 .
- [P6, P7]et [P8, P9] sur 200.
- [P0, P3] et [P1, P4]sur 400.
- [P6,P9] et [P7,P8]sur 16.



Figure(VI-03)Adaptation de maillage de séchoir à partir le Gambit

On a une maillage structurelle d'après la figure(VI-03).



• Zone 2 :

Type de fluide (air) c'est qui s'écoule dans les cinq (05) surfaces de séchoir.

Remarque :chaque fois ,nous allons faire des vérifications sur notre maillage pour adapter le maillage , un maillage bien adapté c'est-à-dire une meilleur simulation .

2. Conservation de maillage

[file, save]

[file, export , Mesh] dans le disque local C .

[file ,Exit ,NO] pour fermer le Gambit.et fermer l'Exced.

3. Solveur FLUENT6,3 :

2ddp (deux dimension a double précisions [Run]

*FLUENT (2d, dp ,pbns)

[File, Read, case] au disque local C. (documents and setting ,DELL, ...Mesh)

[Grid, Check],[Grid, Info, Save]

• Début des opérations :

[Define,.....]

On a : un régime laminaire pour l'écoulement de l'air.

Un transfert de chaleur avec gravité.

[Define, Boundary Conditions]

*les données réel de séchoir (01) et les conditions aux limites :

Le temps (h)	Température d'entrée de séchoir(capteur) (°C)	Température de sortie de séchoir(chemine) (°C)	Température de vitre (°C)	Température d'absorbeur (°C)
11:30	39	49.3	56.4	84.5
12 :00	40.3	56.7	62.2	91.2
12 :30	39	58.3	65	95
13 :00	42	62.1	67	97
13 :30	40	62	67	96
15 :00	41	58.9	61.5	87.5
15 :30	40	56.5	58.5	82
16 :00	40.4	54.8	55	77
Température moyenne (T_{moy}) En [K]	313.21	330.22	334.57	361.77

Tableau (VI.1) l'évolution de la température en fonction du temps [03/06/2008] séchoir naturelle vide.

Pour cela, on va ramener les mêmes données réel dans le simulateur FLUENT pour étudier l'écoulement de l'air dans la même géométrie de séchoir 01.

- **Vitesse d'entrée faible** « 0.08m/s » avec une température moyenne à l'entrée $T_{\text{moy}} = 313.21\text{K}$.
- **Pression atmosphérique** à la sortie de séchoir avec une température constante $T_{\text{moy}} = 330.22\text{K}$.
- **Un vitre** à une température moyenne constante $T_{\text{moy}} = 334.57\text{K}$.
- **Un absorbeur** à une température fixée $T_{\text{moy}} = 361.77\text{K}$.
- La chambre de séchage est adiabatique.

- $B=0.0032[1/K]$ (coefficient de la dilatation)
- Densité =1.2 kg/m (bousineq)

Zone name [Solve , Control, Control Solution]

- Energie = 0.5 (au Windows de control solution pression :PRESTO ! les autres paramètres sont changées et égales à 0.5 sauf la paramètre pression=0.3).

*[Solve, Initialize, Solution Initialize] départ de solution.

*[Define, ...] tout les zones.

*[Solve, control, monitor, residual] **Residual monitor (ok)

*[Solve, iterate] **itération après 4000 itérations (on additionne l'itération si le programme ne converge pas).

- Les résultats de la simulation de séchoir 01 par le FLUENT sont les suivants :

1. les résidus :

*[Display, ...,] les résultats dans cet courbe :

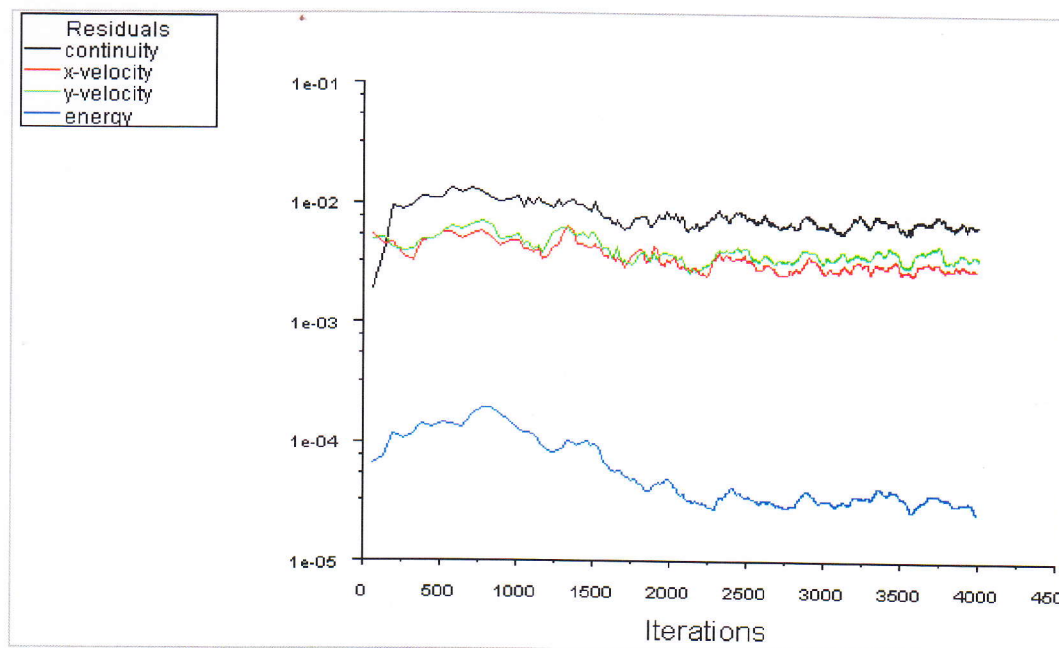


Figure (VI-04) Evolution de résidu pour le séchoir 01

On a simulé l'écoulement (convection naturelle) dans le séchoir solaire les résultats nous a permis de dire ; après 4000 itérations on remarque que les résidus de l'équation d'énergie

d'ordre (10^{-4}), l'équation de continuité, l'équation de N-S de la vitesse suivant x et l'équation de N-S de la vitesse suivant y de (10^{-2}) (Figure (IV-05))

2. Evolution les lignes de courant au niveau de séchoir 01:

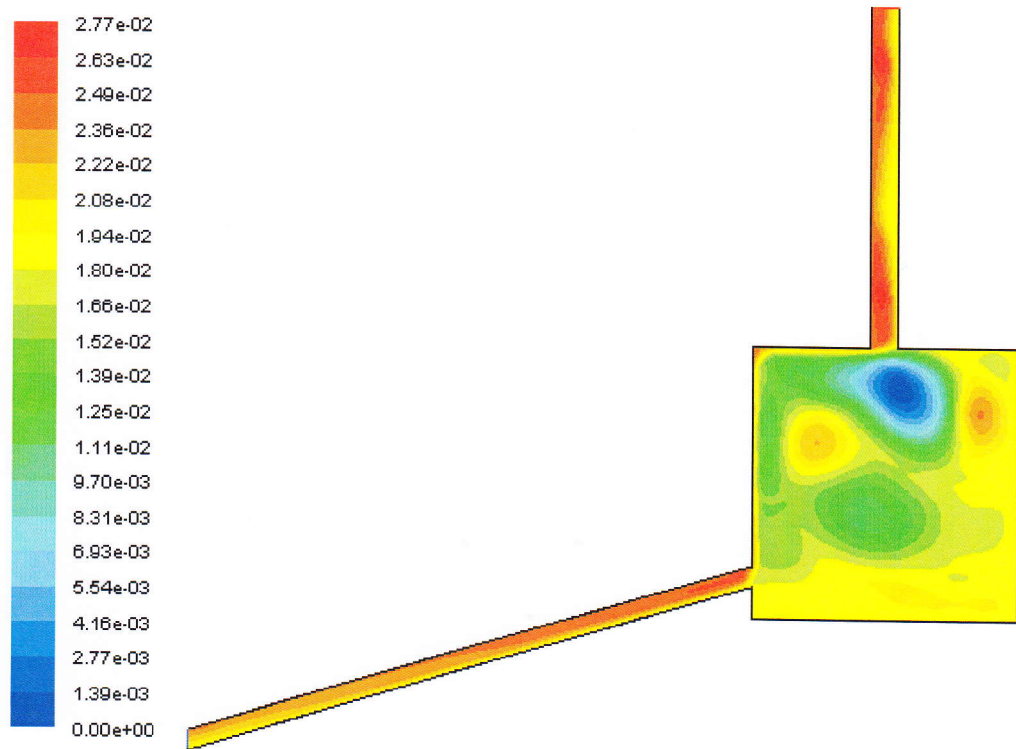


Figure (VI-05) Evolution des lignes de courant en (m^3/s) dans le séchoir 01 (fild)

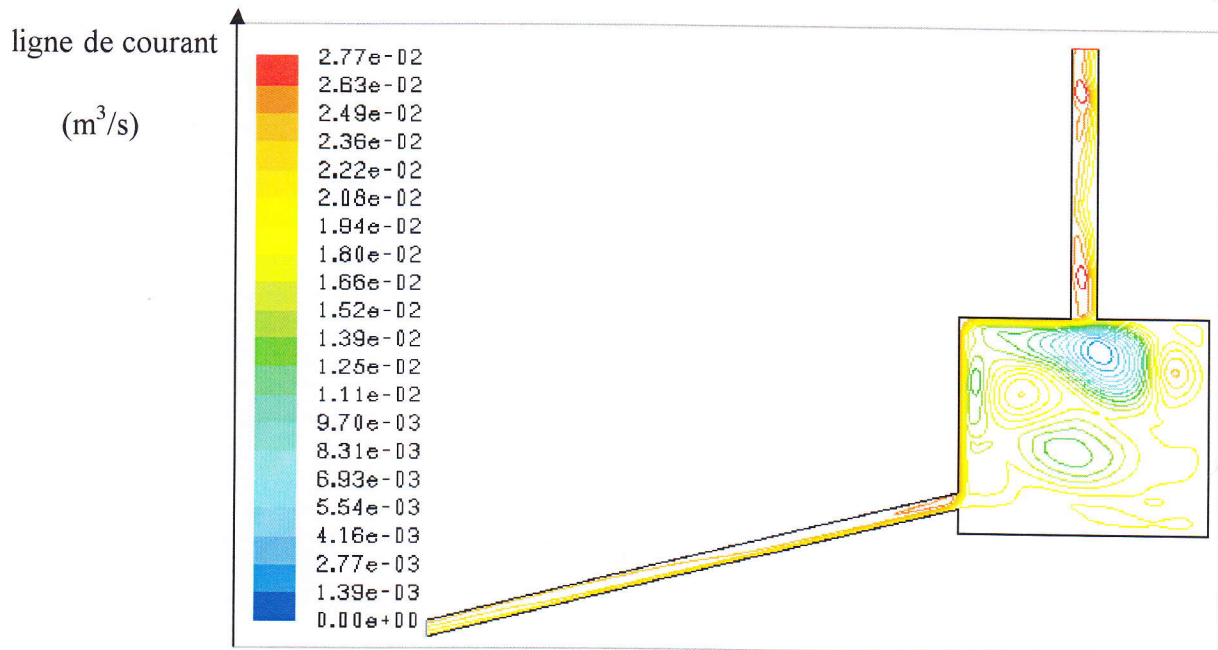


Figure (VI-06) Evolution des lignes de courant en (m^3/s) dans le séchoir 01 (sans fild)

La figure (VI-06) présente les lignes de courant dans le séchoir .On remarque :

- Les lignes de courant est maximale à l'entrée de séchoir même à l'entrée de la chambre, Dans la chambre de séchage, il y'a un gradient vertical de courant en fonction de leur hauteur
- une recirculation d'air dans la chambre même que à la cheminée
- on remarque la couche en rouge (courant maximale) dans la cheminée donc la température dans cette zone va augmenter jusqu'à la sortie de séchoir.

3.Evolution de la vitesse de l'air :

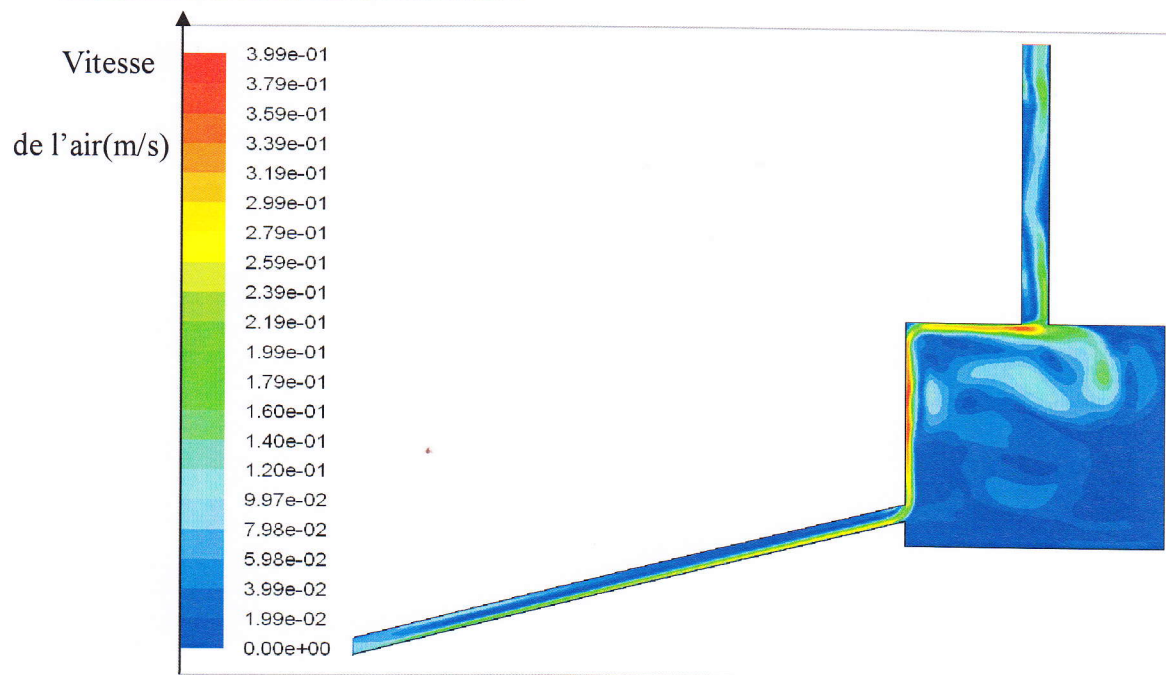


Figure (VI-07) Evolution de la vitesse de l'air en(m/s) dans le séchoir 01

Pour la vitesse de l'air (Figure (VI-07)) on a une faible vitesse à l'entrée de séchoir 01, elle augmente intégralement jusqu'à l'entrée de la chambre ou la vitesse fait une participation aléatoire . Une vitesse maximale (couche rouge) à la haute section de la chambre.

Une recirculation du vitesse de l'air dans la chambre même que dans la cheminée, cette recirculation engendre des vitesses minimale (couche bleu).

