

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
N° : Ph/ENR/15/2021**



**FILIERE : PHYSIQUE  
OPTION : ENERGETIQUE ET  
ENERGIES RENOUVELABLES**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master Académique**

**Par: ADLANE Fatima & MOHAMEDI Fatiha**

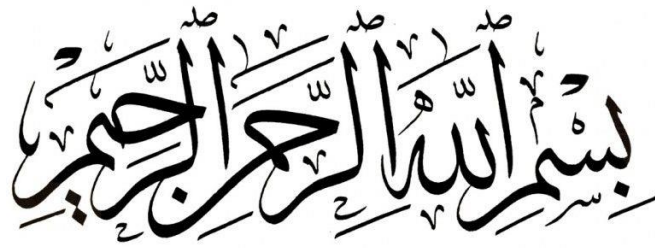
**Intitulé**

**Etude numérique d'un séchoir solaire à effet de  
serre**

**Soutenu le 25/06/2021 devant le jury composé de:**

TAHROUR Farouk	Université Mohamed BOUDIAF	Président
NAHOUI Azzedine	Université Mohamed BOUDIAF	Rapporteur
HADDAD Zakaria	Université Mohamed BOUDIAF	Examineur

**Année universitaire : 2020/2021**

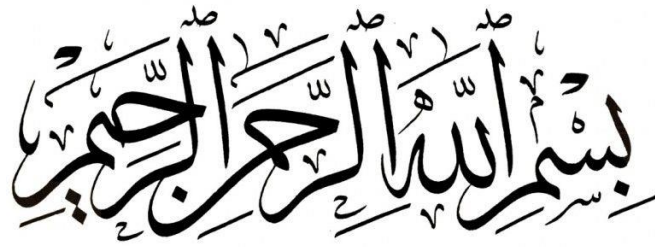


## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

- ✚ A mon cher père et ma chère mère.*
- ✚ A mes chers frères et sœurs.*
- ✚ A toute ma famille.*
- ✚ A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

***ADLENE Fatima***



## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail:*

- ✚ A mon cher père Dahmen et ma chère mère Lamria.*
- ✚ A mon mari qui m'a beaucoup soutenu.*
- ✚ A mes chers frères : Mohamed, Fateh.*
- ✚ A mes sœurs : Warda, Nassima, Amel, Rim, Chaima.*
- ✚ A toute ma famille : Mohamedi, Mehidi*
- ✚ A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

**MOHAMEDI Fatiha**

## *Remerciements*

Nous remercions tout d'abord Dieu, de nous avoir donné l'effort et la patience pour que nous puissions aller jusqu'au bout afin que ce travail puisse être réalisé.

Nous remercions M<sup>r</sup> **NAHOUI Azzedine**, Enseignant à l'université Mohamed BOUDIAF Msila, qui m'a proposé ce sujet et qui a su nous amener pédagogiquement jusqu'à la fin de réalisation de ce mémoire.

Nous remercions M<sup>r</sup> **TAHOUR Farouk**, Enseignant à l'université Mohamed BOUDIAF Msila, qui a accepté de présider le jury de ma soutenance, et qu'il trouve ici l'expression de nos respects.

Nous remercions M<sup>r</sup> **HADDAD Zakaria**, Enseignant à l'université Mohamed BOUDIAF Msila, et qui a accepté d'être membre de jury, qu'il trouve ici l'expression de nos respects.

Merci

Liste des figures

Figure I.1	Femme algérienne et le processus de séchage	3
Figure I.2	Différents systèmes du séchage solaire	5
Figure I.3	Séchoirs solaires directs	6
Figure I.4	Boite d'un séchoir solaire direct	7
Figure I.5	Séchoir solaire intégral	8
Figure I.6	Séchoir solaire coquillage à trois claies	8
Figure I.7	Séchoir solaire cabane	9
Figure I.8	Séchoir solaire indirect	10
Figure I.9	Séchoir solaire armoire.	10
Figure I.10	Illustration d'un séchoir solaire mixte	11
Figure I.11	Illustration d'un séchoir solaire	12
Figure I.12	Image de séchage de la tomate sous le soleil	12
Figure I.13	Etuve de séchage	13
Figure I.14	Schéma d'une micro-onde	14
Figure I.15	Panneaux photovoltaïques.	15
Figure I.16	Capteurs plan vitré	15
Figure I.17	Capteur plan non vitré	17
Figure I.18	Représentation schématique d'un capteur à concentration	17
Figure II.1	Volume de contrôle bidimensionnel	20
Figure II.2	Vue globale de la fenêtre Gambit	21
Figure II.3	Séchoir solaire étudié	23
Figure II.4	Importation de la géométrie	23
Figure II.5	Importation de la géométrie	24
Figure II.6	Vérification du maillage importé	24
Figure II.7	Changement de l'unité des dimensions de domaine de calcul	25
Figure II.8	Choix du solveur	25
Figure II.9	Equation de l'énergie	26
Figure II.10	Définition des caractéristiques du fluide	26

Figure II.11	Insertion des valeurs de référence	.....	27
Figure II.12	Définition des conditions aux limites	.....	27
Figure II.13	Choix d'ordre des équations et l'algorithme	.....	28
Figure II.14	Initialisation	.....	28
Figure II.15	Choix des critères de convergence	.....	29
Figure III.1	Effet de la température de l'absorbeur sur le flux de chaleur	.....	30
Figure III.2	Effet de la température de l'absorbeur sur le coefficient d'échange thermique convectif	.....	31
Figure III.3	Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour T= 80°C	.....	32
Figure III.4	Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour T= 120°C	.....	33
Figure III.5	Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique convectif pour T= 80°C	.....	34
Figure III.6	Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique convectif pour T= 120°C	.....	35

**Liste des tableaux**

Tableau I.1	.....	Différents types de séchoirs solaires
Tableau I.2	.....	Modes de séchage
Tableau II.1	.....	Caractéristiques principales du soleil
Tableau II.2	.....	Comparaison des différents types de stockage en fonction de densité énergétique

## Sommaire

	Dédicaces	i
	Remerciements	iii
	Liste des figures	iv
	Liste des tableaux	v
	Sommaire	vi
	Introduction	1
<b>Chapitre I</b>	<b>Généralités sur le séchage</b>	<b>2</b>
1.	Définition	2
2.	Historique	2
3.	But de séchage	3
3.1.	Habitudes de séchage en Algérie	3
4.	Domaine d'utilisation	3
4.1.	Industrie agroalimentaire	4
4.2.	Industrie papetière	4
4.3.	Industrie du bois	4
5.	Processus de séchage	4
5.1.	Séchage par conduction	4
5.2.	Séchage par convection	5
5.3.	Séchage par rayonnement	5
6.	Choix type de séchoir	5
7.	Classification des systèmes du séchage solaire	5
7.1.	Séchoirs solaires directs	5
7.1.1.	Principe de fonctionnement	6
7.1.2.	Types de séchoirs directs	7
7.1.3.	Boîte de séchage ou séchoir coffre	7
7.1.4.	Séchoir intégral à convection naturelle	7
7.1.5.	Séchoir solaire-coquillage	8
7.1.6.	Séchoir cabane	9
7.2.	Séchoirs solaires indirects	9
7.2.3.	Types de séchoirs indirects	10
7.2.3.1.	Séchoir armoire	10



6.2.	Schéma du séchoir solaire	.....	22
6.3.	Fluent	.....	23
6.3.1.	Importation de la géométrie	.....	23
6.3.2.	Vérification du maillage importé	.....	24
6.3.3.	Vérification de l'échelle	.....	24
6.3.4.	Choix du solveur	.....	25
6.3.5.	Equation de l'énergie	.....	25
6.3.6.	Définition des caractéristiques du fluide	.....	26
6.3.7.	Operating condition	.....	26
6.3.8.	Conditions aux limites	.....	27
6.3.9.	Choix d'ordre des équations et l'algorithme	.....	27
6.3.10.	Initialisation	.....	28
6.3.11.	Choix des critères de convergence	.....	28
6.3.12.	Lancement de calcul	.....	29
<b>Chapitre III</b>			<b>30</b>
<b>Résultats et discussion</b>			<b>30</b>
1.	Effet de la température de l'absorbeur	.....	30
1.1.	Effet de la température de l'absorbeur sur le flux de chaleur	.....	30
1.2.	Effet de la température de l'absorbeur sur le coefficient d'échange thermique par convection	.....	31
2.	Effet du nombre d'ondes	.....	32
2.1.	Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur	.....	32
2.1.1.	Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour T= 80°C	.....	32
2.1.2.	Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour T= 120°C	.....	33
2.2.	Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique	.....	34
2.2.1.	Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique pour T= 80°C	.....	34
2.2.1.	Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique pour T= 120°C	.....	35
	Conclusion	.....	36
	Références	.....	37