4. L'évolution de les isothermes :

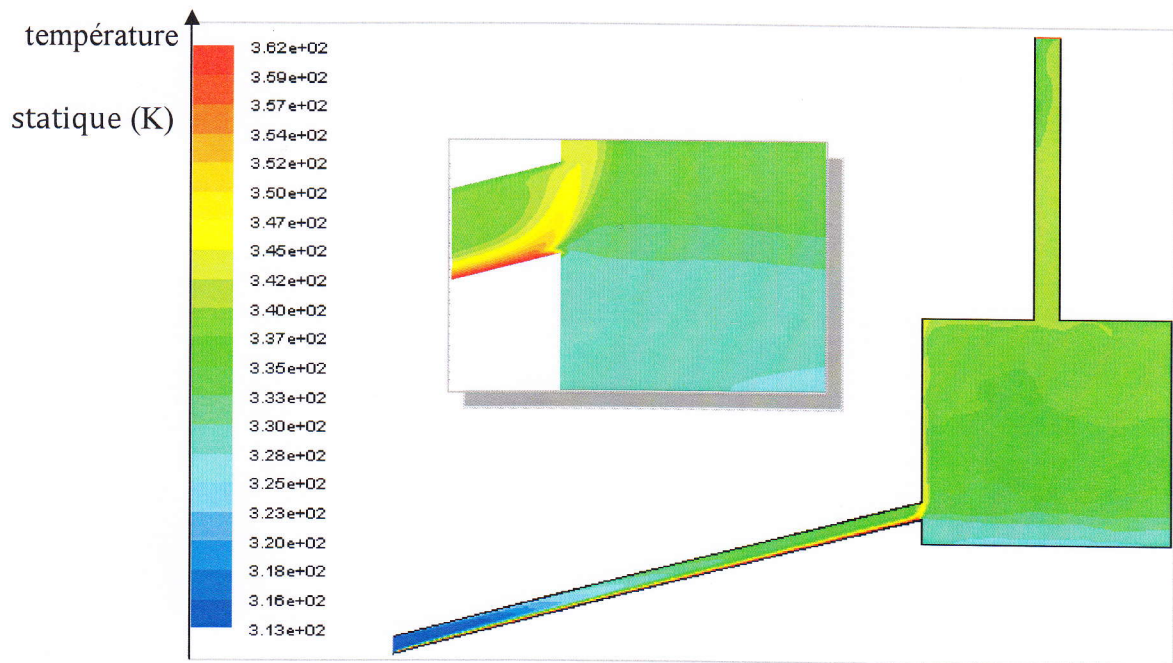


Figure (VI-08) L'évolution de les isothermes en (K) dans le séchoir 01(avec fild)

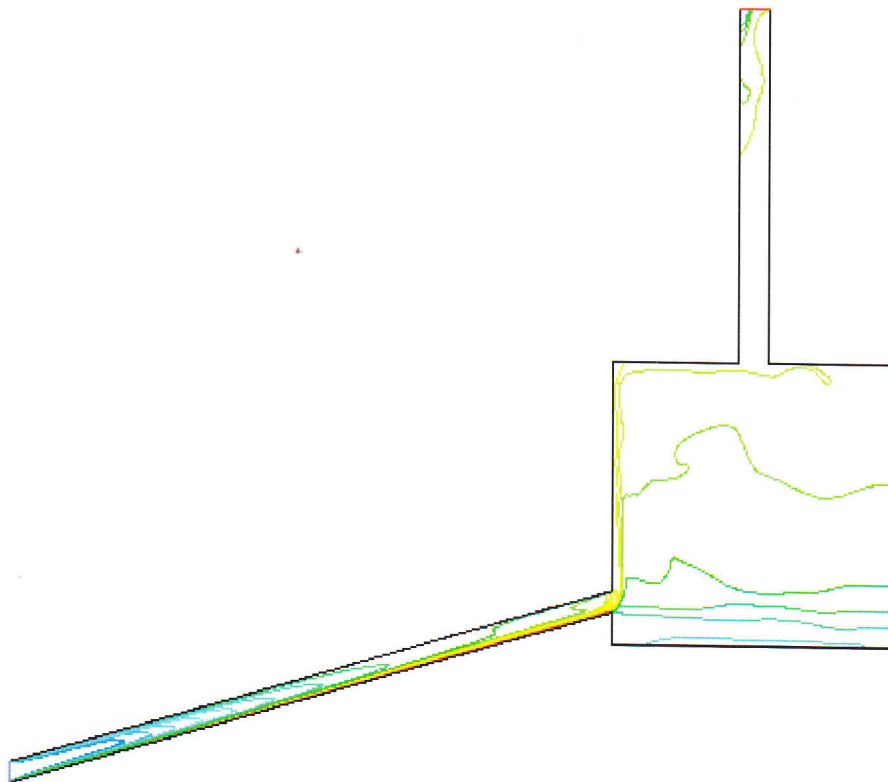


Figure (VI-9) L'évolution de les isothermes en (K) dans le séchoir 01(sans fild)

Dans la figure ((VI-08), (VI-09)) on a :

- gradient du température dans l'entrée de séchoir jusqu'à l'entrée du chambre maximum de la température (couche rouge).

- On remarque aussi, une stratification en température de l'air dans le haut de la chambre à cause du gradient vertical de la température, c'est-à-dire que les couches de l'air ont des températures différentes en fonction de leur hauteur.
- mais on remarque une zone froide ou bas de la chambre duquel elle influée négativement sur la distribution de la température et le séchage.
- A l'entrée de la cheminée on remarque la disparition de la couche en rouge (la température maximale) donc la température dans cette zone va diminuer jusqu'à la sortie de la cheminée.
- D'après les résultats qu'on a vue , on va propose des positions sur l'axe (OY) au long de séchoir c'est-à-dire les position locales des claies de séchage pour étudier la distribution de la température dans cette positions .

Les positions sont :

Y=0.41 m Y=0.49 m Y=0.52 m Y=0.55 m Y=0.6 m
 Y=0.7 m Y=0.8 m Y=0.9 m Y=1 m Y=1.15m

pour l'axe (OX) : x=1.714 m (début) ; x=2.514 m (final)

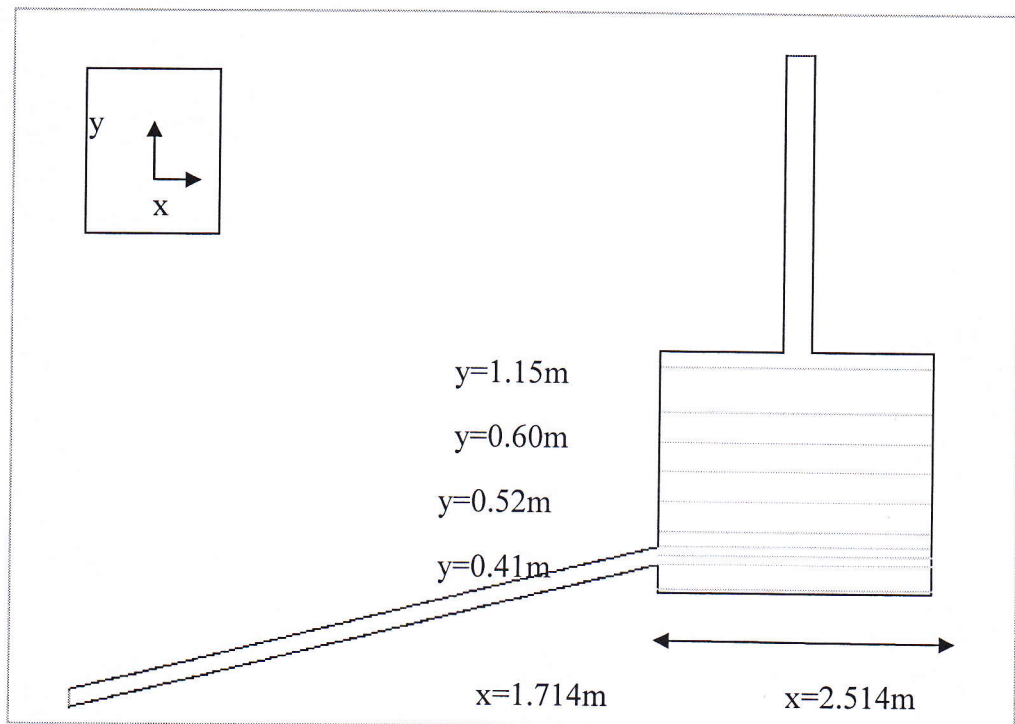


Figure (VI-10) Les positions de la distribution de la température

Les résultats dans ce tableau d'après la simulation :

Y= (m)	Température / surface(k/m ²)	Température(k)
Y=0.41	362.2208	327.776
Y=0.49	264.9825	331.228
Y=0.52	266.9957	333.745
Y=0.55	267.9073	334.884
Y=0.6	268.5032	335.629
Y=0.7	268.9886	336.236
Y=0.8	269.4726	336.841
Y=0.9	270.3534	337.942
Y=1	270.6514	338.3142
Y=1.15	271.1198	338.899

Tableau (VI-02) la distribution de la température selon les positions à l'axe (oy) dans le cas réel

chaque surface =0.8m².

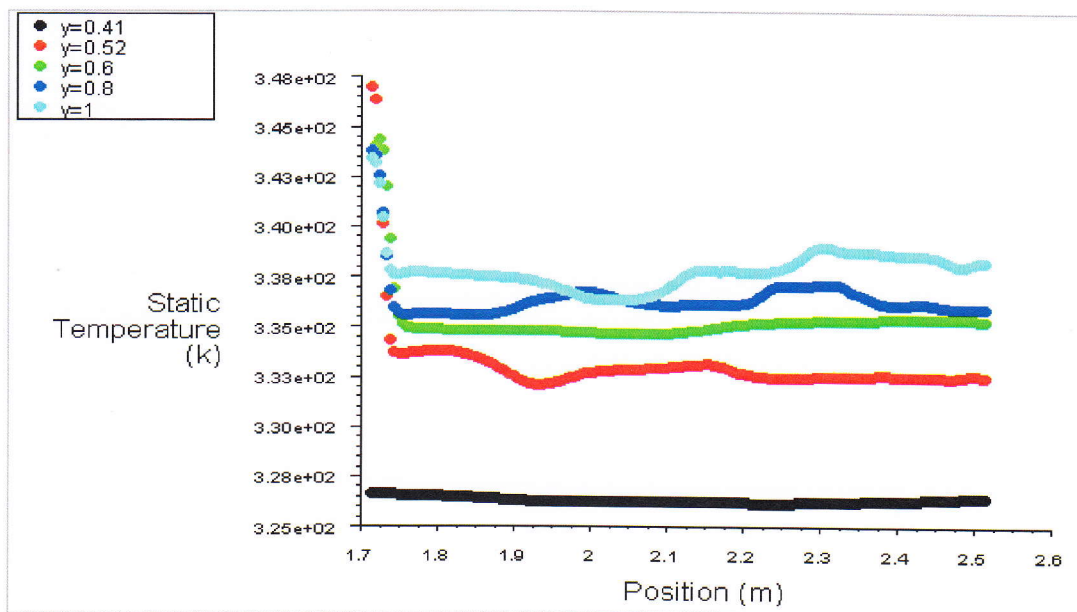


Figure (VI-11) La distribution de la température selon les positions dans le cas réel (séchoir 01)

On a remarqué d' une hétérogénéité de la température sur toutes les positions (axe (OY) de la chambre de séchage (figure (VI-11)

- $y=0.41\text{m}$, $T_{\text{moy}}=327.776\text{k}$ jusqu'à
- $y=1.15\text{m}$, $T_{\text{moy}}=338.99\text{k}$

on remarque dans ce cas la distribution de la température elle n'est pas parfaite dans la chambre de séchage.

- On peut dire que notre étude de la simulation est positive puisque les résultats qu'on a obtenus presque les mêmes qu'on a déjà donnée .

➤Le but de séchoir est de maximisée la température de séchage (température du chambre de séchoir), pour cet raison ,nous allons proposer deux améliorations pour plus :

- Amélioration de la section de la cheminée
- l'élimination de la zone latérale (la zone froide).

1. Amélioration sur la section de la cheminée : (120mm)

Nous avons faire même traitement pour le maillage et la simulation (les dimensions de cet séchoir dans l'annexe 03)

- ❖ Les résultats obtenus par le simulateur FLUENT ;sont présentés ci-dessous :

1. l'évolution des résidus :

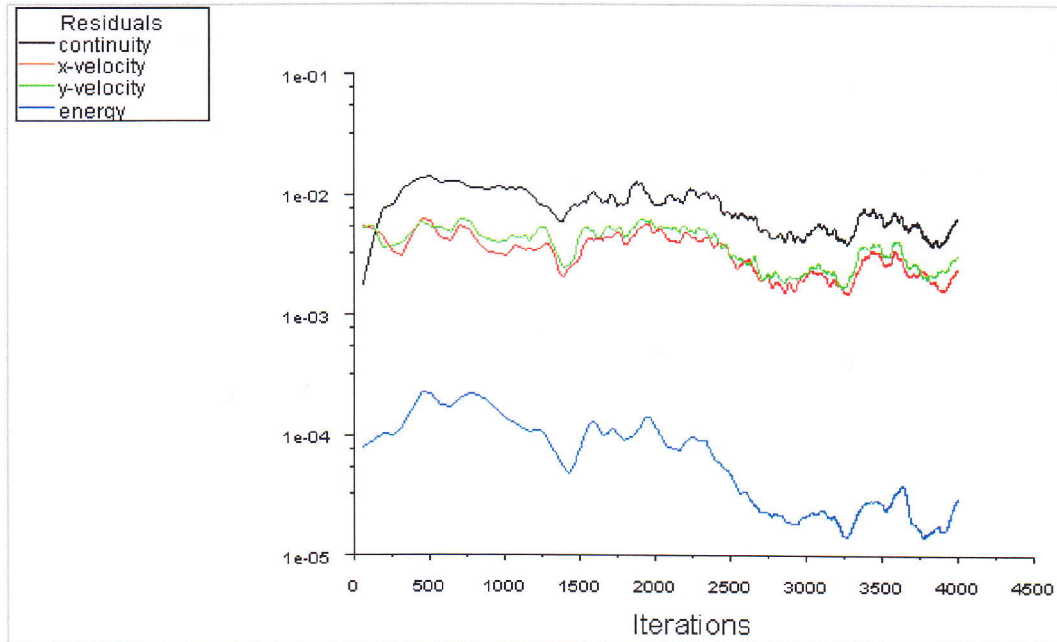


Figure (VI-12) Evolution des résidus pour le séchoir 02

On a simulé l'écoulement (convection naturelle) dans le séchoir solaire les résultats nous a permis de dire. Après 4000 itérations on remarque que les résidus de l'équation d'énergie (10^{-4}), l'équation de continuité, l'équation de N-S de la vitesse suivant x et l'équation de N-S de la vitesse suivant y de (10^{-2}) (Figure (IV-12))

2. Evolution des lignes de courant dans le séchoir 02:

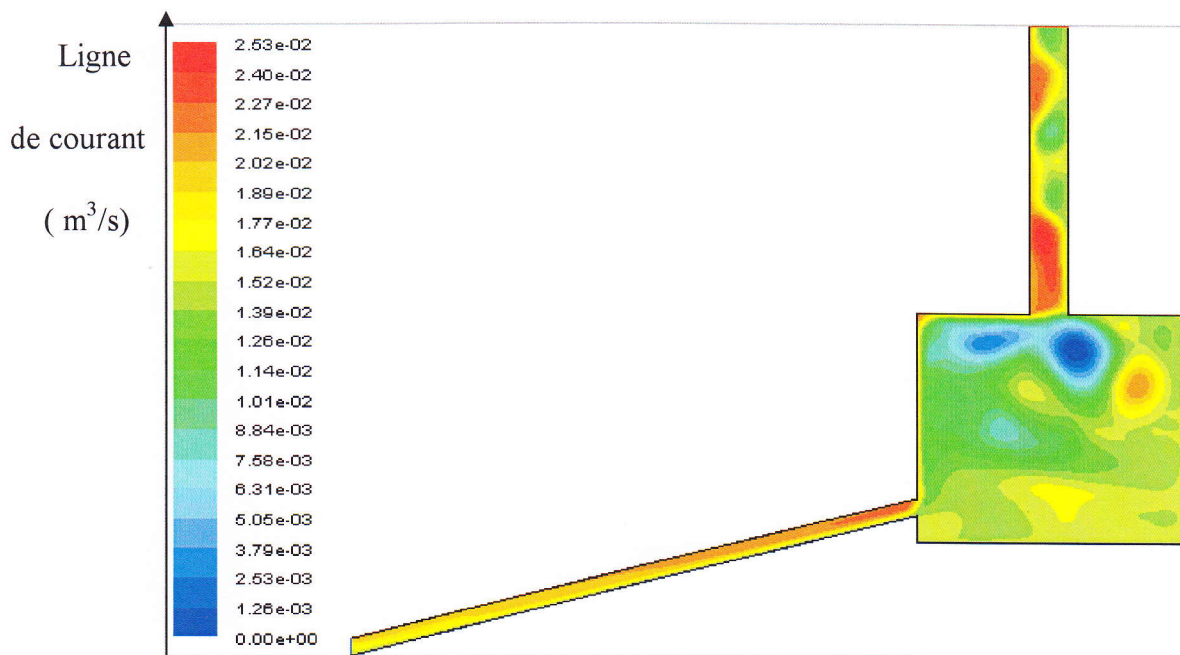


Figure (VI-13) évolution les lignes de courants en(m³/s) dans le séchoir 02avec fild)

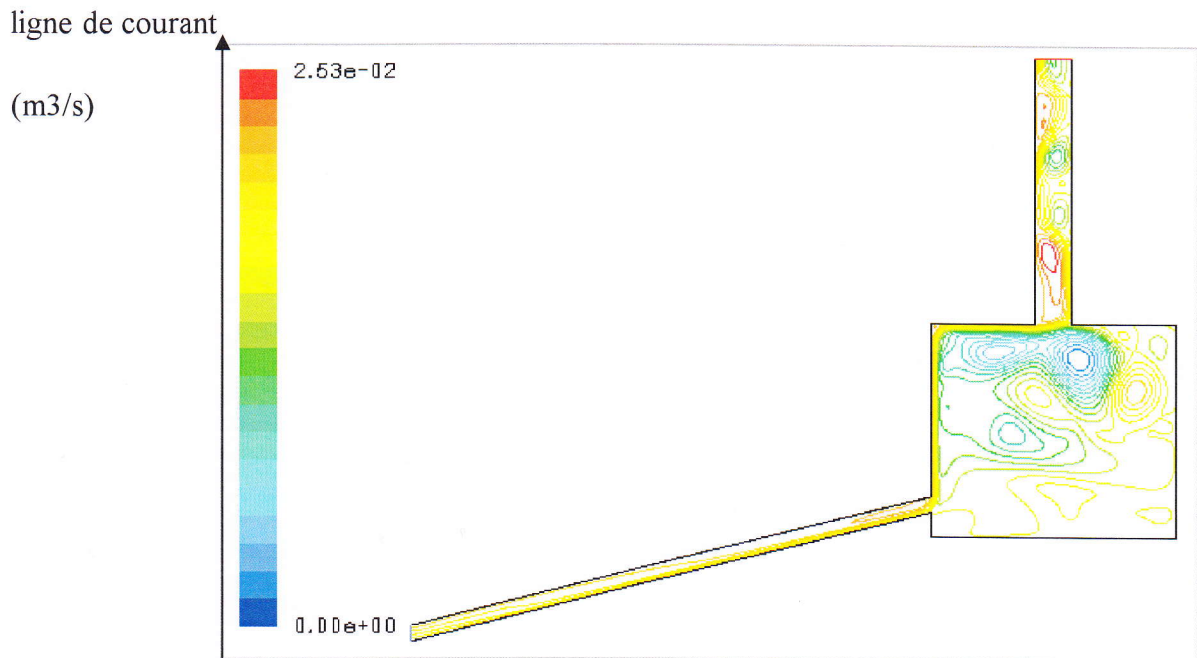


Figure (VI-14) évolution des lignes de courant(m³ /s) de séchoir 02(sans fild)

On remarque :

Des lignes de courant maximale dans le capteur solaire (l'entrée de séchoir).