# **Introduction**

### Introduction

Sous l'effet de la chaleur, le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide par évaporation. Plusieurs techniques sont possibles pour sécher et conserver les récoltes agricoles et les plantes médicinales. Parmi elles, on cite le séchage. La technique de séchage traditionnelle, qui est généralement réalisée sur sol, est la plus utilisée dans tous les pays de développement pour préserver les denrées alimentaires, telles que les céréales, les légumes, la viande et le poisson, etc... . Dans cette méthode traditionnelle, les aliments sont exposés aux intempéries, à la poussière et aux insectes. Un grand nombre de travaux de recherche ont été réalisés sur les systèmes de séchage solaire car il est important et très utile d'un point de vue économique. Cette opération constitue un moyen rentable pour la déshydratation de ces produits. En agro-alimentaire, d'une façon générale, l'optimisation de l'opération de séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont la consommation restreinte de l'énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité aromatique du produit à sécher. Il existe plusieurs critères pour classer les séchoirs solaires, parmi les plus importants on cite le séchage direct et le séchage indirect.

Dans le séchage direct, 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, par contre dans le type indirect, le séchoir se compose de deux parties, la première partie c'est un capteur solaire plan à air, dans le but est de capter les rayons solaires et les transformés en énergie thermique, cette énergie est transporté avec l'air à la deuxième partie qui est la chambre de séchage ou se trouve le produit à séché. Le but de ce travail est de simuler le phenomena de séchage solaire indirect à travers un séchoir solaire.

Ce mémoire est constitué d'un chapitre de généralités sur le phenomena de séchage solaire et les techniques des séchoirs solaires. Un deuxième chapitre consacré aux logiciels de simulation numérique Gambit et Fluent, les méthodes numériques sur lesquelles basée les calculs utilisées par Fluent ainsi que les différentes étapes de simulation. Enfin, un dernier chapitre est aussi consacré aux resultants obtenus par simulation numérique.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur le séchage**



## Généralités sur le séchage

### 1. Définition

C'est l'opération unitaire ayant pour but d'éliminer par évaporation un liquide imprégnant un solide ou un liquide. Le terme déshydratation a un sens plus restrictif, en effet, il ne concerne que l'élimination de l'eau dans un solide ou dans un liquide [12]. Le séchage est une opération consistant à abaisser l'activité du liquide d'un produit, jusqu'au seuil en deçà duquel les réactions enzymatiques et d'oxydation sont inhibées, de même que le développement des microorganismes [13].

### 2. Historique

La déshydratation est l'une des plus anciennes méthodes de préservation des aliments que l'on connaisse. Les peuples primitifs déshydrataient ou faisaient sécher les herbes, les racines, les fruits et la viande en les exposants au soleil. Ils avaient appris que la déshydratation des aliments leur permettait de survivre durant les durs et longs hivers alors que la nourriture était plus rare ou encore inexistante.

La légèreté ainsi que la valeur nutritive élevée des aliments déshydratés permettaient aussi aux peuples d'autrefois de parcourir de plus grandes distances lors de leurs voyages de chasses ou d'exploration. Presque tous les êtres humains du monde souffrent de déshydratation ou de dessèchement des aliments depuis l'aube de la civilisation. En effet, les premiers rapports écrits sur le sujet indiquent que les Phéniciens, ainsi que d'autres pêcheurs méditerranéens, avaient l'habitude de sécher leurs prises en plein air. Le séchage des feuilles de thé au soleil était très courant chez les Chinois.

Plusieurs autres cultures, d'autre part, ont mangé une variété d'aliments déshydratés. Par exemple, lorsque les scientifiques ont récemment fouillé des tombes égyptiennes antiques, ils ont découvert une variété d'aliments déshydratés, y compris des grains de blé. Ces aliments étaient destinés à soutenir l'esprit du défunt lors de son voyage dans l'au-delà. Au cours d'une expérience, des grains secs pendant plusieurs siècles ont été réhydratés. Ils germent miraculeusement, démontrant que la déshydratation est une méthode naturelle et viable de conservation à long terme des aliments.

Au cours des explorations des XVe et XVIe siècles, la majorité des marins ont consommé une variété d'aliments séchés pour rester en bonne santé pendant leurs voyages en mer [1].

### 3. But de séchage

L'objectif du séchage est de réduire la teneur en eau des produits agricoles à un niveau résiduel bas, en inhibant la croissance de tous les micro-organismes.

Cette importance aide les marchandises à être traitées dans des environnements respectueux de l'environnement [15].

#### 3.1. Habitudes de séchage en Algérie

Le séchage des produits agricoles est l'une des applications potentielles les plus importantes de la région algérienne.

Les agriculteurs et les citoyens sèchent leurs récoltes sur des bâches, des pavés ou sur le sol, les exposant au soleil en les étalant en fines couches.

Cependant, l'expérience de l'Algérie en matière de séchage solaire est nouvelle et se limite au séchage des fruits, légumes, plantes médicinales et plantes aromatiques [1].



Figure I.1: Femme algérienne et le processus de séchage.

### 4. Domaine d'utilisation

Le séchage industriel est de nos jours très couramment utilisé dans les industries chimiques ou des matériaux [16].

Cette technique a plusieurs utilisations dans les pays en voie de développement dans la vie de tous les jours.

#### **4.1. Industrie agroalimentaire**

Un grand pourcentage de la nourriture que nous mangeons a subi un processus de séchage. Le processus de séchage peut être une étape nécessaire dans le développement du produit ou jouer un rôle dans la conservation des aliments :

- Produits agricoles nécessitant un séchage pour être stabilisés et allégés: lait (notamment pour l'alimentation du veau), luzerne et labyrinthe entier (alimentation animale), légumes et assimilés (pomme de terre, carottes, oignons).
- Produits transformés industriellement que l'ont été séchés pour la stabilité et la présentation: extraits de café et de thé, pâtes alimentaires, charcuterie (jambons secs et saucisses), fromages, aliments pour animaux de compagnie, sucre, amidon, etc.
- Des sous-produits industriels, généralement destinés à l'alimentation animale : pulpes de sucrerie, sérum de fromagerie.

#### **4.2. Industrie papetière**

Le papier est fabriqué en séchant la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

#### **4.3. Industrie du bois**

Le bois qui a été récemment tué et tranché contient un niveau élevé d'humidité, ce qui empêche une utilisation immédiate dans des conditions appropriées, sinon le bois changerait de taille et de forme etc.... [5].

### **5. Processus de séchage**

Le séchage par convection à mettre en contact un gaz (généralement air chaud et de faible hygrométrie) en écoulement autour du corps à sécher. Ce courant gazeux assure à la fois l'apport de chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et l'enlèvement de la vapeur produite. Entre l'entrée et la sortie du séchoir, le gaz se refroidit en même temps qu'il se charge d'humidité. Dans le cas du solide, on observe une diminution progressive de sa teneur en eau et une augmentation de sa température au cours du séchage [7]. Pour favoriser le séchage, il est souvent amené à fournir l'énergie nécessaire pour vaporiser le liquide que l'on veut éliminer. Cette énergie peut être apportée :

#### **5.1. Séchage par conduction**

Dans ce mode de séchage [6], L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas par un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée.

## 5.2. Séchage par convection

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

## 5.3. Séchage par rayonnement

Il s'agit de la méthode de séchage la plus courante dans l'industrie chimique; l'échange thermique est réalisé par contact direct entre le solide humidifié et le gaz caloporteur [6].

## 6. Choix type de séchoir

Les séchoirs solaires sont généralement divisés en deux catégories: le chauffage et le refroidissement leur fonctionnement est divisé [8] en plusieurs catégories :

- Séchoirs solaires directs.
- Séchoirs solaires indirects.
- Séchoirs solaires hybrides.
- Séchoirs solaires mixtes.