- un gradient vertical de courant en fonction de leur hauteur.
- des courant minimales (une couche bleu) à la haut de la chambre
- Des lignes minimales à la cheminée.
- Une recirculation de courant dans la chambre de séchage et dans la cheminée.

3. Evolution de la vitesse de l'air

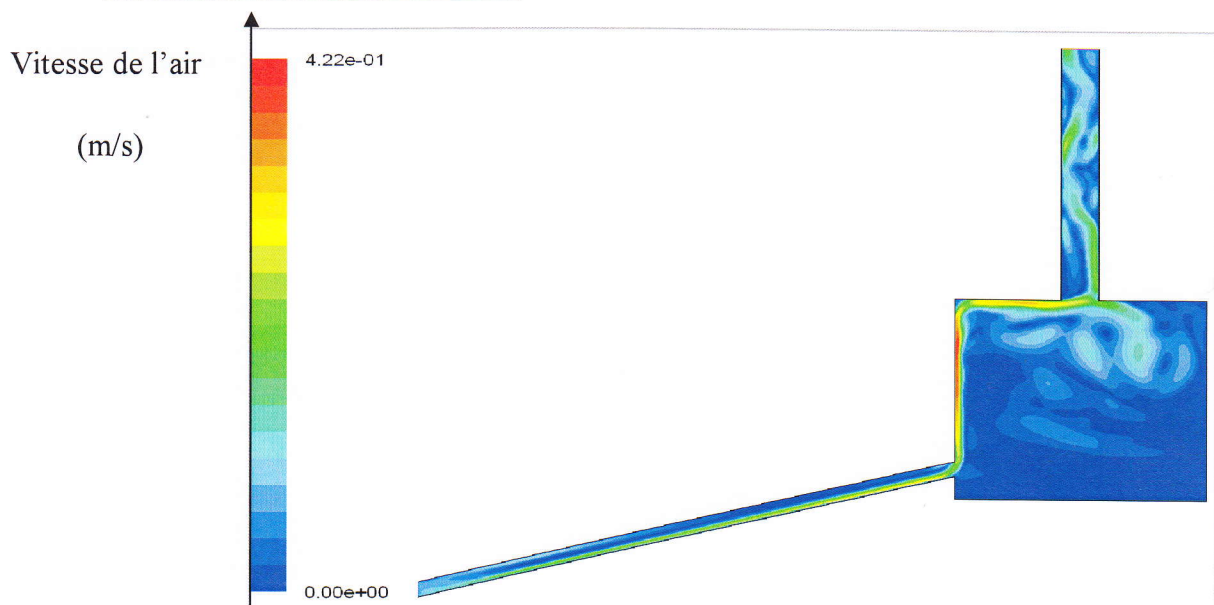


Figure (VI-15) évolution de la vitesse de l'air en (m/s) pour le séchoir 02

La figure (VI-15) présente l'évolution de la vitesse de l'air de le séchoir 02 , on remarque :

- Une faible vitesse à l'entrée de séchoir, elle augmente jusqu'à l'entrée du chambre de séchage.
- Une couche rouge (vitesse maximale) graduellement en fonction de la hauteur ; et dans le haut de la chambre.
- Une forte vitesse à la sortie de séchoir 02 avec recirculation de l'air.
- Vitesse moyenne avec une recirculation dans les autres zones de séchoir

4. L'évolution de les isothermes dans le séchoir 02

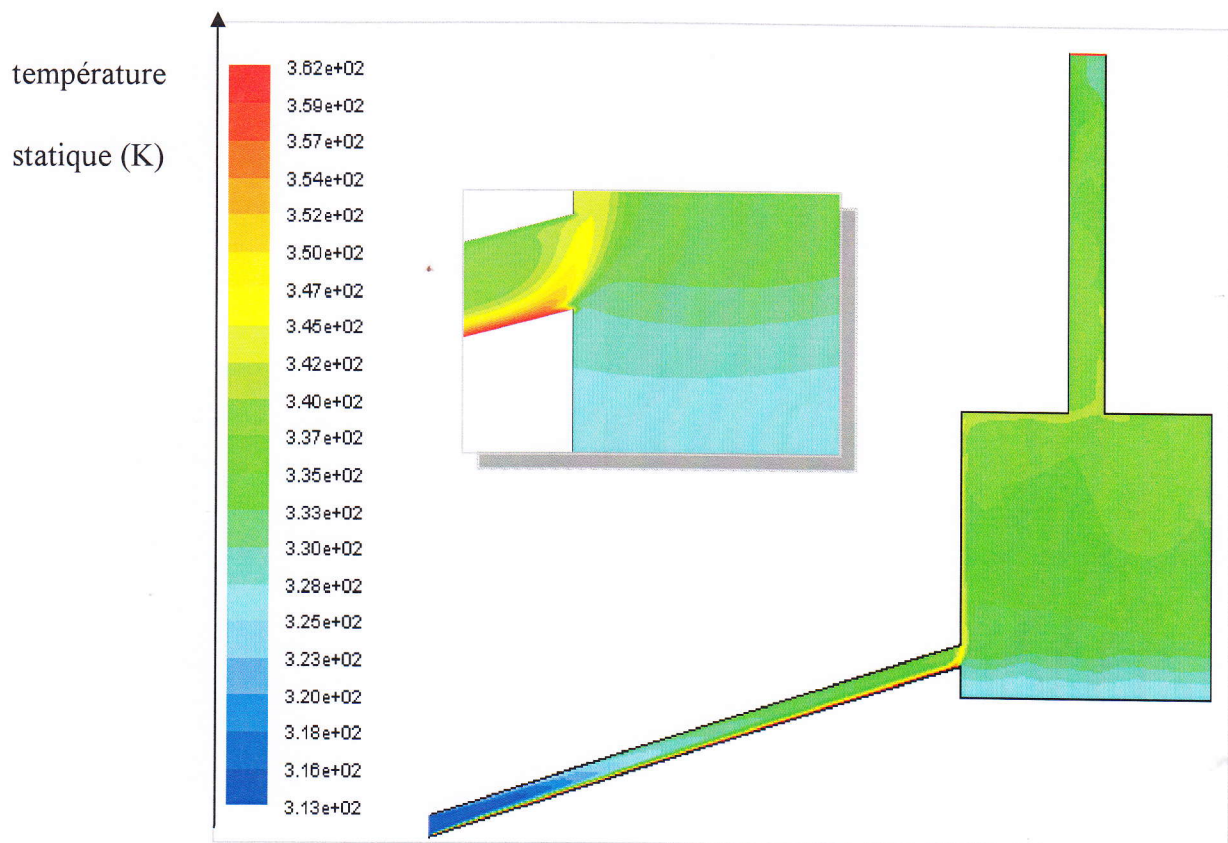


Figure (VI-16)les isothermes (T_{moy} en K) dans le séchoir 02

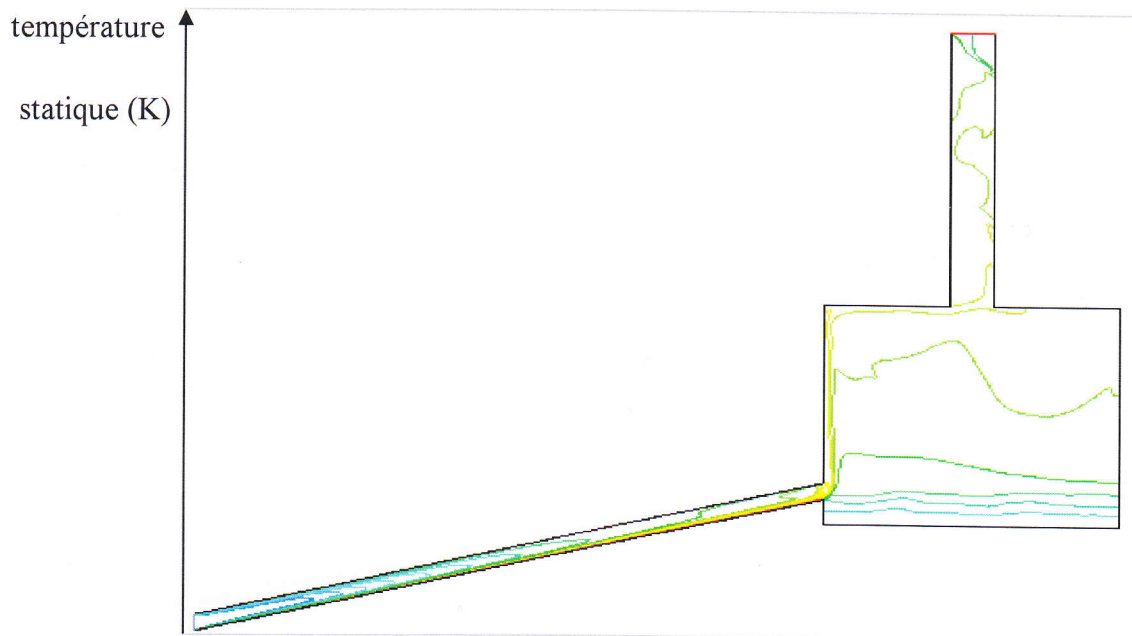


Figure (VI-17) les isothermes (T_{moy} en K) dans le séchoir 02(sans fil)

On remarque une homogénéité de la distribution de la température dans le séchoir ; il y'a toujours une zone froide au bas du chambre de séchage.

- Même proposition pour différentes positions de la distribution de la température .
- le tableau suivant explique les résultats de la simulation :

Y= (m)	Température / surface (k/m^2)	Température (k)
Y=0.41	261.0854	326.3567
Y=0.49	264.3095	330.3868
Y=0.52	266.476	333.095
Y=0.55	267.5273	334.4091
Y=0.6	268.2232	335.276
Y=0.7	268.6541	335.8176
Y=0.8	269.0803	336.3504
Y=0.9	269.9605	337.4506
Y=1	270.2457	337.8071
Y=1.15	270.8248	338.531

Tableau (VI-03): la distribution de la température selon les positions pour le séchoir 02

Chaque surface de $=0.8\text{m}^2$

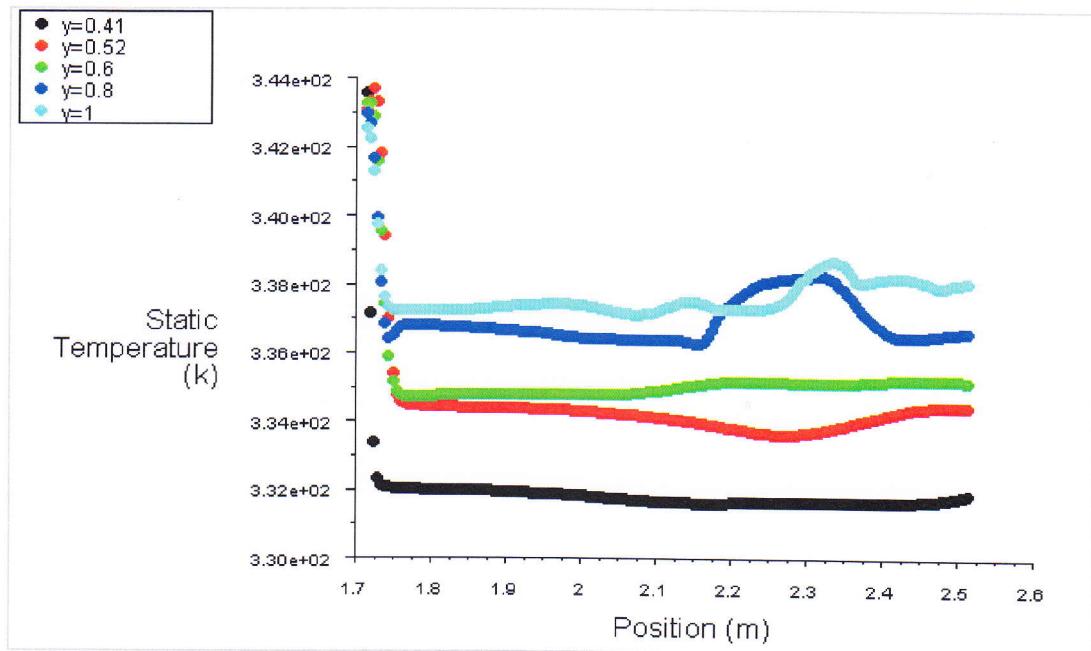


Figure (VI-18) La distribution de la température selon la position le cas de séchoir 02

Malgré l'amélioration sur la section de la cheminée on a remarqué une perte de la température dans la chambre de séchoir (02) a cause de la zone froide .

$Y=0.41\text{ m}$, $T_{\text{moy}}=326.357\text{ K}$, elle va augmente jusqu'à $y = 1.15\text{m}$ la température moyenne a une valeur de 338.531 K

2. L'élimination de zone latérale froide de séchoir solaire 02

❖ cet cas représente le séchoir 03 :

Les mêmes étapes pour le maillage et pour le traitement comme les deux (les dimensions de cet cas est dans l'annexe 03)

1. L'évolution des résidus pour le séchoir 03 :

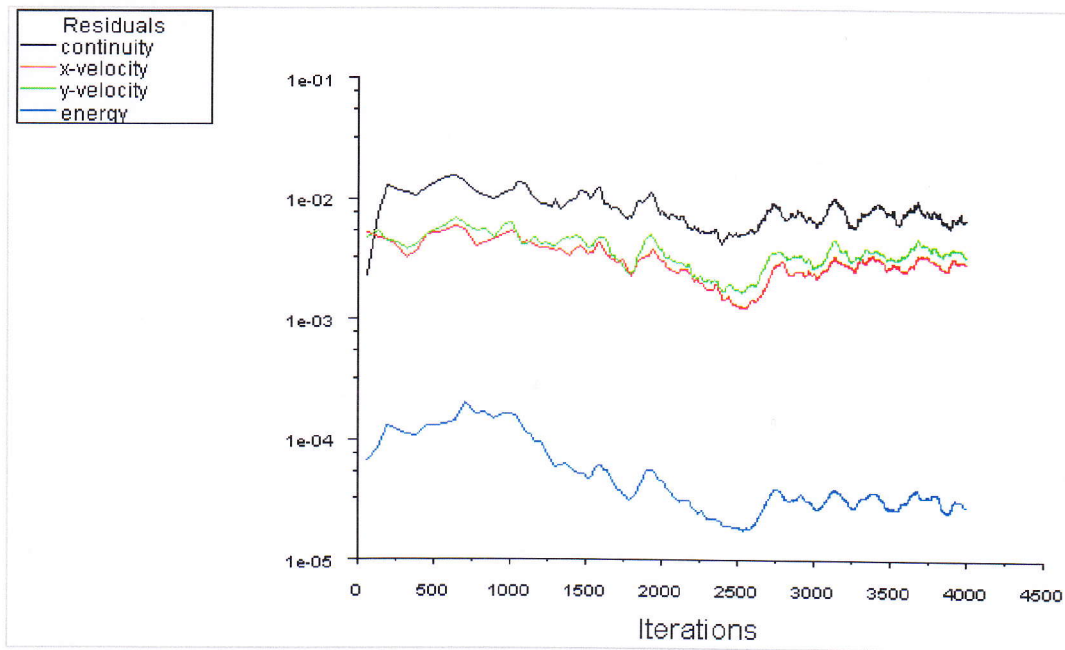


Figure (VI-19) Evolution des résidus de séchoir 03

On a simulé l'écoulement (convection naturelle) dans le séchoir solaire les résultats nous a permis de dire. Après 4000 itérations on remarque que les résidus de l'équation d'énergie (10^{-4}), l'équation de continuité, l'équation de N-S de la vitesse suivant x et l'équation de N-S de la vitesse suivant y de (10^{-2}) (Figure (IV-19))