## 7. Classification des systèmes du séchage solaire

Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de fonctionnement en plusieurs catégories présentées dans la figure suivante :

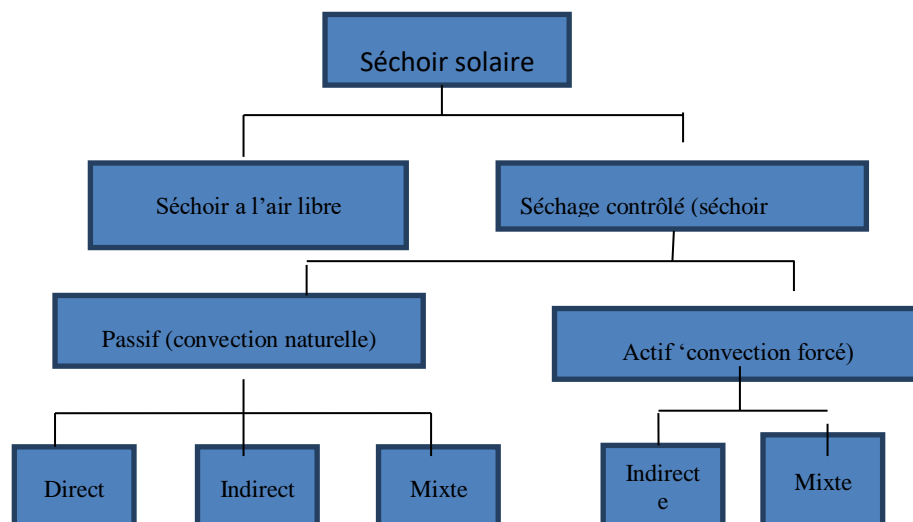


Figure I.2. Différents systèmes du séchage solaire.

### 7.1. 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 [31, 14].



**Figure I.3 : Séchoirs solaires directs [11].**

### **7.1.1. Principe de fonctionnement**

Les produits sont directement frappés par les rayons du soleil. Le sécheur solaire direct est composé d'une seule pièce qui sert à la fois de salle de séchage et de capteur solaire. Pour augmenter la capacité d'absorption de la chaleur, le fond de la salle de séchage est peint en noir. Une feuille de plastique ou de polyéthylène transparente sert de toit, mais d'autres matériaux plus coûteux comme le verre ou le métal peuvent également être utilisés polyéthylènes agricoles (polyéthylènes).

#### **Avantages**

- Meilleure protection contre la poussière, les insectes, le bétail et la pluie contrairement au séchage conventionnel,
- Il n'y a pas besoin de main-d'œuvre qualifiée ;
- Il existe de nombreuses options de conception.

#### **Inconvénients**

Dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration [25].

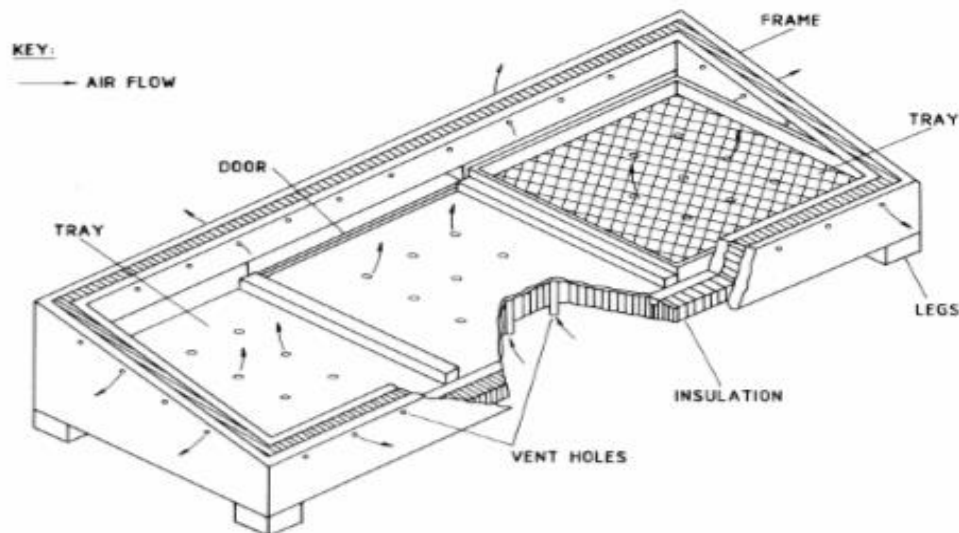
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments [26].

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

### 7.1.2 Types de séchoirs directs

#### 7.1.3. Boite 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 [27]. Dans le séchoir coffre, l'air pénètre par les orifices percés par le fond du caisson, et s'échappe par des trous situés dans la partie haute de chaque côté. Le fond de la boîte ainsi que les parois sont peints en noir pour mieux capter le rayonnement solaire. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit, une porte dans le panneau arrière permet de régler la température.



**Figure I.4 : Boite d'un séchoir solaire direct.**

#### 7.1.4. Séchoir intégral à convection naturelle

Le séchoir intégral est un séchoir direct dont le produit est placé dans une chambre de séchage avec des parois transparentes, le rayonnement solaire empêche 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 [28]. 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 [28]. 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.

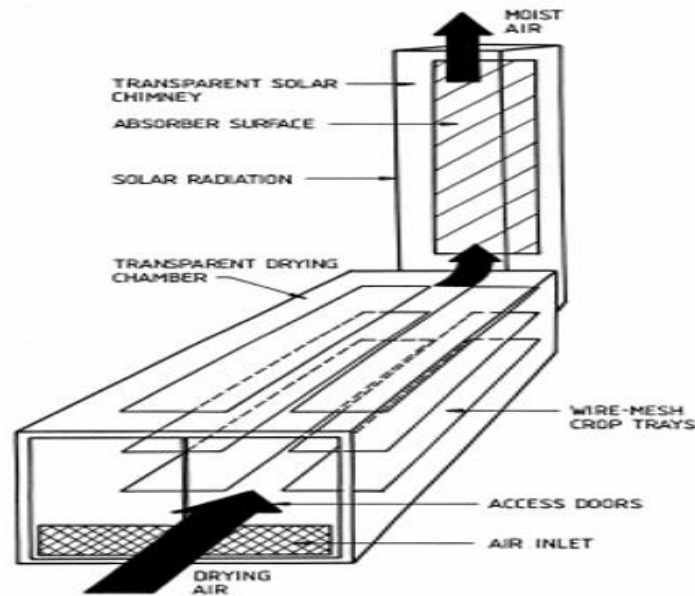


Figure I.5 : Séchoir solaire intégral.

### 7.1.5. 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. Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air.

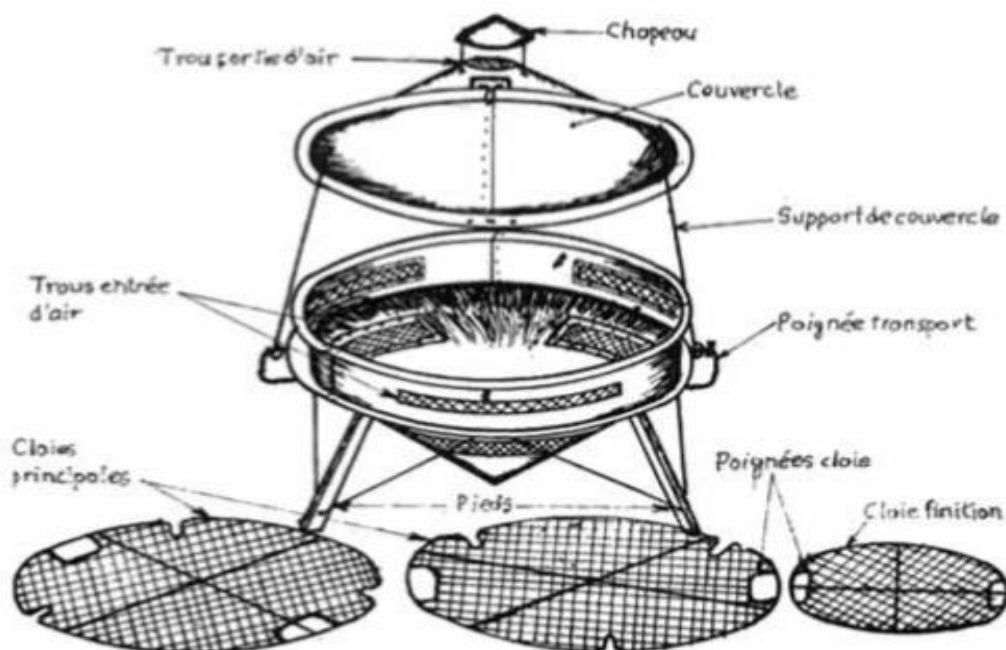


Figure I.6 : Séchoir solaire coquillage à trois cloies.

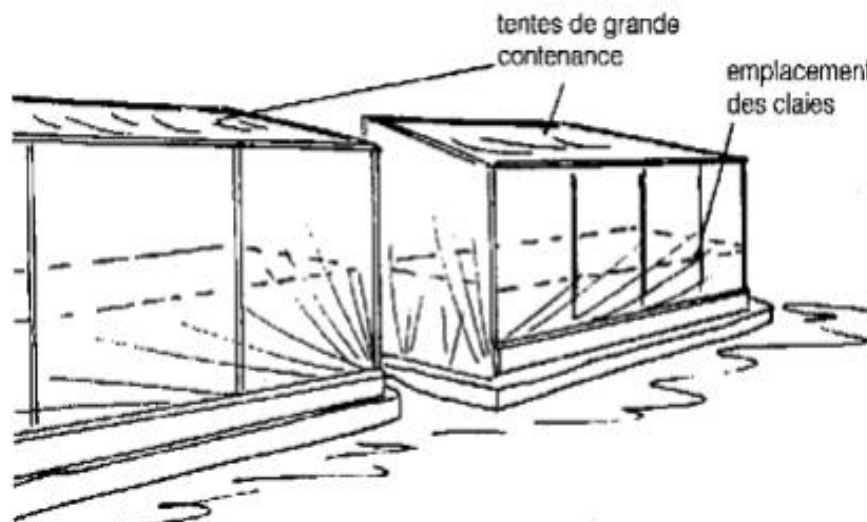
### 7.1.6 Séchoir cabane

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7m<sup>2</sup> [29]. Les produits sont placés dans le séchoir sur des claies surélevées du sol.

La toile de plastique permet de capter l'énergie solaire, une porte permet d'entrer dans la tente et de garnir les claies, une sortie d'air est aménagée dans la partie supérieure.

Ce type de séchoir est caractérisé par une meilleure protection contre les insectes, équipement démontable à la saison des pluies et une simple construction et fonctionnement, parmi les inconvénients de ce séchoir :

le coût est assez important, la nécessité d'une grande surface de polyéthylène et la prise au vent qui rend ces modèles fragiles si l'emplacement est mal choisi.



**Figure I.7 : Séchoir solaire cabane.**

### 7.2. Séchoirs solaires indirects

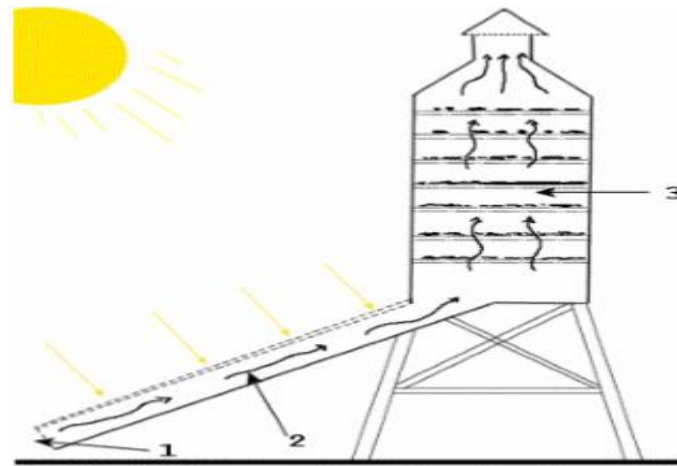
Ces systèmes sont plus efficaces que les séchoirs directs, et ils ont l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment: couleur, aspect et valeur nutritionnelle [29].

En conséquence, ils sont particulièrement bien adaptés au séchage des produits alimentaires.

Le sécheur solaire indirect est composé de trois parties: un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et un feu. L'air circule dans le collecteur; il est chauffé et sa température augmente.

L'air chaud monte par convection naturelle vers la salle de séchage.

La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques [29].



**Figure I.8 : Séchoir solaire indirect.**

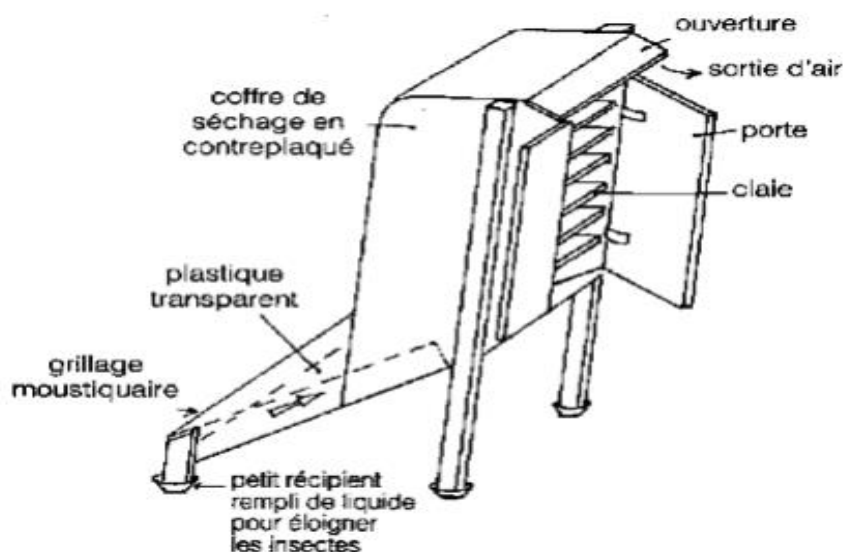
Ce type de séchoirs se compose essentiellement de :

Entrée d'air, partie exposée aux rayons du soleil (sous une vitre), claie et cheminée.

### 7.2.3. Types de séchoirs indirects

#### 7.2.3.1. 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. Il 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 et assure la production d'air chaud la chambre de séchage protège les produits du soleil tout en conservant leur consistance.



**Figure I.9 : Séchoir solaire armoire.**

### 7.3. 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 :

- 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

#### 7.4. 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 (figure 10) 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 empîète directement sur le produit comme le séchoir intégral (Ekechukwu et Norton, 1999).