2. L'évolution des lignes de courant dans le séchoir 03:

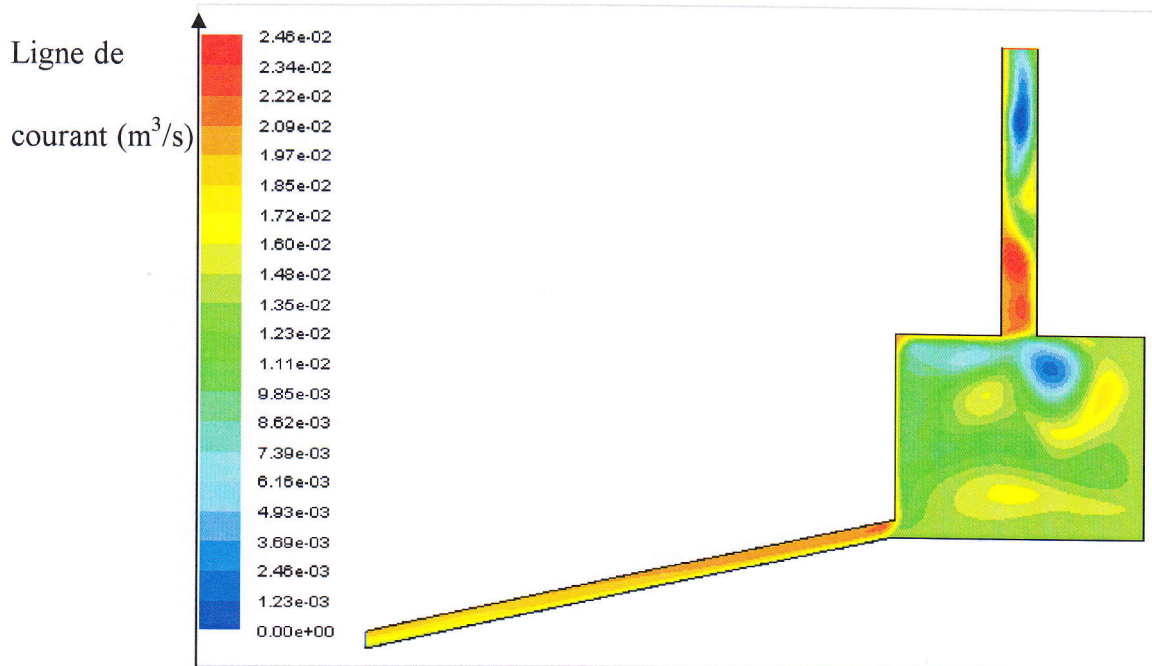


Figure (VI-20) évolution des lignes de courant (en m³ /s) dans le séchoir 03(avec fil)

1. L'évolution des résidus pour le séchoir 03 :

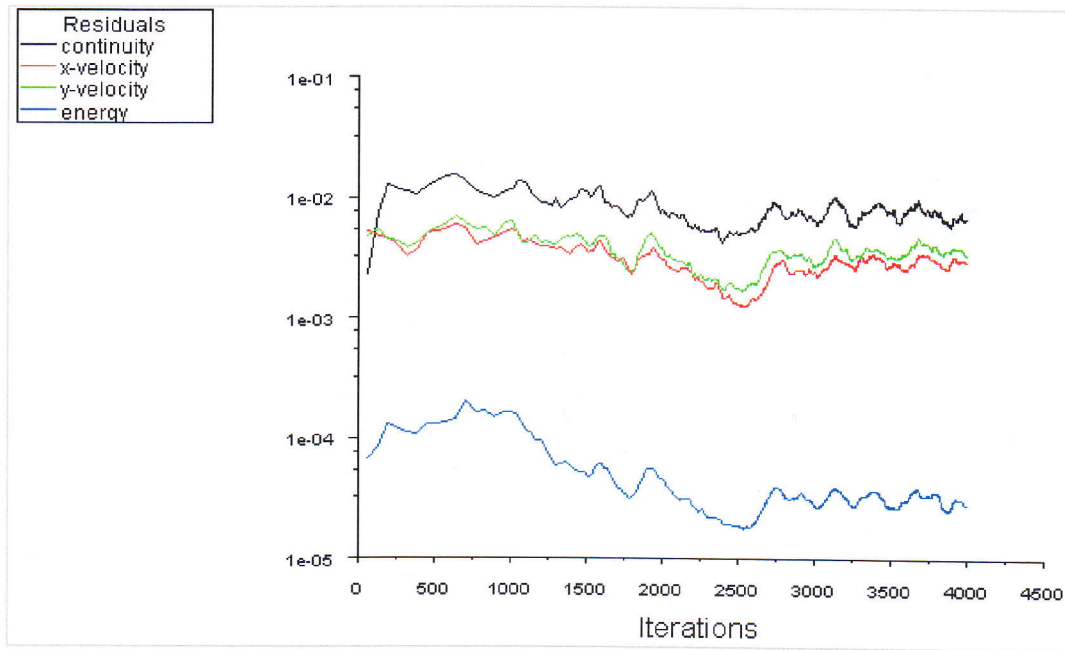


Figure (VI-19) Evolution des résidus de séchoir 03

On a simulé l'écoulement (convection naturelle) dans le séchoir solaire les résultats nous a permis de dire. Après 4000 itérations on remarque que les résidus de l'équation d'énergie (10^{-4}), l'équation de continuité, l'équation de N-S de la vitesse suivant x et l'équation de N-S de la vitesse suivant y de (10^{-2}) (Figure (IV-19))

2. L'évolution des lignes de courant dans le séchoir 03:

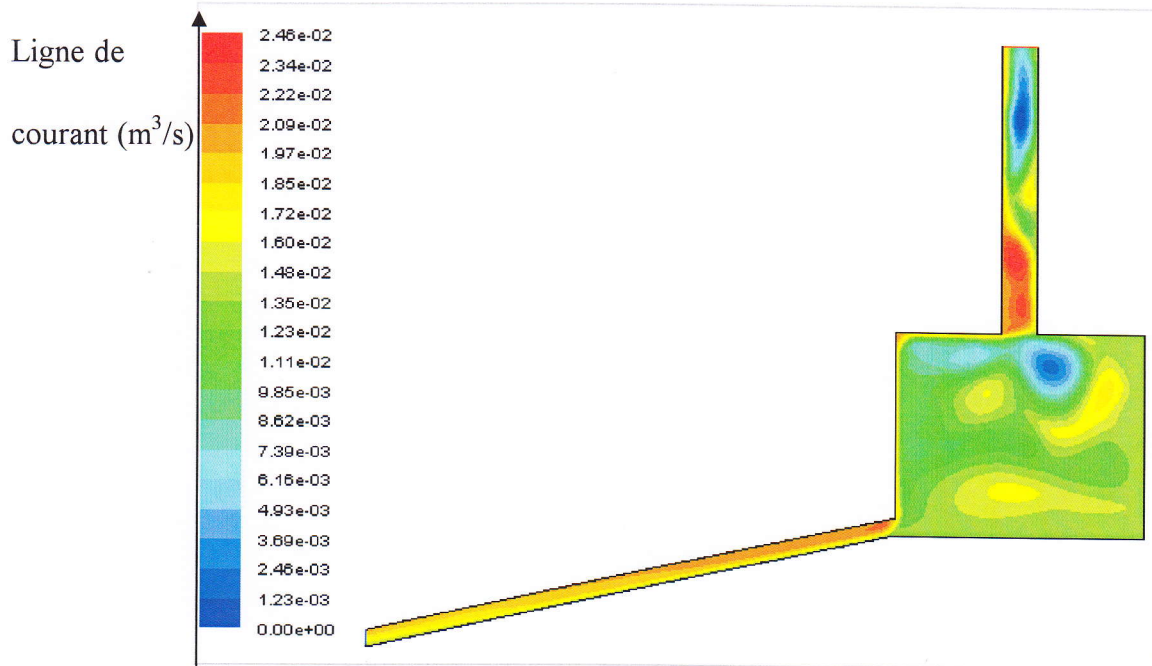


Figure (VI-20) évolution des lignes de courant (en m³ /s) dans le séchoir 03(avec fil)

Ligne de courant

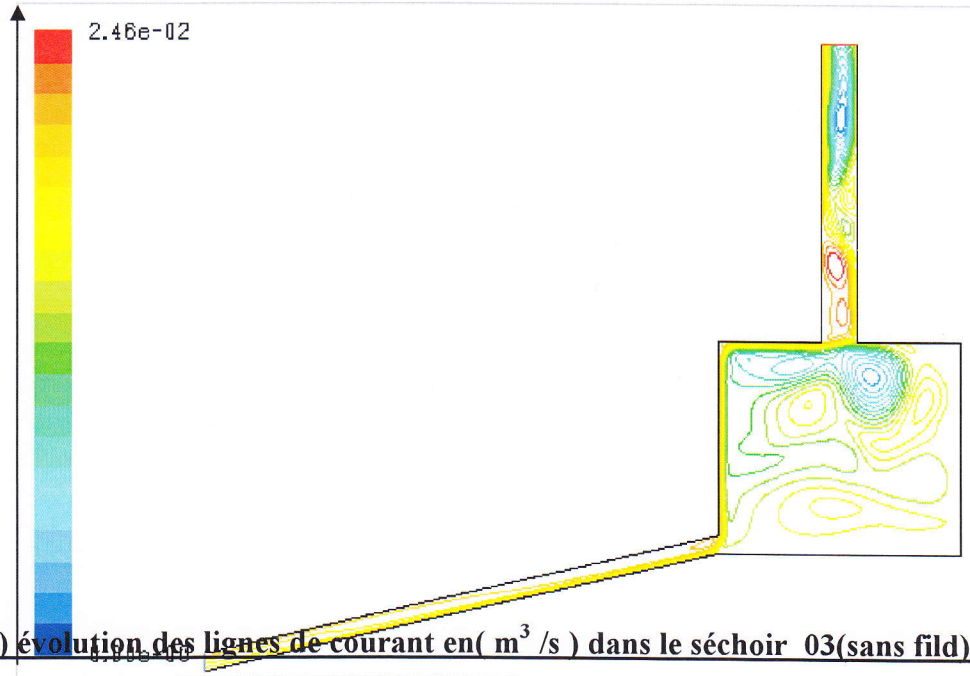
 (m^3/s) 

Figure (VI-21) évolution des lignes de courant en (m^3/s) dans le séchoir 03(sans fil)

Dans ce cas, on a remarqué des courant d'air maximales au niveau de collecteur (couche rouge), ainsi que la rentrée de la cheminée.

3. Les évolutions de la vitesse de l'air cas de séchoir 03 :

vitesse de
l'air (m/s)

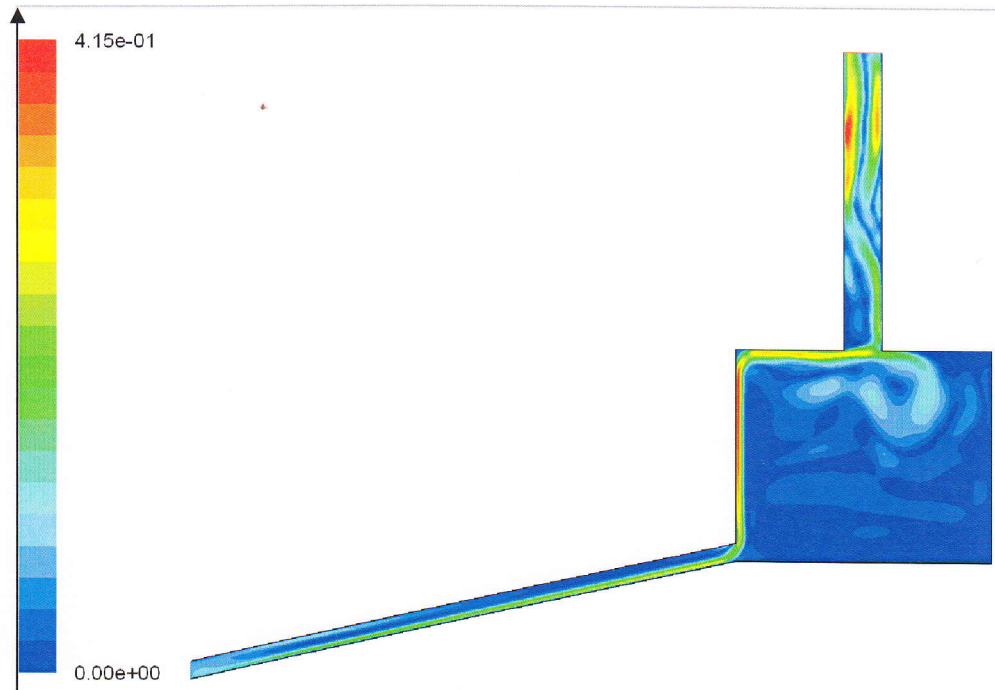


Figure (VI-22) évolution de la vitesse de l'air en (m/s) dans le séchoir 03

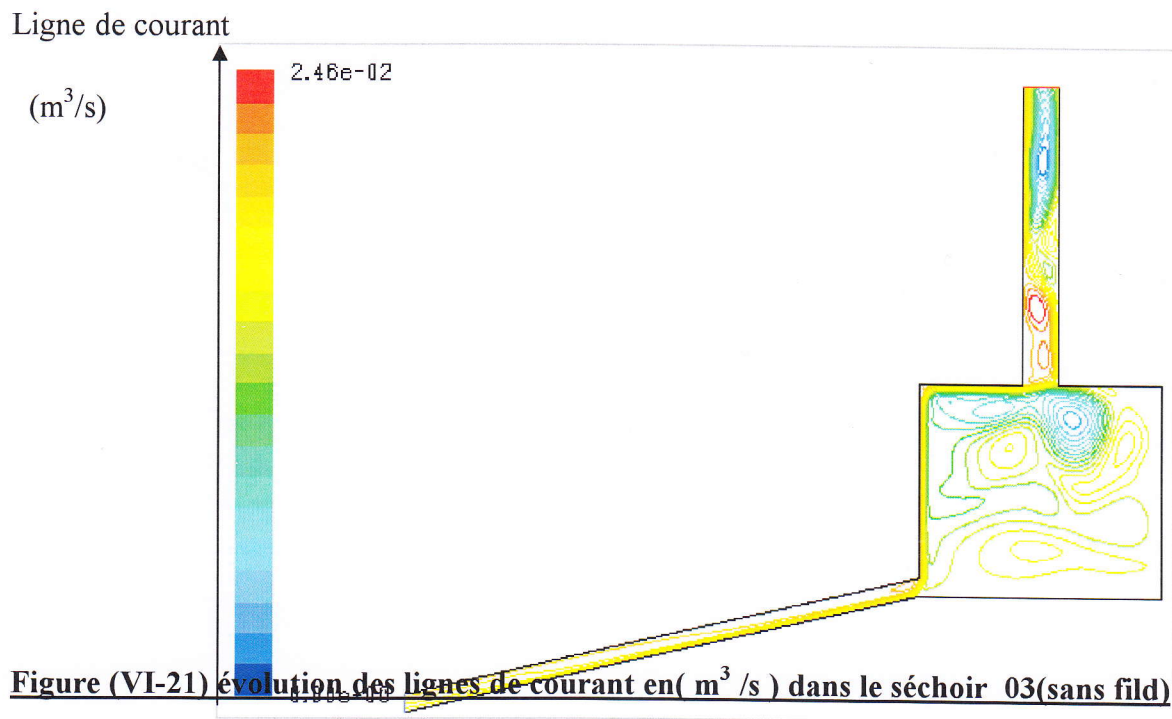


Figure (VI-21) évolution des lignes de courant en(m³ /s) dans le séchoir 03(sans fild)

Dans ce cas, on a remarqué des courant d'air maximales au niveau de collecteur (couche rouge), ainsi que la rentrée de la cheminée.