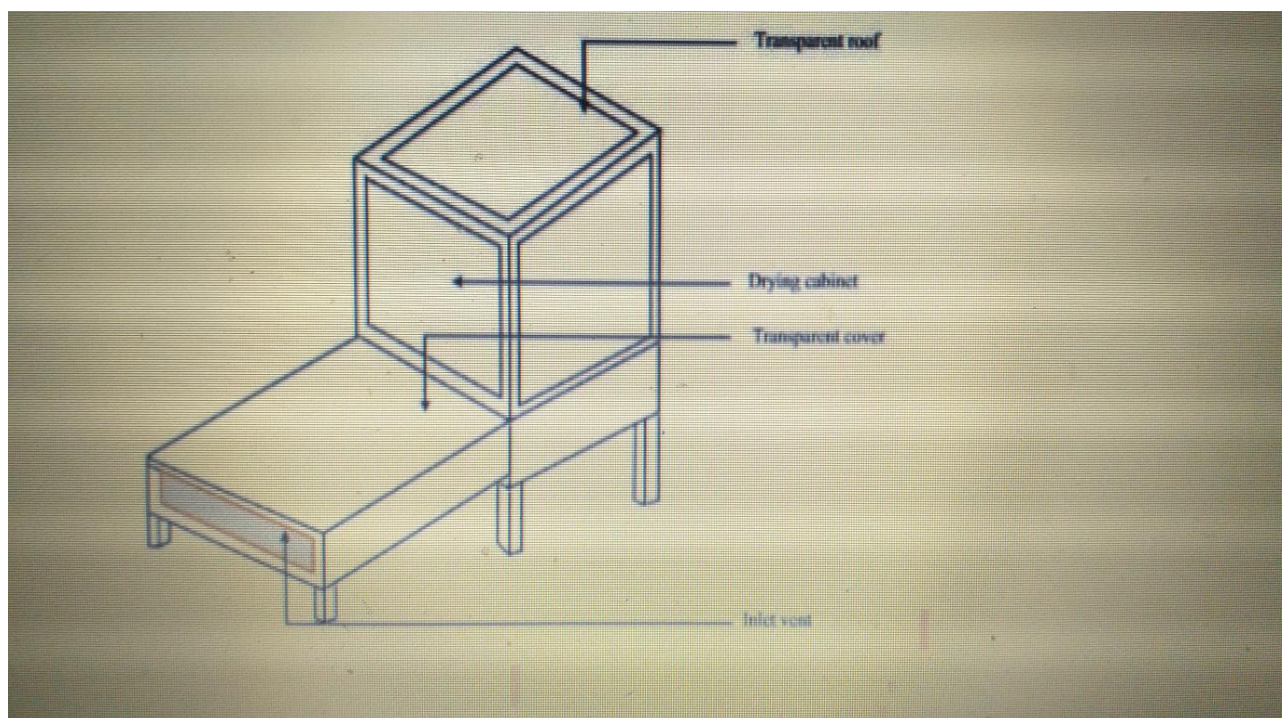


Figure I.10 : Illustration d'un séchoir solaire mixte.

#### 7.5. Différents types de structure de séchoirs solaire

Pour améliorer l'efficacité de la dessiccation, il faut employer une sorte de structure qui capte la radiation solaire. Plusieurs types de séchoirs solaires ont été mis au point et sont illustrés ci-dessous [36] :







Dessiccation solaire	description des types de séchoirs	
Armoire directe	la chambre de séchage est émaillée et on n'emploie pas de collecteur solaire séparé.	
Armoire indirecte	Le collecteur solaire est séparé de la chambre de séchage.	
Tunnel direct	En général une structure avec un cadre en cerceau recouvert d'une ou deux épaisseurs de film plastique.	
Tunnel bas	Séchoir direct semblable à ci-dessus mais construit près du sol, en général ne peut contenir qu'une seule couche de produit.	
Tente	Séchoir direct avec un cadre droit plutôt que courbé.	
Bac	Séchoir indirect avec courant d'air forcé.	

Tableau I.1 : Différents types de séchoirs solaires.

## 7.2. Description d'un séchoir solaire

Le séchoir solaire est un appareil qui capte les rayons du soleil et les utilise pour sécher les aliments stockés à l'intérieur. Il nous permet de déshydrater en tant que déshydrater. Il est généralement fait de bois avec une plaque de verre qui simule un effet dentelé à l'intérieur de la sécheuse. Le séchoir solaire a un potentiel important dans le secteur agricole, où il est utilisé pour sécher les légumes, les fruits et les plantes médicinales. En conséquence, la dépendance au séchage solaire et industriel est réduite, ce qui permet d'économiser d'énormes quantités de combustibles fossiles.

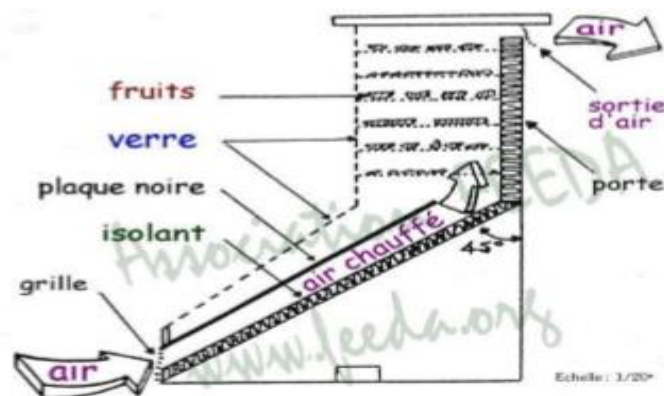


Figure I.11: Illustration d'un séchoir solaire.

## 8. Modes de séchage

C'est l'évaporation du liquide par des forces mécaniques pures. Certains processus de pré-concentration et de pré-séchage peuvent être effectués sans l'utilisation d'un transfert thermique, mais par un simple transfert de quantité de mouvement.

<b>Opération</b>	<b>Technique</b>	<b>Mécanisme</b>	<b>Applications</b>
<b>Concentration</b>	<b>Centrifugation</b>	<b>Sédimentation force</b>	<b>Jus de tomate</b>
	<b>Filtration</b>	<b>Tamissage</b>	<b>Boues résiduelles</b>
	<b>Ultrafiltration</b>	<b>Tamissage moléculaire</b>	<b>Lactosérum</b>
<b>Séchage</b>	<b>Egouttage</b>	<b>Gravité</b>	<b>Fromage</b>
	<b>Essorage</b>	<b>Tamissage</b>	<b>Cristaux de sucre</b>
	<b>Pressage</b>	<b>Expression</b>	<b>Fourrages</b>

**Tableau I.2 : Modes de séchage.**

On pourrait ajouter à cette liste l'osmose inverse (concentration des jus de fruits) bien que cette technique constitue un cas limite plus assimilable à une opération de transfert de masse qu'à un processus de transfert de quantité de mouvement et que l'eau subisse déjà une sorte de changement d'état puisqu'elle passe à l'état de solution dans la membrane. L'élimination d'eau par voie mécanique se caractérise essentiellement par trois points l'opposant nettement aux techniques faisant appel aux transferts de chaleur.

### **8.1. Séchage chimique**

C'est un procédé basé sur l'utilisation de produits déshydratants (osmotique) (chlorure de Calcium,...) pour extraire l'eau.

### **8.2. Séchage thermique**

Quelques exemples de séchage thermique

#### **8.2.1. Séchage au soleil**

Le séchage au soleil s'est largement développé dans les zones arides ou semi-arides qui présentent des conditions climatiques optimales : une saison sèche avec un fort ensoleillement, une faible pluviométrie, une hygrométrie peu élevée. Le séchage s'effectue sur le sol, sur des nattes, sur des rochers plats, ou bien sur les toits des maisons. Ce système présente deux principaux avantages pour les communautés : peu de travail et pas d'investissement, mais, très souvent, les résultats obtenus sont médiocres car les produits sont souillés de sable et de poussière, ils subissent les attaques des animaux, des insectes et des

micro-organismes, les pertes sont ainsi importantes. De plus, les produits s'abîment, sèchent trop ou pas assez, ce qui dégrade fortement leur qualité.



**Figure I.12 : Image de séchage de la tomate sous le soleil.**

### **8.2.2. Séchage à l'air libre**

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de  $22 \pm 2$  °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle.

### **8.2.3. Séchage par ébullition**

Le séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude, séchoirs cylindres....etc.), dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale ou dépasse la pression totale ambiante.

### **8.2.4. Séchage à l'étuve**

Dans ce type de séchage, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée.

Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester.

Le choix de ces deux critères (Taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume.



Figure I.13 : Etuve de séchage.

### 8.2.5. Séchage par micro-onde

Le chauffage par micro-ondes se rapporte à l'utilisation d'ondes électromagnétiques afin de produire de la chaleur dans le matériel à sécher. Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante, ce qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux ondes qui pénètrent l'aliment pour atteindre les molécules d'eau.

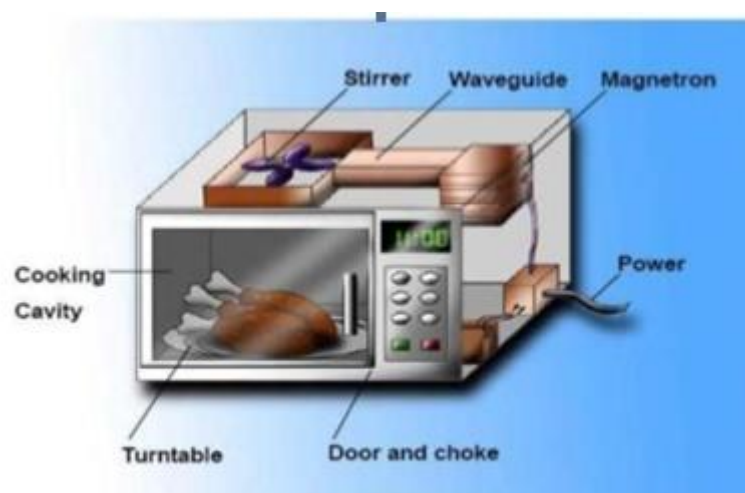


Figure I.14 : Schéma d'une micro-onde.