3. Les évolutions de la vitesse de l'air cas de séchoir 03 :

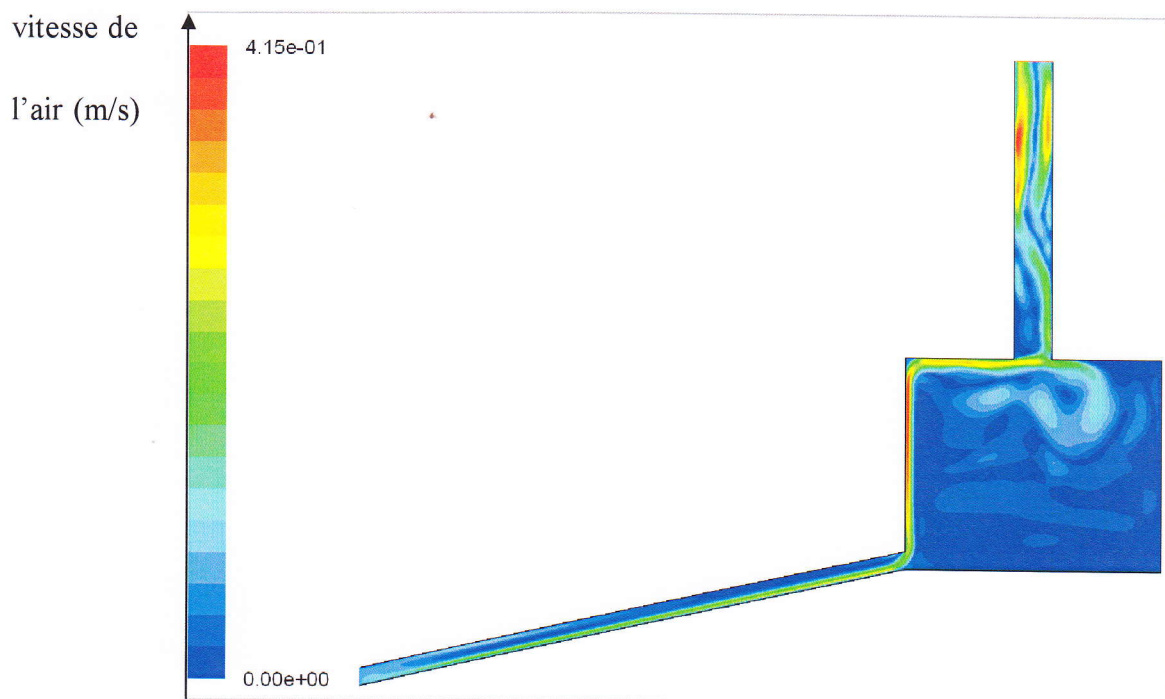


Figure (VI-22) évolution de la vitesse de l'air en(m/s) dans le séchoir 03

La figure (VI-22) présente l'évolution de la vitesse dans le séchoir 03, on remarque :

A l'entrée de séchoir 03 une vitesse faible et elle est augmentée jusqu'à l'entrée de la chambre de séchoir.

- A l'intérieur de la chambre une vitesse moyenne sauf à la haut de cette chambre ou il y'a des vitesse maximale avec une recirculation.
- Une vitesse maximale (couche rouge et vert) à la longue de la cheminée jusqu'à la sortie de séchoir 03 avec une recirculation.

4. L'évolution des isothermes dans le séchoir 03

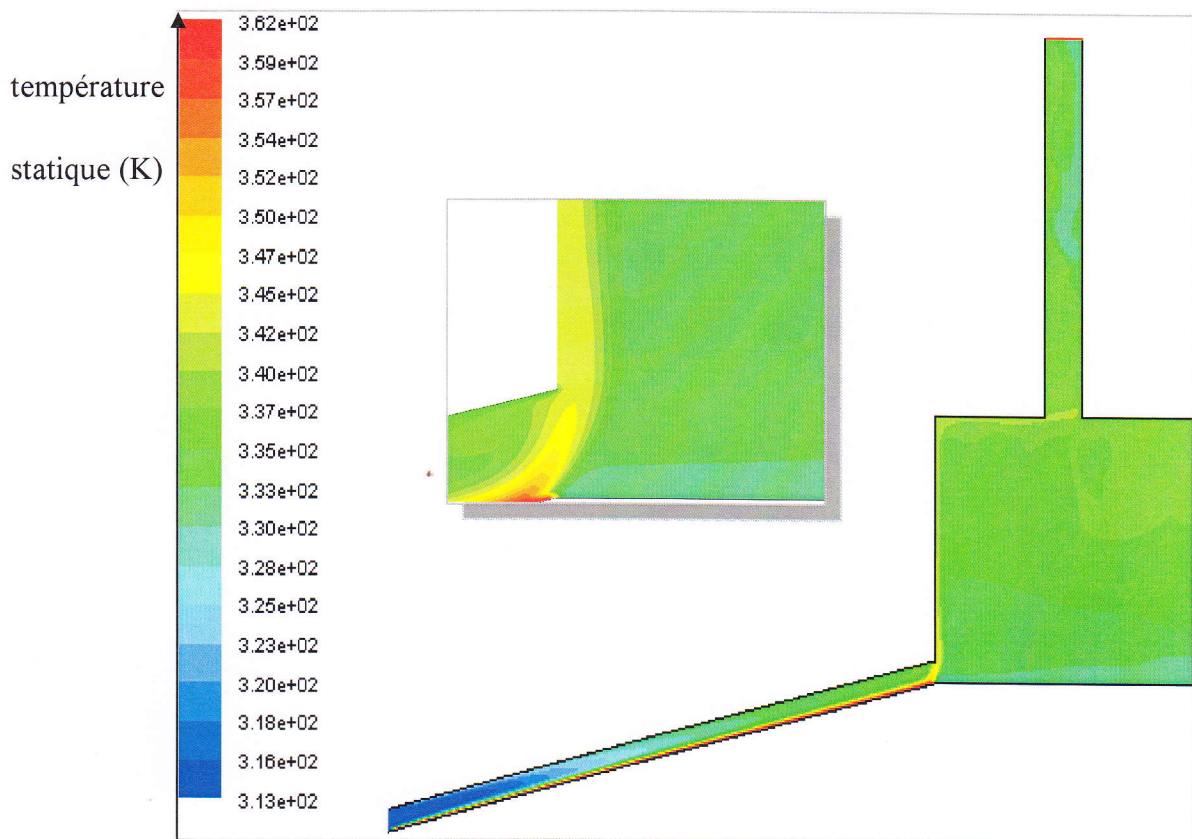


Figure (VI-23) L'évolution des isothermes en (K) dans le séchoir 03

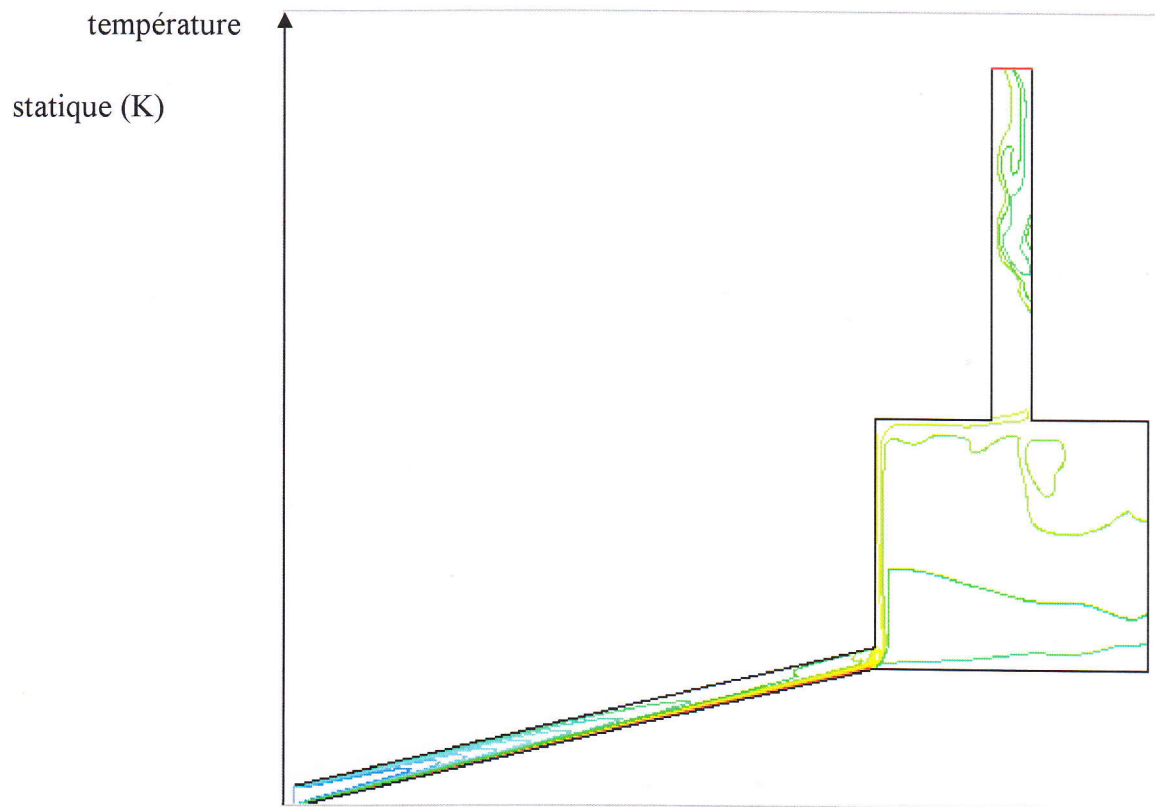


Figure (VI-24) l'évolution des isothermes en (K) dans le séchoir 03

On remarque :

- Une gradient du température de l'entrée de séchoir jusqu'à l'entrée de la chambre de séchage
- une homogénéité pour la distribution de la température aux tous points de séchoir (chambre de séchage et la cheminée)

L'étude de la distribution de la température dans différentes positions pour le séchoir 03 :

Le tableau suivant donne les résultats obtenus per la simulation :

Position Y= (m)	Température / surface (k/m ²)	Température (k)
Y=0.41	265.4732	331.8415
Y=0.49	267.2451	334.0564
Y=0.52	267.5545	334.4431
Y=0.55	267.8357	334.7946
Y=0.6	268.1469	335.1836
Y=0.7	268.6453	335.8066
Y=0.8	269.5953	336.9941
Y=0.9	269.9231	337.4039
Y=1	270.1388	337.6735

Tableau (VI-04) distribution de la température au différentes positions dans le séchoir 03

chaque surface de (0.8m²)

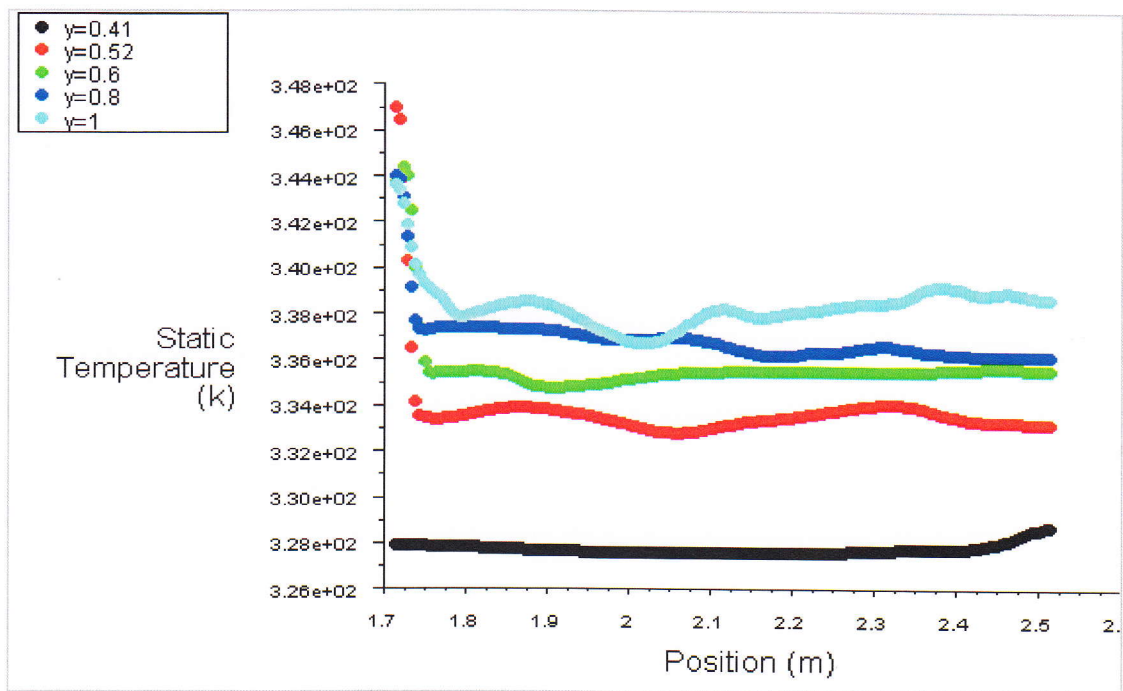


Figure (VI-25) La distribution de la température selon les positions dans le séchoir 03

On remarque une homogénéité dans toutes les position de la température , $y=0.41\text{m}$ au la température moyenne égale= $331,841\text{K}$ jusqu'à la position de $y=1\text{m}$ ou $T_{\text{moy}} = 337,673\text{K}$ maximale température dans cet cas.(séchoir 03).meilleur rendement et plus efficace .

❖ **Etude comparative entre les trois séchoirs**

(la distribution de la température selon les différentes positions)

Comme on a déjà vu dans le cas réel de séchoir naturel pour des positions différentes sur l'axe (OY) ou la température distribuée différentient.

Pour faire une comparaison entre le cas précédent et les deux cas de séchoir 02et séchoir 03 naturel, on va simuler ce dernier cas avec les mêmes positions sur l'axe (OY)

Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous :

La position de y (m)	Température moyenne de sechior01 (réel) en (K)	Température moyenne de séchoir 02en (K)	Température moyenne de séchoir 03en (K)
Y= 041	327.776	326.3567	331.8415
Y=0.49	331.228	330.3868	334.0564
Y=0.52	333.745	333.095	334.4431
Y=0.55	334.884	334.4091	334.7946
Y=0.6	335.629	335.276	335.1836
Y=0.7	336.841	335.8176	335.8055
Y=0.8	337.942	336.3504	336.9941
Y=0.9	338.3142	337.4506	337.4039
Y=1	338.0899	337.8071	337.6735

Tableau (VI-05) la distribution de la température sur différentes positions

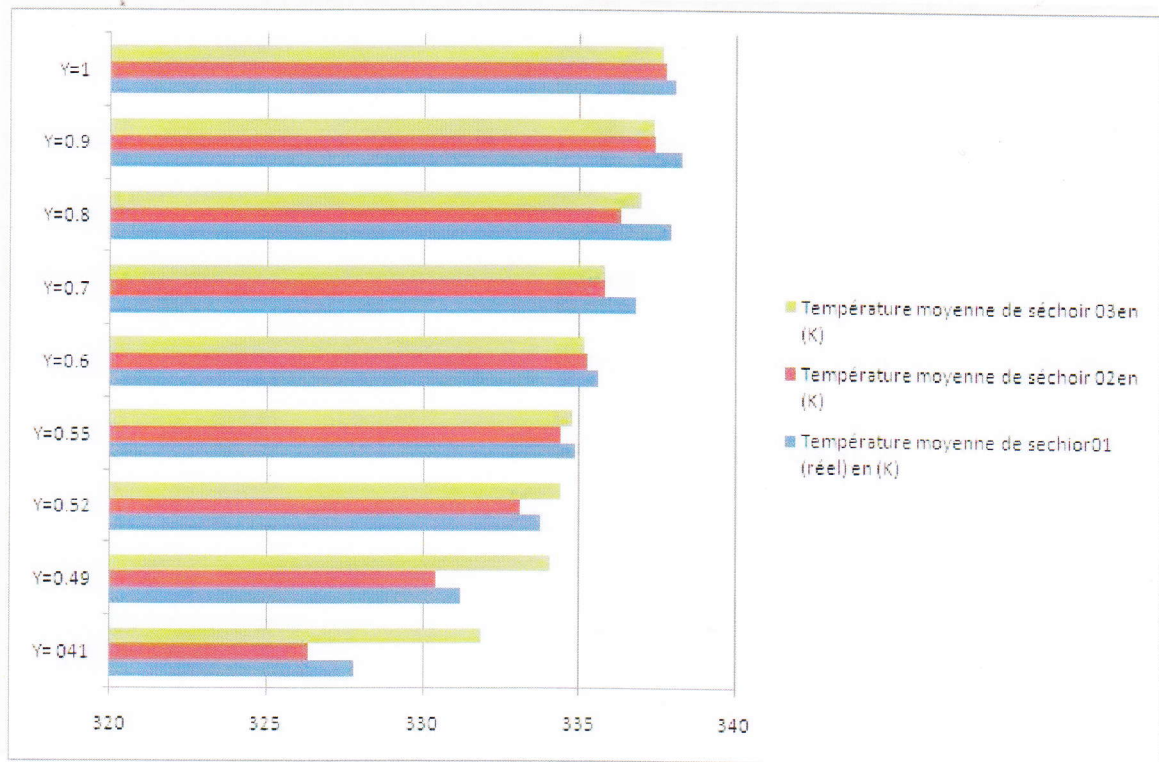


Figure (VI-26) Distribution de la température dans les trois séchoirs 01(réel) ,02 et 03.

- **Discussion :**

D'après ces résultats, on a remarqué qu'il y a une convergence entre les valeurs des température pour la position ($y=0.41m$) surtout entre les deux séchoirs 01 et 02 (température moyenne= $327.776K$ pour le cas réel et de= $326.357K$ le séchoir 02) mais une haute température = $331.841K$ pour le cas 03. Aussi, on a une distribution parfaitement établi .