## 8.3. Séchage non-thermique

### La lyophilisation

C'est un procédé de conservation permettant de préserver des denrées alimentaires périssables et des substances biologiques et chimiques dites fragiles.

La lyophilisation concerne un produit qui est préalablement congelé, de telle sorte que l'eau puisse passer directement de l'état solide (glace) vers la phase vapeur sans l'étape de fusion, ce changement d'état étant appelé « sublimation ».

La période de sublimation est suivie d'une période de séchage par désorption d'une fraction d'eau liée, à une température de plus en plus élevée. En atmosphère de vapeur d'eau pure et sous vide, ce procédé obéit à des principes comparables à l'ébullition, mais ce séchage peut aussi se faire en présence d'un certain taux de gaz incondensables dans l'atmosphère autour du produit, tel que la pression de vapeur dans le gaz externe soit seulement une pression partielle.

#### **8.4. Séchage osmotique**

Ce qu'on appelle déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion de ces derniers, entiers ou en morceaux, dans une solution hypertonique de sucres et/ou saline. En principe, l'osmose décrit les mouvements de l'eau et des solutés qui se produisent quand deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable, en raison de la pression osmotique relative de chaque composant.

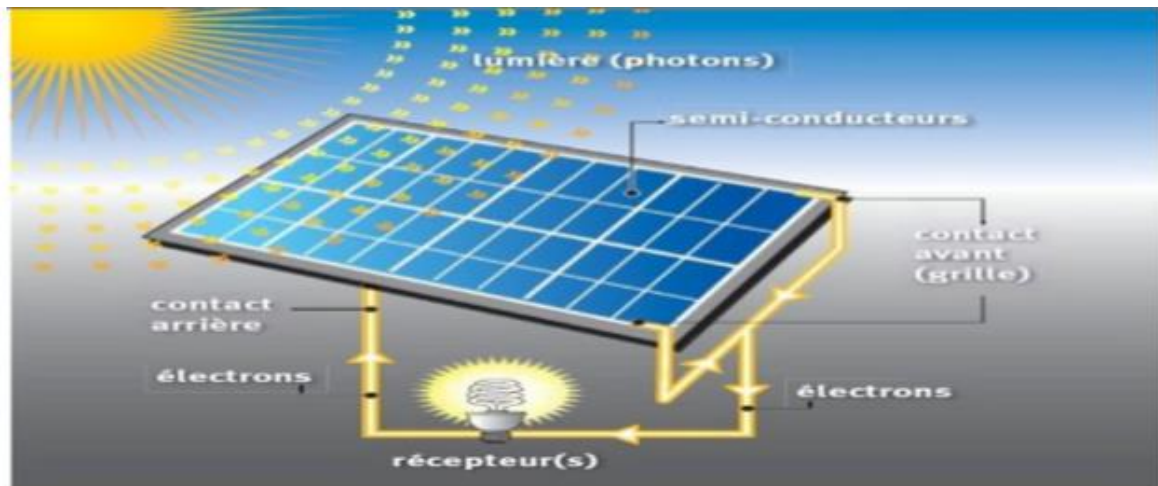
### **9. Capteurs solaires**

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...). Le principe de conversion du rayonnement solaire en énergie thermique est basé sur la paroi absorbante qui s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident, et l'effet de serre qui consiste à accumuler la chaleur dans un capteur pour la transférer directement ou par l'intermédiaire d'un fluide qui circule sous cette paroi et récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température ( $T_{fs} - T_{fe}$ ) à la traversée du capteur [28].

#### **9.1. Types de capteurs solaires**

Il existe des différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. Principalement il y a deux types de capteurs solaires:

- Les capteurs solaires photovoltaïques : qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.



**Figure I.15 : Panneaux photovoltaïques.**

- Les capteurs solaires thermiques : qui transforment l'énergie lumineuse en énergie thermique. Un capteur solaire thermique est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur.

Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- Capteurs plans.
- Capteurs par concentration.

### 9.1.1. Capteurs plans vitrés

Ce sont des systèmes destinés à générer de l'air chaud pour le séchage ou la production de l'eau chaude sanitaire. Ils sont constitués d'éléments plans montés en parallèle. Sa couverture transparente plane souvent en verre reçoit le maximum de rayonnement qu'il transmet partiellement à l'absorbeur qui est en tôle peinte en noir pour absorber le maximum de rayonnement solaire. Il est isolé sur les faces latérales et arrière. Ce type de capteur est installé proche des stations thermiques, ses températures de fonctionnement peuvent aller jusqu'à 100°C [29].



**Figure I.16 : Capteurs plan vitré.**

### 9.1.2 Capteurs plans non vitrés

Ce sont des capteurs simples de grande surface de collecte produisant de températures relativement basses et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement. Ils peuvent être utilisés pour le chauffage des piscines et de l'eau sanitaire.



Figure I.17 : Capteur plans non vitrés.

### 9.1.3 Capteurs par concentration

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes et plus onéreux. Il s'agit de réflecteurs en demi-cercle qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau où circule un fluide caloporteur. Cette concentration entraîne une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible) peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius.

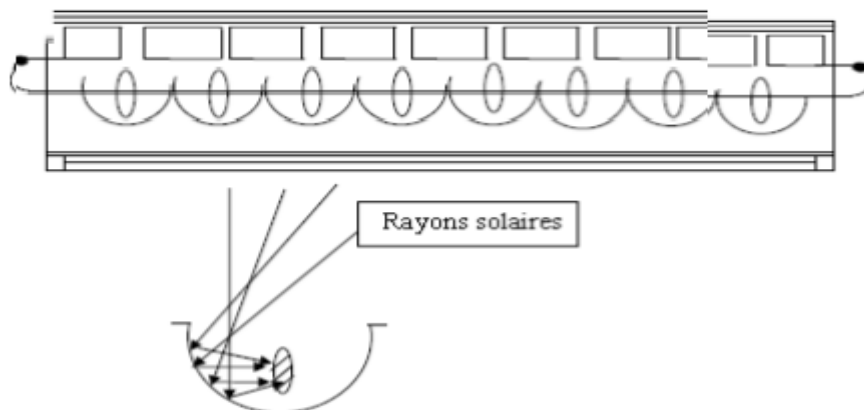


Figure I.18: Représentation schématique d'un capteur à concentration.

## 10. Rendement instantané d'un capteur

Le rendement instantané d'un capteur est défini par [33] :

$$\eta = \frac{\text{Puissance thermique utile par m}^2 \text{ du capteur}}{\text{Flux solaire incident sur le plan du capteur}} = \frac{\varphi_u}{\varphi_a}$$

# **Chapitre II**

## **Simulation numérique**

## Simulation numérique

### 1. Introduction

Les écoulements de fluides, que ce soit en régime laminaire ou turbulent, sont décrits par le système d'équations aux dérivées partielles. Ainsi, tous les phénomènes physiques sont régis par ce système formé par les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie qu'il convient de résoudre pour connaître les caractéristiques du champ thermique et du champ d'écoulement .

Malheureusement, il est pratiquement impossible de trouver une solution analytique et exacte à de tels systèmes du fait que les équations citées précédemment soient très complexes, c'est-à-dire non linéaires d'une part et couplées d'autre part. Dans ce cas, le recours à la résolution numérique s'impose et nous incite à choisir la méthode numérique adéquate pour obtenir les meilleures approximations. Parmi les méthodes numériques les plus fréquemment utilisées dans les problèmes d'écoulements et de transferts thermiques on peut citer :

- Méthode des éléments finis,
- Méthode des différences finies;
- Méthode des volumes finis.

### 2. Méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis est une méthode de discrétisation qui convient pour la simulation numérique des différents types d'équations de lois de conservation. Cette méthode est largement utilisée dans les phénomènes qu'étudient le physicien et l'ingénieur, tel que la mécanique des fluides, le transport de masse et de chaleur ou la pétrochimie. Quelques-unes des caractéristiques importantes de la méthode des volumes finis sont similaires à celles de la méthode des éléments finis : elles peuvent être utilisées sur la géométrie arbitraire, utilisant des maillages structurés ou non structurés et elles mènent aussi à des schémas robustes.