CONCLUSION

CONCLUSION

Le séchage solaire est un moyen rentable qui joue un rôle important dans l'industrie alimentaire ; il permet de sauvegarder les éléments nutritionnels du produit. Les séchoirs solaires indirects à convection naturelle, sont bien adaptés à ce type de séchage, surtout dans les régions qui disposent d'un gisement solaire important.

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

Les résultats obtenus lors de cette étude sont les suivants :

- 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, nous avons proposé une amélioration de la géométrie de séchoir, et les résultats obtenus nous 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 notre recherche réside dans l'espoir que notre travail serve 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.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Bonazzet, J. J. Bimbenet, "Séchage de produits alimentaires, Appareils et applications", Technique d'ingénieur F3 002-1
- [2] S. Malenguinza "conception, réalisation et expérimentation d'un séchoir pliable et portatif" université d'ABORNEY- CALVI..2004-2005
- [3] B. Touati, "Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe", Thèse de Magistère, Centre Universitaire, Bechar, Algérie (2001).
- [4] A. Mouafki, "Modélisation. Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe", Thèse de Magistère, Ouargla (2004).
- [5] W. L. McCabe, J. C. Smith, et P. Harriott, "Unit operation of chemical engineering", Hill Book Company (1985).
- [6] D. Schnell, "Technique de séchage, Traduit de l'allemand, GMBH, Eschborn, (1983).
- [7] M. Marin, et F. René, "Technique d'ingénieur, traite Agro-alimentaire" F3 240-1
- [8] M. Dagueneat, "Les séchoirs solaires : théorie et pratique", Publication de l'UNESCO, Paris, France (1985).
- [9] D. Mennouche, "Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par le procédé de séchage solaire", Thèse de Magistère, Ouargla (2006).
- [10] B. Eyglunet, "Manuel de thermique : théorie et pratique", Hermes science publication, Paris, France, (1997).
- [11] W. Maake, H. J. Echert, et J. L. Cauchepin, "Manuel technique du froid", Tome I, PYC Edition, Alamand (2001).
- [12] Alain Bouvenot, "transfert de chaleur", (1981).
- [13] F. Kaddouri, Y. Boumediene, "Simulation numérique de séchage direct", mémoire d'ingénieur d'état en mécanique, Batna (1997).
- [14] Alain Ricaude, "photo piles solaires" presses polytechniques et universitaires romanes, (1997).
- [15] P. H. Communay "Héliothermique, le gisement solaire, méthode et calculs" Groupe de Recherche et D'édition, France (2002).
- [16] A. Madhlope, S. A. Jones, and J. D. Kalenga Saka "A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration", Renewable Energy, 27 (27 - 37) - (2001).
- [17] S. Lahsasni, M. Kouhila, M. Mahrouz, A. Idlimam and A. Jamali, "Thin layer convective solar drying an mathematical modeling of prickly pear peel", Energy 29 (211 - 244) - (2004).
- [18] O. V. Ekechukwu, B. Norton, "Review of solar energy systems II : an overview of solar drying technology", Energy Conversion and Management, 40 (615 - 655) - (1999).
- [19] D. R. Pangavhane, R. L. Sawhney, "Review of research and development work on solar dryers for grape drying", Energy Conversion and Management, 43(45 - 61) - (2002).

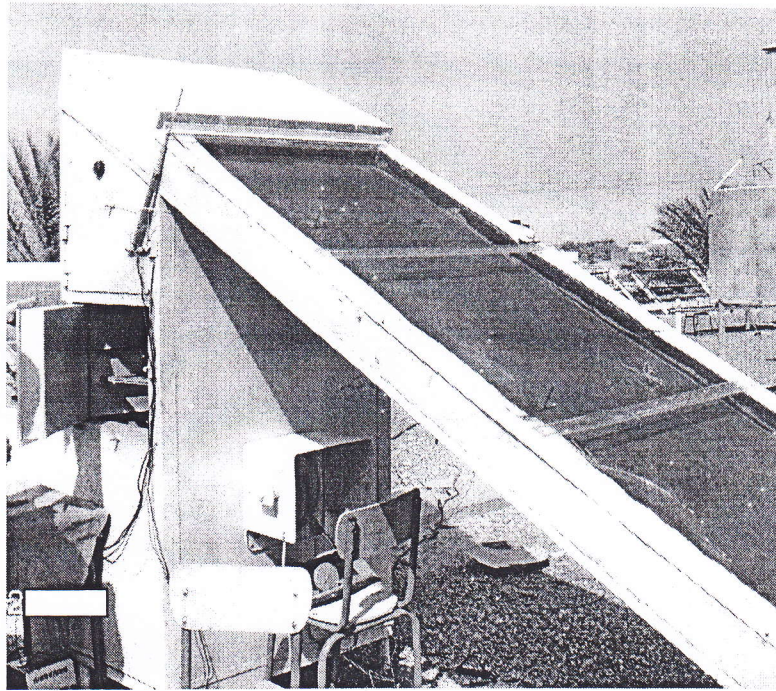
- [20] P. Dudez, "Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés", Edition du Gret, France (1999).
- [21] B. K. Bala, M. R. A. Mondol, B. K. Biswas, B. L. Daschowdury and S. Janjai "Solar drying of pineapple using solar tunnel drier", Renewable Energy 28(183-90) (2003).
- [22] I. N. Simatc "Optimization of mixed mode and indirect mode natural convection solar dryers ", Renewable Energy, 28 (435 - 453) - (2003).
- [23] D. R. Pangavhanc, R. L. Sawhcy and P. N. Sarsavadia, "Design, development and performance testing of new natural convection", Energy 27(579-590) (2002).
- [24] A. A. Sfeir, G. Guarracino, "Ingénierie des systèmes solaire, application à l'habitat", Technique et Documentation, Paris, France, (1981).
- [25] H. Kharoubi, " Essai comparatif de l'effet de deux méthodes de ciselage, avec trois degrés sur les caractères biométriques, biochimiques, phréologiques et sur le rendement des dattes de deux cultivars « Déklet-Nour » et « Ghars » " Thèse d'ingénieur. Agronomie, I.N.F.S.A.S. Ouargla (1995).
- [26] W. Rezzouq, et, S. Bouhafs'' Etude de l'influence de la localisation des claies sur la cinétique de séchage solaire des dattes'' thèse d'ingénieur d'état, Ouargla (2007.2008).
- [27] **Documentation FLUENT**" User's Guide" Fluent Inc. July 26,1998.

LES

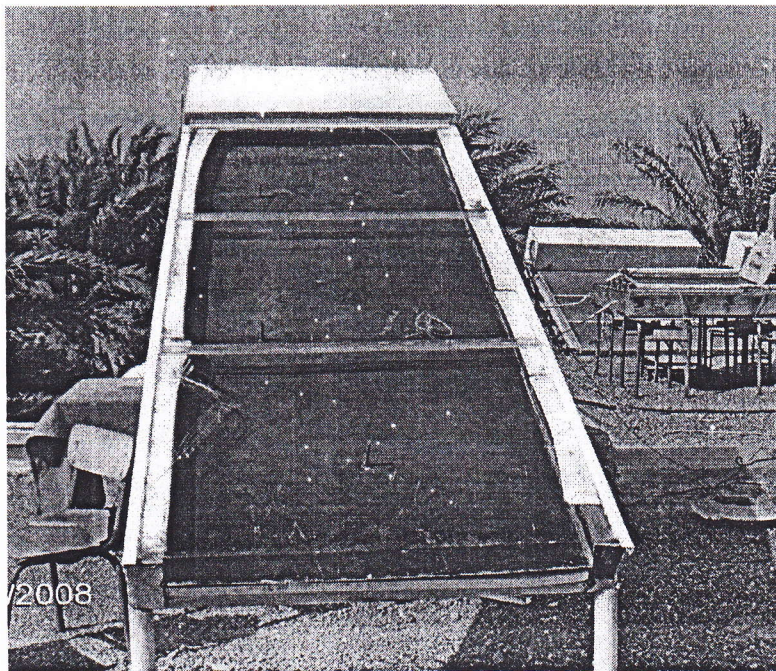
ANNEXES

(Annexe01 ,Annexe 02 et Annexe 03)

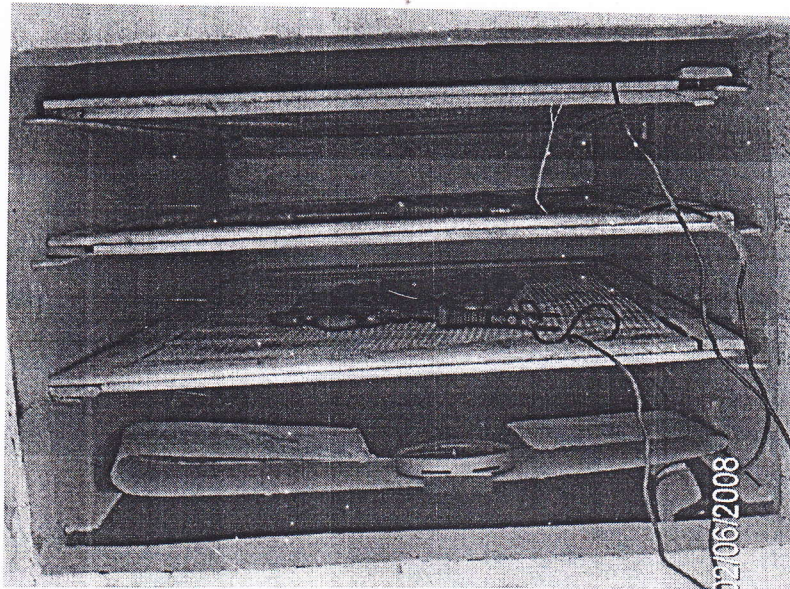
Disposition expérimentale



Le séchoir solaire à convection forcée



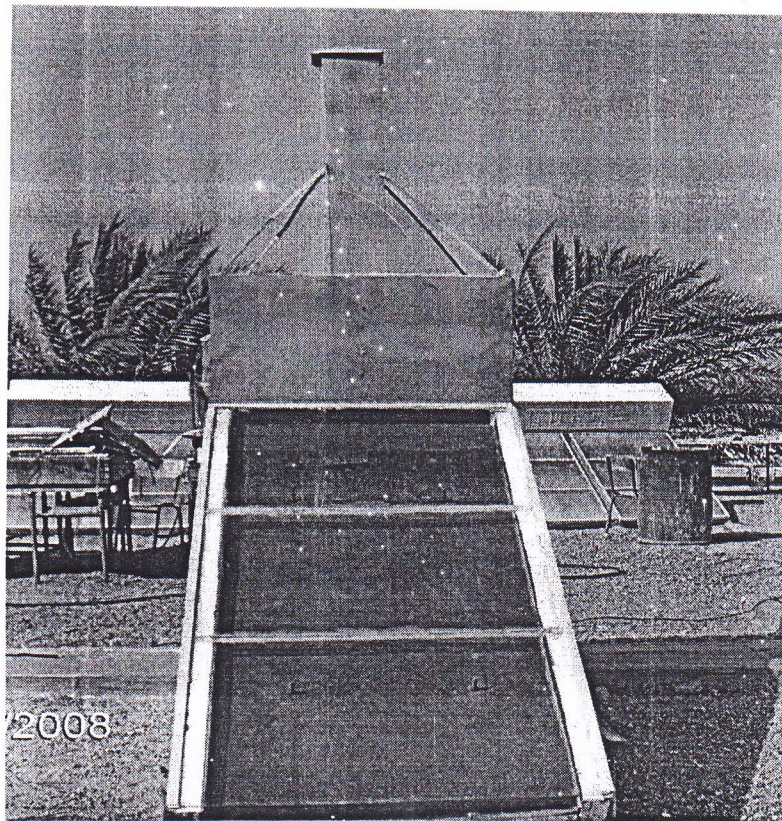
Le capteur solaire



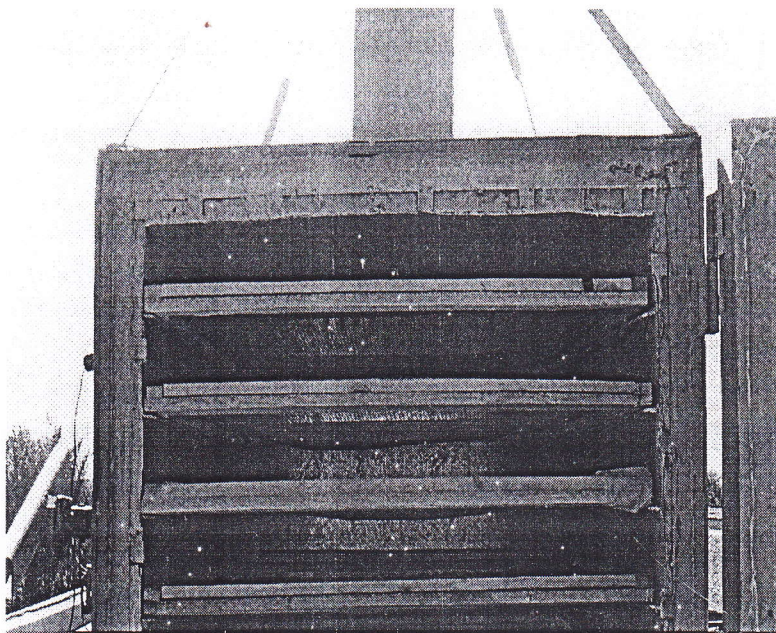
Les claies de la chambre de séchage



Le séchoir solaire à convection naturelle



Le capteur solaire



Les claies de la chambre de séchage naturel

II.6. Appareillages des mesures.[26]

II.6.3. Mesures des températures.

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K dans plusieurs endroits du capteur solaire :

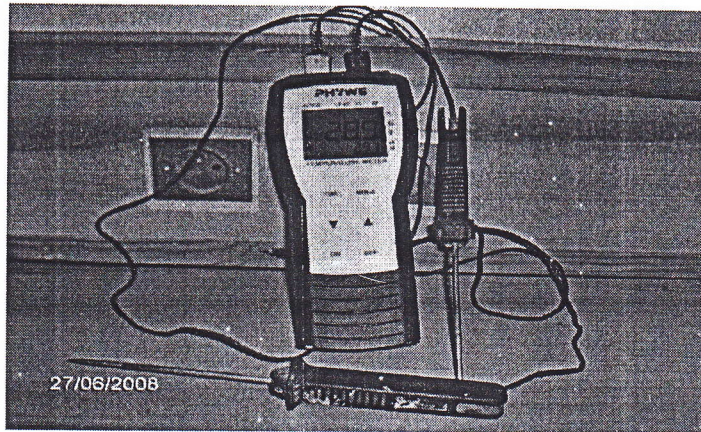
- Entrée et sortie du capteur solaire.
- Entrée et sortie de la chambre de séchage.
- Au niveau des claies portant le produit à sécher.

L'ensemble des thermocouples est relié à une boîte de 16 voies, et les résultats sont affichés par un appareil de testo 435 connecté à la boîte des thermocouples.

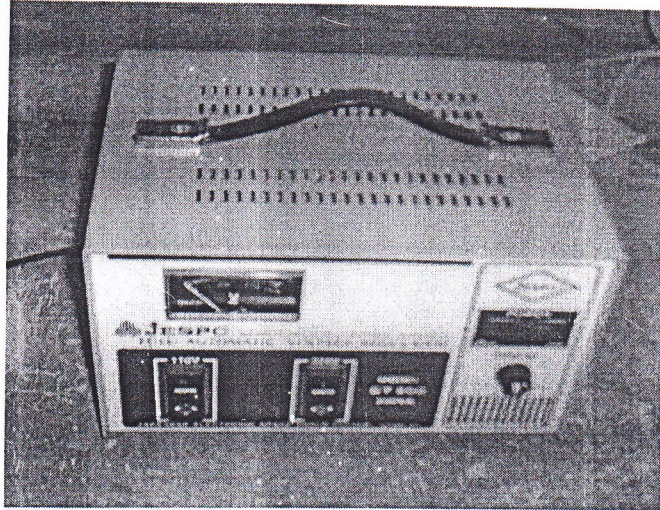
II.6.4. Mesure de la vitesse et de la température externes.

La mesure de la vitesse et de la température de l'air est effectuée à l'aide d'un appareil KIMO type LV 110, et d'un thermomètre pour la mesure de la température ambiante.

II.6.5. Les appareils des mesures:



Appareil testo 435 et les thermocouples type k



Alimentation basse tension



Appareil testo 445

9. le code FLUENT:[27]

9.1.Introduction :

Le logiciel **FLUENT** est un code industriel qui comprend trois entités complémentaires utilisées dans le but de simuler, à l'aide de modèles mathématiques, des phénomènes physiques qui font intervenir du transfert de masse, de quantité de mouvement ou d'énergie.