Le principe de la méthode des volumes finis consiste essentiellement :

La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle.

La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles

Le choix d'un schéma représentant la variation de la quantité physique et l'assemblage des diverses équations.

Le modèle doit être stable et convergent.

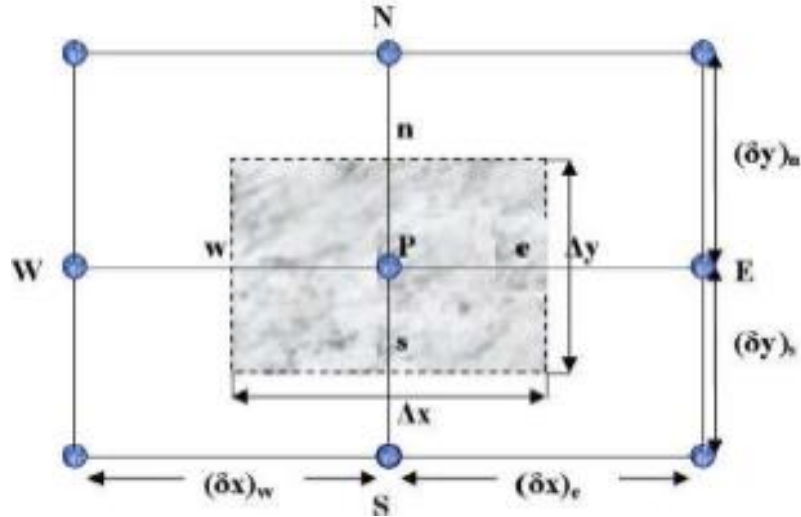


Figure II.1 : Volume de contrôle bidimensionnel [4].

### 3. Présentation des logiciels Gambit et Fluent

La simulation numérique en mécanique des fluides est reconnue aujourd'hui comme l'un des outils incontournables de conception et est largement utilisée dans l'industrie. Le choix de l'utilisation de telle méthode numérique va dépendre essentiellement du type et de la complexité du problème à résoudre : La nature du fluide, le comportement thermodynamique, la modélisation du milieu et le problème stationnaire ou instationnaire. Les codes de simulation numérique des écoulements, ou codes CFD (Computational Fluid Dynamics), résolvent les équations régissant les mouvements d'un fluide. Ces équations traduisent la conservation de la masse et de la quantité de mouvement du fluide (équations de Navier-Stokes), ainsi que la conservation de l'énergie.

### 4. Logiciel-Gambit

C'est un préprocesseur intégré pour l'analyse en CFD. Il peut être utilisé pour construire une géométrie et lui générer un maillage. Eventuellement, une géométrie d'un autre logiciel de CAO peut être importée dans ce préprocesseur. Les options de génération de maillage de gambit offrent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré. Sinon, Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite.

Avec les outils de vérification du maillage, les défauts sont facilement détectés.

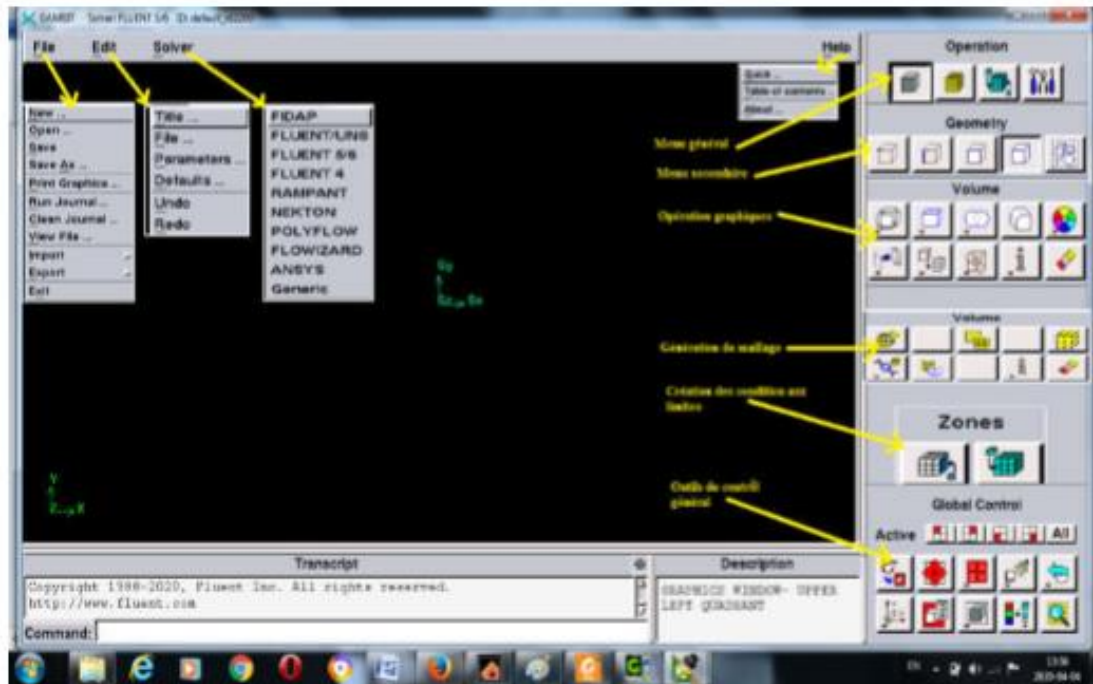


Figure II.2 : Vue globale de la fenêtre Gambit.

#### 4.1. Logiciel - Gambit regroupe trois fonctions

- Définition de la géométrie du problème étudié.
- Maillage de la géométrie du problème étudié.
- Définition des conditions aux limites

##### 4.1.1. Maillage

La génération du maillage est une phase très importante dans la simulation numérique par Fluent, elle a l'effet direct sur la solution du problème. L'icône de maillage contient des points, des lignes, des surfaces et des volumes. Le maillage peut être structuré ou non-structuré.

##### 4.1.1.1. Maillage structuré

Le maillage structuré représente l'avantage suivant :

- Economique, il présente un nombre de mailles inférieur et par conséquent un temps de calcul réduit et une convergence plus rapide.

Mais pour les inconvénients, il est souvent difficile surtout avec des géométries complexes.

##### 4.1.1.2. Maillage non structuré

Le maillage non-structuré représente les avantages suivants :

- Même pour les géométries complexes, il y a toujours de maillage.
- Certaines géométries, peuvent être maillées et avoir certains algorithmes automatique.

Pour les inconvénients sont :

- Très gourmand en nombre de mailles relativement au maillage structuré.
- Convergence incertaine et lenteur de temps de calcul.

## 5. Fluent

Fluent est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis. Fluent est un code de calcul pour modéliser les écoulements des fluides et les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement avec des mailles non structurées, qui peuvent être produites pour des géométries complexes, avec une relative facilité.

## 6. Méthode de travail sur logiciel


### 6.1 Gambit

- **Géométrie** 

Création des points (donner les dimensions des points) les dimensions sont en mètres (m).

- **Maillage (Mesh)** 

- Intervalle count (On divise)

- **Condition aux limites** 
- Conservation de maillage

[file, Save]

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

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

## 6.2 FLUENT

### 6.2.1. Importation de la géométrie

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (\*.msh) généré sous Gambit.

File → Read → Case...