9.1-1 Un pre-processeur :

Qui permet de générer un maillage, de définir les fluides entrant en jeu ainsi que les conditions initiales et aux limites. Il permet de discrétiser l'étude en calculant les grandeurs recherchées en des points discrets du domaine.

9.1-2 Un cœur :

Qui permet d'itérer les calculs et de résoudre ainsi les équations qui décrivent le phénomène (équation de Navier Stokes, Energie,...).

9.1-3 Un post processeur:

Qui permet de regrouper les résultats obtenus pour les visualiser .Il s'agit d'une interface graphique qui conditionne la flexion critique qui doit être portée sur les résultats obtenus à l'issue de la simulation.

9.2 Description du logiciel Fluent :

9.2-1 Domaine d'application :

FLUENT est un logiciel largement utilisé dans le domaine de la mécanique des fluides , il permet de modéliser tous les écoulements fluides, compressibles ou incompressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que la turbulence, le transfert thermique ,les réactions chimiques, les écoulements multiphasiques et ce, sur les géométries complexes industrielles. La solution Fluent inclut également un environnement CAO et un mailleur paramétrique, permettant de mettre en place les modèles numériques ou de s'intégrer aux outils de conception déjà existants.

Les domaines d'application sont nombreux et variés tels que :

- Air conditionné, chauffage.
- Production d'énergie.
- Electronique, informatique.
- Turbomachines.
- Chimie de procédés.
- Automobiles

- Biotechnologie.
- Fabrication de matériaux.
- Aéronautique.
- Environnement.
- Géophysique.
- Armement.
-

9.2-2 Caractéristique :

Le logiciel FLUENT possède les caractéristiques suivantes :

- La résolution des équations de Navier-Stokes dans des repères fixes ou tournants
- Technique de volumes finis précise au second ordre.
- Maillages structurés ou non, déformables, du triangle en 2D à l'hexaèdre en 3D permettant une construction simple, rapide et automatisée.
- Maillage dynamique, glissant et déformable.
- Maillage auto adaptative à la solution améliorant la précision des zones à forts gradients.
- Interpolation automatique de la solution sur le maillage affiné.
- Convergence accélérée par schéma de multi grille.
- Nombreuses conditions limites pour écoulements externes et internes.
- Programme parallélisée et vectorisés.

9.2-3. Types d'écoulements :

- Stationnaires ou transitoires, en 2D, 2D axisymétriques ou 3D dans des géométries complexes.
- Laminaires ou turbulents (modèles K-eps, RNG ou RSM).
- Transferts de chaleur couplés par conduction, convection et rayonnement avec ou sans source de chaleur internes.
- Incompressibles ou compressibles (subsonique, transsonique et supersonique).
- Mélanges d'espèces avec ou sans réactions chimiques.
- Ecoulements diphasiques dispersés (particules, gouttelettes, bulle).
- Ecoulements diphasiques non dispersés (gaz, liquides, lits fluidisés).
- Ecoulements en repères tournants.
- Ecoulements laminaires non Newtoniens.

L'annexe 02

- Ecoulements en surface libre et changement de phase.
- Ecoulements avec des résistances (filtres, grilles, milieux poreux...).

9.3. Utilisation de FLUENT :

Les étapes à suivre pour l'utilisation du logiciel FLUENT se résument en :

1. Lancement de FLUENT.
2. Chargement de fichier de maillage.
3. Vérification du maillage.
4. Définition du modèle : cette étape permet de définir le modèle physique utilisé, les caractéristiques du fluide et les conditions aux limites.
5. Contrôle de la convergence : un tracé des résidus permet d'observer la convergence de la résolution.
6. Résolution du problème après l'initialisation des calculs.
7. Affichage des résultats.

9.4 . Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites définissent les variables physiques et thermiques qui dépendent de l'écoulement dans les frontières du domaine physique à étudier, se sont des composantes très importantes, et critiques pour la simulation par Fluent. Leur choix est un facteur très important pour avoir des résultats avec plus de précision.

La définition des conditions limites comprend :

- L'identification de la position des limites (entrée, sortie, parois ...etc.).
- Les propriétés physiques dans les limites du domaine (Vitesse, température,...etc.).

Les conditions aux limites sont classées dans FLUENT comme suit :

- 1- Les limites d'entrée et de sortie : pression d'entrée, pression de sortie, vitesse d'entrée, masse volumique d'entrée, pression d'environnement, écoulement de sortie.
- 2- Les limites des parois, répétitions et poteaux : paroi, symétrie, périodique et axe Les zones internes : fluide et solide (milieu poreux est considéré comme un type de fluide).
- 3- Les limites des faces internes : ventilateur, radiateur, paroi, milieu poreux.

9.5. La méthode de résolution :

9.5.1. Les solveurs :

FLUENT permet de choisir l'une des deux méthodes numériques suivantes :

- La méthode de solveur couplé

- La méthode de solveur isolé

Dans les deux méthodes Fluent résout les équations intégrales régissantes, (équation de continuité, de quantité de mouvement, et de l'énergie, et autres grandeurs scalaires telle : la turbulence.

Dans les deux solveurs Fluent utilise une technique basée sur un volume de contrôle cette technique comprend les étapes suivantes :

- 1 - Division du domaine à des volumes de contrôle discrets par une intégration informatique.
- 2 - Intégration des équations régissantes sur des volumes de contrôle individuels pour construire des équations algébriques à des variables dépendantes (vitesse, pression...).
- 3 - La linéarisation des équations algébriques discrétisées et la résolution du système d'équations linéaires pour avoir les valeurs des variables dépendantes.

Les deux méthodes utilisent le même processus de discrétisation (volume finie) ,mais l'approche utilisée pour la linéarisation et la résolution des équations algébriques est différente.

9. 5.1.1 La méthode de la solution isolée :

Dans cette méthode de solution les équations régissantes sont résolues séquentiellement, et puisque les équations régissantes sont non linéaires, plusieurs itérations sont effectuées avant d'avoir la solution convergente, chaque itération comprend les étapes illustrées dans l'organigramme suivant :

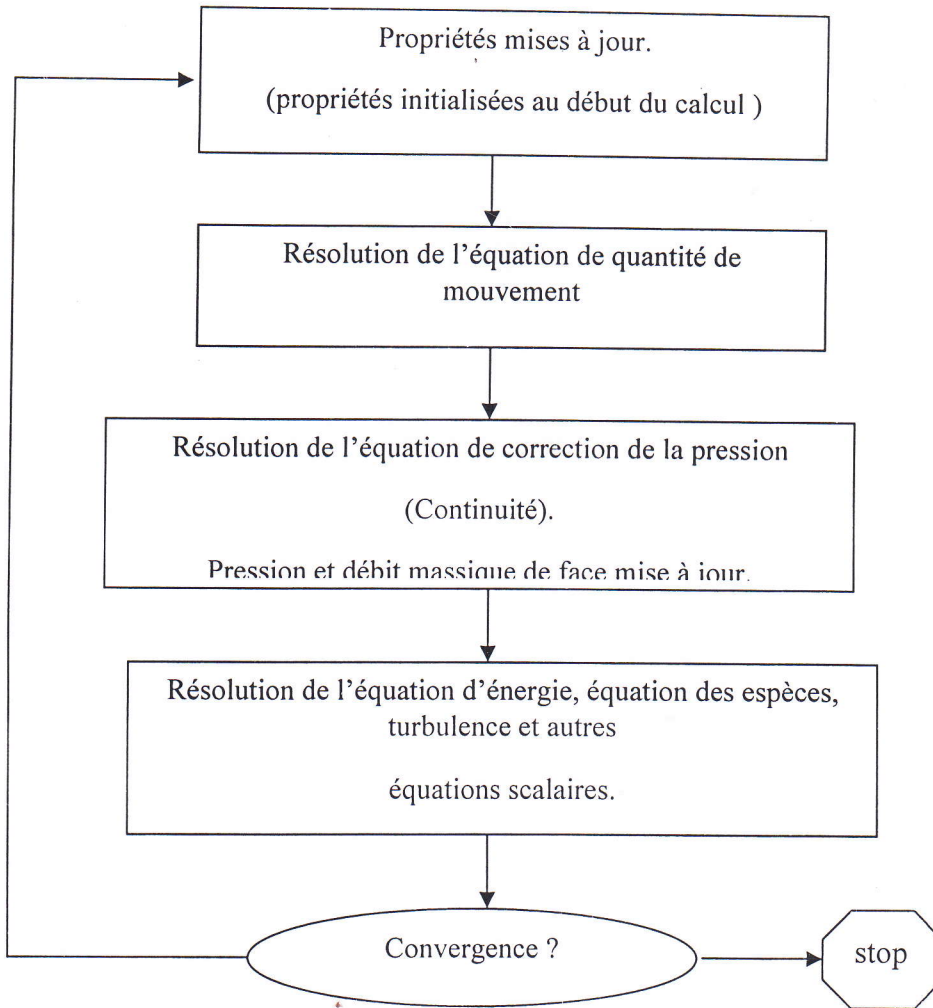


Figure (VI-1) – Les étapes de la solution isolée.

9.5.1.2. La méthode de la solution couplée :

Quand on utilise cet algorithme de solution les équations régissantes (continuité, quantité de mouvement, équation d'énergie, équation de transport des espèces), sont résolues simultanément (couplées ensemble), et pour les équations de grandeurs scalaires supplémentaires elles sont résolues séquentiellement. Puisque les équations régissantes sont non linéaires et couplées, plusieurs itérations doivent être effectuées pour obtenir la solution convergente, chaque itération comprend les étapes illustrées dans l'organigramme suivant :

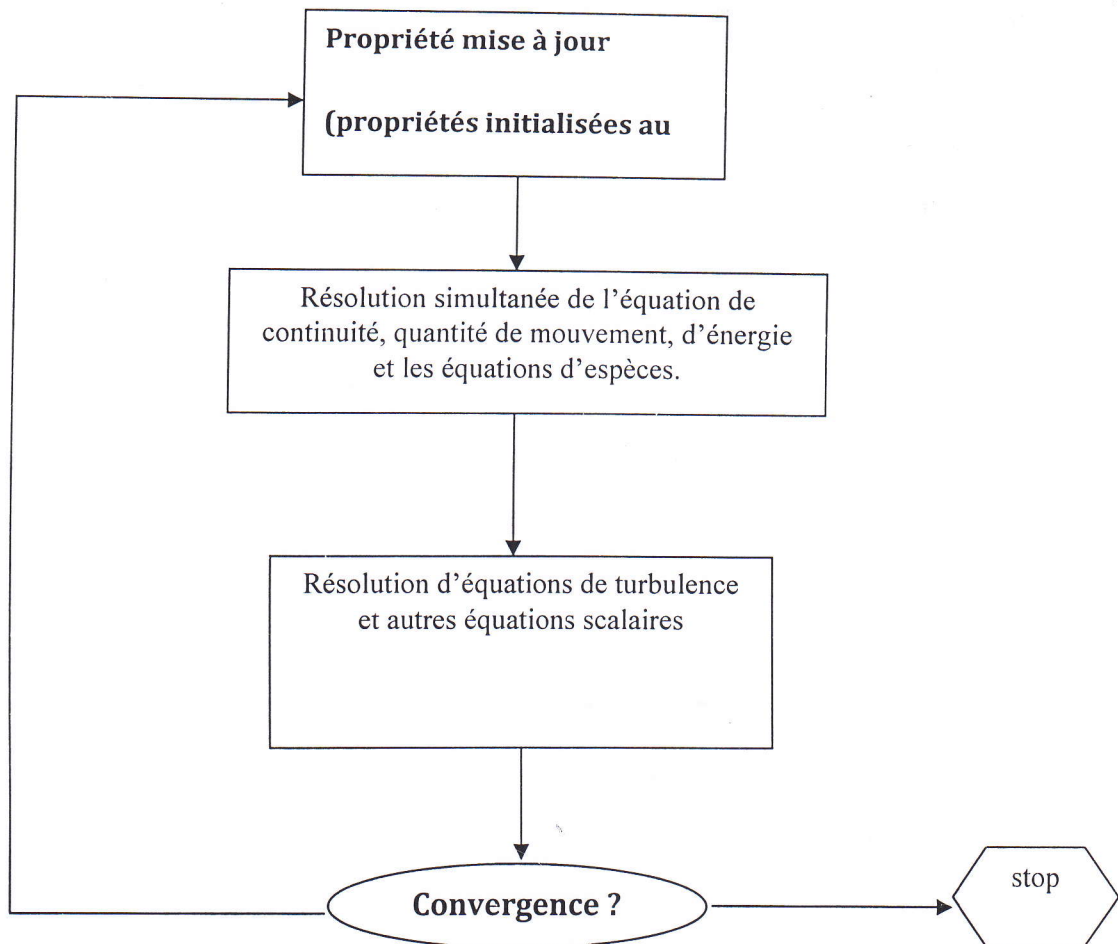


Figure (VI-2) - Etapes de la solution couplée

9.5.2 La discrétisation:

Fluent utilise une technique basée sur un volume de contrôle pour convertir les équations régissantes à des équations algébriques pouvant être résolues numériquement.

La discrétisation des équations régissantes peut être illustrée simplement si on considère l'équation de transport d'une quantité scalaire ϕ dans l'état stationnaire, cette équation est démontrée à la forme intégrale sur un volume de contrôle arbitraire comme suit :

$$\oint \rho \phi v dA = \oint \Gamma_\phi \nabla \phi dA + \int_v S_\phi dV \quad (\text{VI-1})$$

ρ : La densité.

v : Le vecteur vitesse.

vergence, chaque itération comprend les étapes illustrées dans l'organigramme suivant :

A : Vecteur de superficie

Γ_ϕ : Coefficient de diffusion pour ϕ .

S_ϕ : Le terme de source par unité de volume.

Cette équation est appliquée dans chaque volume de contrôle, ou cellule dans le domaine de calcul.

La figure (VI-3) représente un exemple de volume de contrôle, la discrétisation de l'équation (VI-1) dans les cellules données donne :

$$\sum_f^{N_f} v_f \phi_f A_f = \sum_f^{N_f} \Gamma_\phi (\nabla \phi)_n A_f + S_\phi V \quad (\text{VI-2})$$

N_f : Nombre de faces.

ϕ_f : Valeur de ϕ convecté à travers la face f .

v_f : Débit massique à travers la face f

A_f : Surface de la face f .

$(\nabla \phi)_n$: Grandeur de $\nabla \phi$ normale a la face f $(\nabla \phi)_n$:

V : Le volume de la cellule.

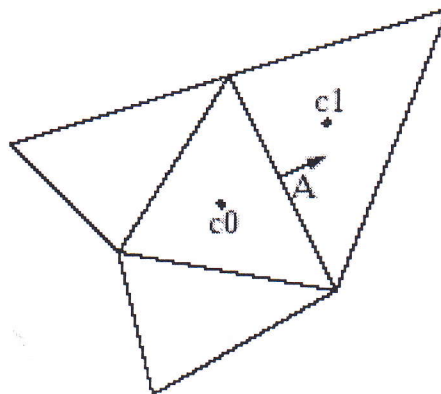


Figure (VI-3) : volume de contrôle utilisé pour illustrer la discrétisation de l'équation de transport

L'annexe 02

FLUENT stocke les valeurs discrètes de la quantité ϕ dans les centres des cellules (c_0 et c_1), cependant les valeurs de ϕ_f des faces sont exigées pour le terme de convection dans

l'équation (VI-2), et doivent être interpolées par les valeurs des centres des cellules. Ceci est accompli par l'utilisation d'un schéma d'Upwind.

FLUENT permet de choisir entre les différents schémas d'Upwind qui sont

- 1- Schéma d'Upwind du premier ordre.
- 2- Schéma d'Upwind du deuxième ordre
- 3- Schéma de la loi de puissance
- 4- Schéma QUICK

9.5.3 La forme linéaire de l'équation discrète :

L'équation de transport de scalaires discrétisée (VI-2) contient les variables inconnues de la quantité ϕ dans les centres des cellules aussi bien que les valeurs inconnues en cellules voisines environnantes, cette équation en général sera non linéaire, la forme linéarité de l'équation (VI-2) peut être écrite comme :

$$a_p \phi = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad \text{(VI-3)}$$

Où l'indice nb représente les cellules voisines a_p et a_{nb} sont les coefficients linéarités de ϕ et ϕ_{nb} .

Des équations semblables peuvent être écrites pour chaque cellule du maillage, il résulte un ensemble d'équations algébriques linéaires. Fluent résout ce système d'équations linéaires par un solveur d'équations linéaires implicite de point

(Gauss-Seidel) en même temps qu'une méthode (AMG). (Algebraic Multigrid Method).

9.5.4 La sous relaxation :

A cause de la non linéarité de l'ensemble d'équations étant résolues par fluent, il est nécessaire de contrôler le changement de ϕ , ceci est pratiquement réalisé par la sous-relaxation qui réduit le changement de ϕ produit pendant chaque itération.

L'annexe 02

Dans une simple forme, la nouvelle valeur de ϕ dans une cellule dépend de l'ancienne valeur ϕ_{anc} , la nouvelle valeur ϕ , la différence $\Delta\phi$, et le facteur de sous relaxation α .

$$\phi = \phi_{anc} + \alpha \Delta\phi \quad (\text{VI-4})$$

9.5-5 La solution par la méthode de solveur isolé

Cette partie est liée à la discrétisation de l'équation de quantité de mouvement et l'équation de continuité et leur solution par le solveur isolé :

Considérons les équations de quantité de mouvement et de continuité dans l'état stationnaire de forme intégrale.

$$\oint \rho v dA = 0 \quad (\text{VI-5})$$

$$\oint \rho v v dA = - \oint \rho I dA + \oint \tau dA + \int F dA \quad (\text{VI-6})$$

Où I : Matrice d'identité

τ : Tenseur des contraintes

F : Vecteur de la force.

9.5.5.1 La discrétisation de l'équation de quantité de mouvement :

La méthode de discrétisation utilisée est la même méthode décrite dans la section (9-5-2).

Exemple :

L'équation de quantité de mouvement suivant l'axe des x peut être obtenue par la mise de $u = \phi$:

$$\alpha_p u = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb} + \sum p_f \cdot \hat{i} A + S \quad (\text{VI-7})$$

Si le champ de pression et le débit massique sont connus, l'équation (VI-7) peut être résolue de la même manière décrite dans la partie (VI-5-3) et on obtient le champ de Si le champ de pression et le débit massique sont connus, l'équation (VI-7) peut être résolue de la même manière décrite dans la partie (VI-5-3) et on obtient le champ de vitesse, ce pendent le champ

L'annexe 02

de pression et les débits massiques des faces ne sont pas connus et ils doivent être obtenus comme une partie de la solution :

Fluent stocke la pression et la vitesse dans les centres des cellules mais l'équation exige les valeurs de la pression dans les faces entre les cellules. Par conséquent un schéma d'interpolation est exigé pour calculer les valeurs de pression dans les faces par les valeurs des cellules.

9.5.5.1.1 LE SCHEMA DE L'INTERPOLATION DE PRESSION :

Fluent permet de choisir entre plusieurs différents schémas d'interpolation de pression qui sont:

.Le schéma standard.

schéma Upwind de deuxième ordre

. Body -force weighted.

.-PRESTO ! (Pressure Staggering Option).

9.5.5.2 La discrétisation de l'équation de continuité :

La discrétisation de l'équation de continuité permet d'avoir l'équation discrète suivante :

$$\sum_f^{N_{face}} Jf = 0 \quad (VI-8)$$

Où

Jf est le débit massique à travers les faces f , $\rho Vn A_f$.

Dans le solveur isolé l'équation de continuité et de quantité de mouvement sont résolues séquentiellement, dans cette procédure l'équation de continuité est utilisée comme une équation de pression.

9.5-5-2-1 Couplage pression -vitesse

Le couplage de la pression et la vitesse est réalisé par l'équation :

$$J_f = \hat{J}_f + d_f(p_{c0} - p_{c1}) \quad (VI-9)$$

p_{c1} et p_{c0} les pressions dans les deux cellules séparées par la face f .

L'annexe 02

\hat{J}_f : contient l'influence de la vitesse dans les cellules

$d_f = \frac{\rho A_f^2}{a_p}$: la moyenne des coefficients de l'équation de quantité de mouvement a_p pour les cellules séparées par la face f .

Fluent permet de choisir entre trois algorithmes de couplage (pression –vitesse) qui sont :

- SIMPL (Semi-Implicite –Methode for Pressur linked equations) algorithm
- SIMPLEC (SIMPL –Consistent) algorithm.
- PISO (the Pressur –Implicit with splitting of Operators)
-

9.6 Utilisation du solveur:

Fluent offre trois types de solveurs :

- **COUPLED IMPLICIT.**
- **COUPLED EXPLICIT.**
- **SEGREGATED IMPLICIT.**

Les trois types de solveurs fournira des résultats précis pour une large portée d'écoulement, mais dans certains cas un solveur peut exécuté mieux (c.-à-d. avoir les résultats plus rapidement que les autres.

Le solveur isolé est utile pour les écoulement incompressible et modérément compressible , d'autre part le solveur couplé a été d'origine conçue pour les écoulement compressible de vitesse élevée.

Par défaut Fluent utilise le solveur isolée mais dans les écoulement incompressible a vitesse élevée comme on a dit , les écoulement turbilonnant et les écoulement résolu sur un maillage tres fin il faut utiliser le solveur couplé implicite au lieu pour avoir la convergence de la solution rapidement.

L'utilisation du solveur couplé implicite exige plus de mémoire (1.5 à 2fois) que le solveur isolée et le solveur couplée explicite .

L'annexe 02

Dans les cas où l'utilisation de solveur couplée implicite est désiré mais la machine n'a pas la mémoire suffisante on peut utiliser le solveur couplé explicite, cela cependant prendra habituellement plus longtemps pour atteindre une solution convergée.

Remarque :

Le solveur isolé résout plusieurs modèles physiques qui ne sont pas disponibles avec les solveurs couplés tel que : Les écoulements multiphasique, Les modèles de changement de phase, Le modèle de radiation de Rosseland, les modèles de transfert de chaleur périodique....etc.

9.7 Conclusion :

L'intérêt de posséder un tel logiciel est indéniable, du fait de la richesse et de la diversité des applications qu'il permet, et donc des possibilités d'études qu'il offre aux professeurs comme aux étudiants.

Cas de séchoir 02 :

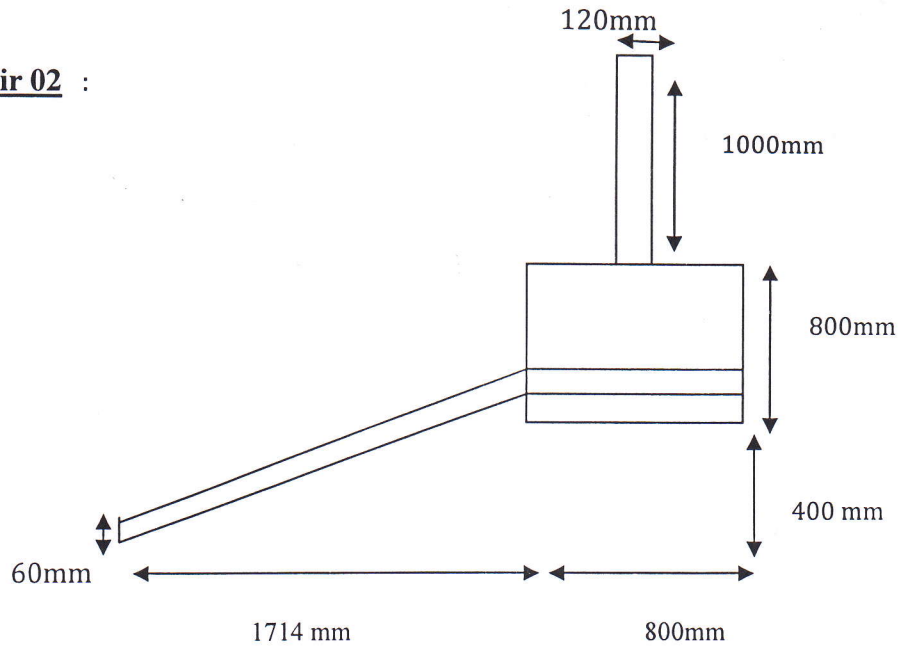


Figure (01) Dimension de séchoir 02

- Les points sont:

P0(0,0,0) P1(0,0.06,0) P2(1.714,0.4,0) P3(1.714,0.49,0) P4(1.714,0.55,0)
 P5(1.714,1.2,0) P6(2.054,1.2,0) P7(2.054,2.2,0) P8(2.174,2.2,0)
 P9(2.174,1.2,0) P10(2.514,1.2,0) P11(2.514,0.55) P12(2.514,0.49,0)
 P13(2.514,0.4,0).en (m)

- Les intervalles :

Les lignes [P0,P1],[P4,P3],[P11,P12]sur 15.

Les lignes[P3,P2],[P12,P13]sur 18.

Les lignes[P4,P5],[P10,P11]sur 130.

Les lignes[P5,P6],[P9,P10]sur 70

Les lignes[P6,P7],[P8,P9] sur200

Les lignes[P0,P3],[P1,P4]sur 400

Le ligne[P2,P13] sur 160.

Les lignes[P7,P8],[P6,P9]sur 25

- Les surfaces : on a cinq (05) surfaces .

Cas de sechoir 03 :

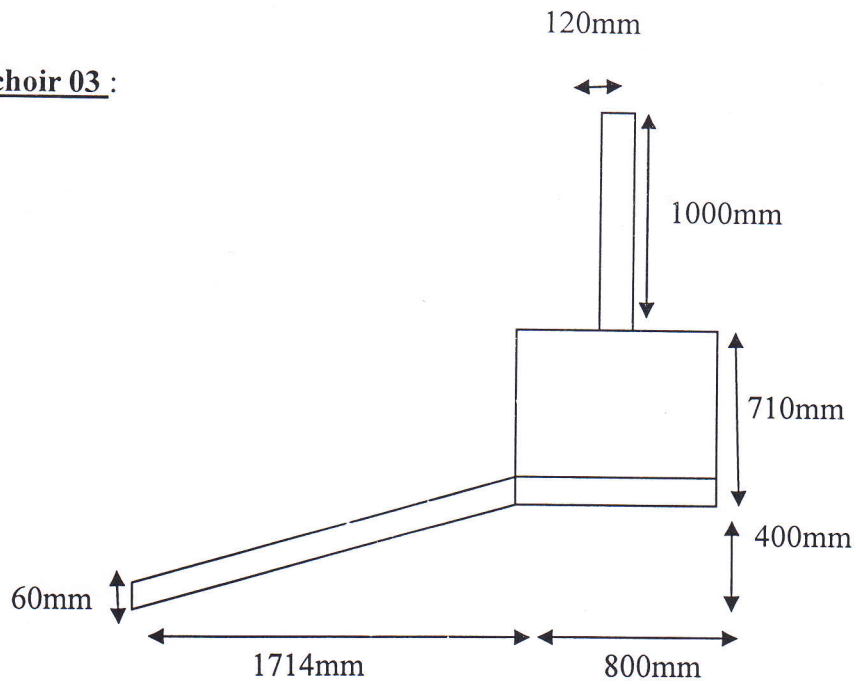


Figure (02) dimension de sechoir 03

- Les points sont :

P0(0,0,0) P1(0, 0.06 ,0) P2(1.714 ,0.4 ,0) P3(1.714, 0.46, 0)
 P4(1.714, 1.11, 0) P5(2.054, 1.11, 0) P6(2.054, 2.11, 0) P7(2.174, 2.11, 0)
 P8(2.174, 1.11, 0) P9(2.514, 1.11, 0) P10(2.514, 0.46, 0) P11(2.514,0.4, 0) en (m)

- Les intervalles :

Les lignes [P0,P1],[P2,P3]sur 15.

Les lignes [P0,P2][P1,P3]sur400

Les lignes [P3,P2],[P10,P11]sur15

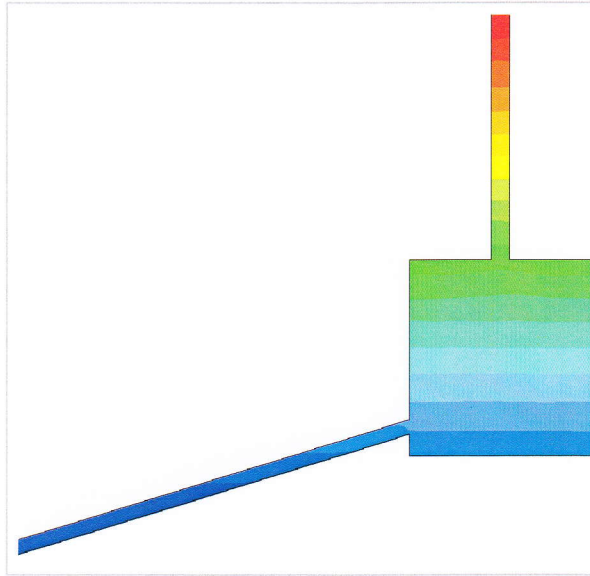
Les lignes [P3,P4],[P9,P10]sur130

Les lignes [P4,P5] [P8,P9]sur 70

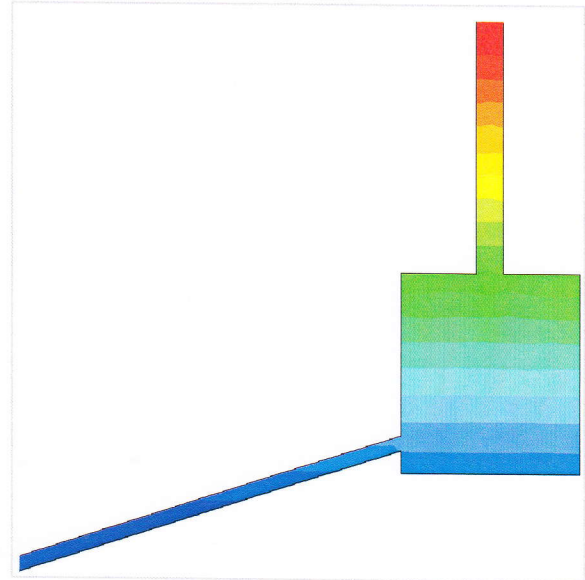
Le ligne [P2,P11]sur 160

- Les surfaces ,on a quatre (04) surfaces .

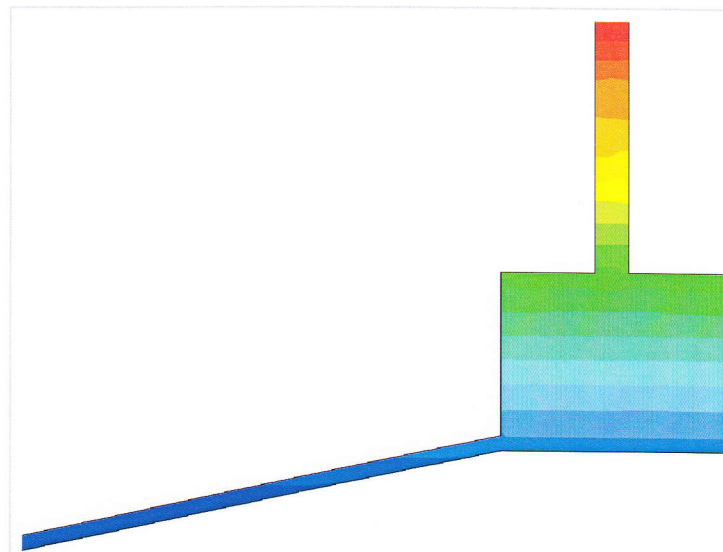
L'evolution de la pression dans les trois cas :



Evolution de la pression dans le cas reel
(sechoir 01)



Evolution de la pression dans
le sechoir 02



L'evolution de la pression dans le sechoi

Résumé

Les saisons des produits agricoles, en été, ne durent jamais assez longtemps, on fait souvent appel à certains recours au séchage de produits agroalimentaires pour leur conservation et pour garder leurs caractéristiques.

Dans une étude expérimentale effectuée au laboratoire (LENREZA) de l'université Kasdi Merbah de Ouargla, a été consacrée au séchage solaire des dattes. Les résultats obtenus montrent l'absence d'homogénéité dans la distribution de température dans le séchoir.

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

Pour cela nous avons proposé une amélioration de la géométrie de séchoir. Les résultats obtenus nous ont montré l'intérêt de la simulation qui peut nous faciliter le choix de la géométrie nécessaire pour notre cas.

Mots clés : énergie solaire, séchoir solaire, convection naturelle, le code fluent

المخلص

مواسم المواد الزراعية لا تدوم زمنا طويلا ، فإننا نلجأ إلى تجفيف المواد الزراعية الغذائية من أجل التخزين و المحافظة على خصائصها

في دراسة تجريبية في مختبر (LENREZA) بجامعة قاصدي مرباح*بورقلة*مكرسة حول التجفيف الشمسي للتمر، النتائج المحصل عليها أظهرت غياب التوزيع المتجانس لدرجة الحرارة داخل المجفف.

في عملنا أدخلنا المحاكاة FLUENT، من أجل دراسة حركة الهواء في نفس هندسة المجفف، النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة عرضت وجود مناطق لا تتجانس فيها الحرارة.

لهذا اقترحنا تحسينات على هندسة المجفف. النتائج المحصلة عرضنا منوعة المحاكاة التي تيسر اختيار الشكل الهندسي اللازم من أجل حالتنا .

الكلمات المفتاح: الطاقة الشمسية. المجفف الشمسي . الحمل الطبيعي . الرمز fluent