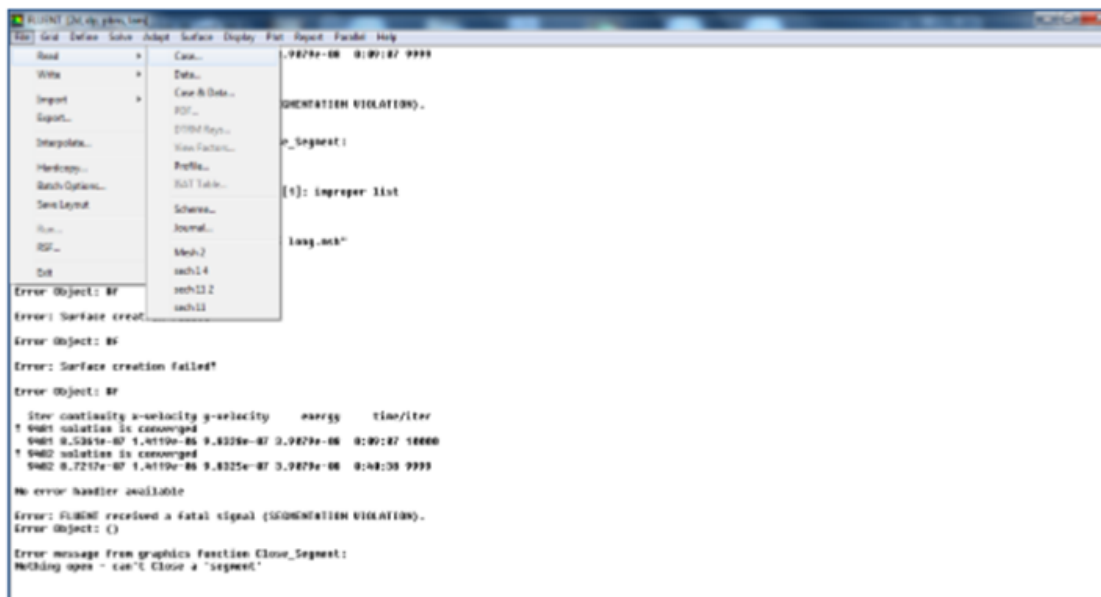


Figure II.3: Importation de la géométrie.

### 6.2.2. Vérification du maillage importé

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.

Grid → Check

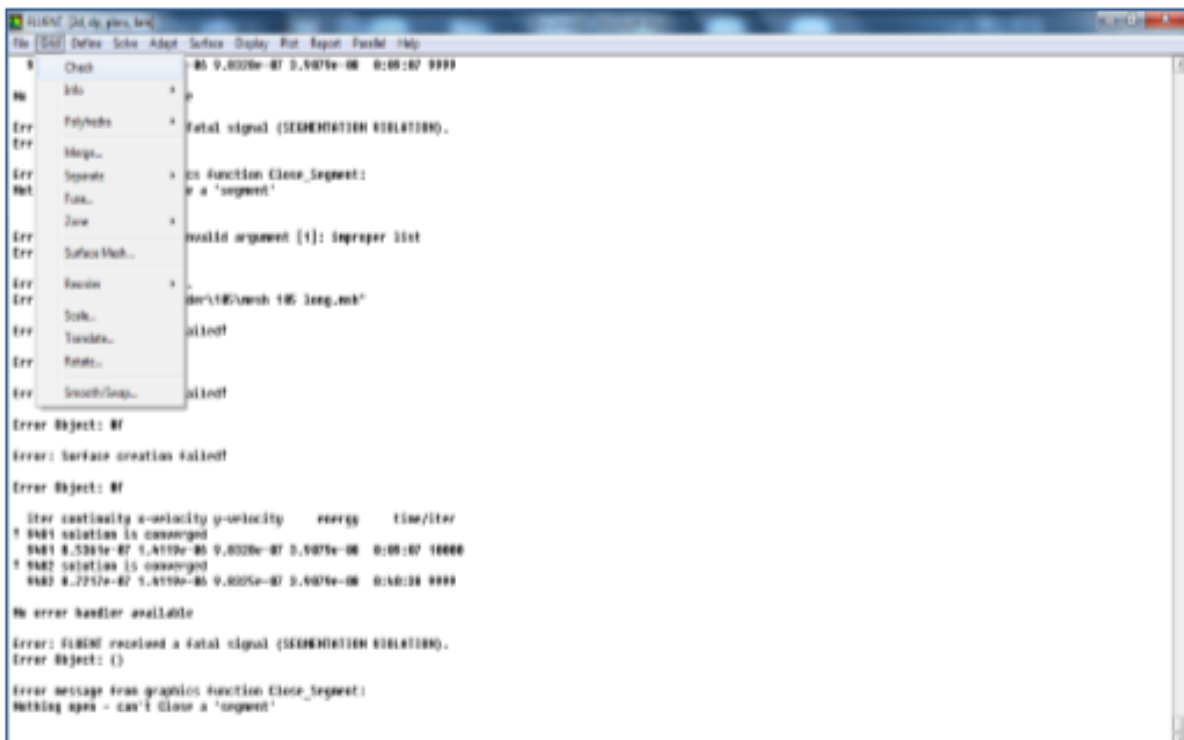


Figure II.4 : Vérification du maillage importé.

### 6.2.3. Vérification de l'échelle

#### Grid Scale →

Il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème.

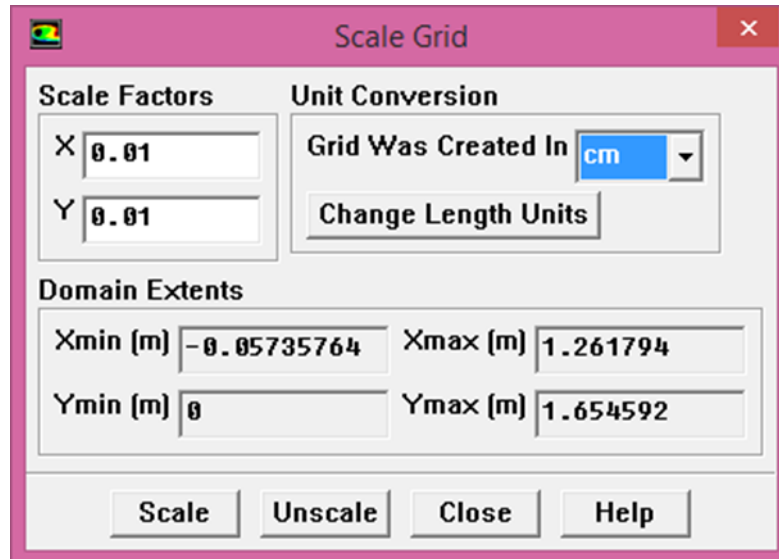


Figure II.5 : Changement de l'unité des dimensions de domaine de calcul.

### 6.2.4 Choix du solveur

#### Define → Models → Solver

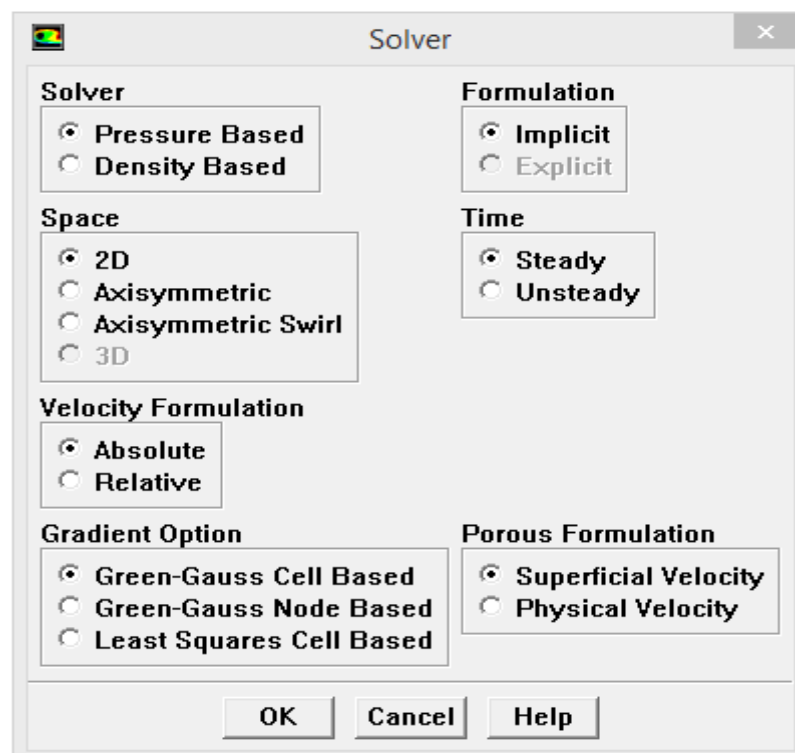


Figure II.6 : Choix du solveur.

- **Segregated Solver** : est le plus approprié pour les écoulements incompressibles.
- **Coupled Solver** : les solveurs « coupled implicit » et « coupled explicit », sont plutôt réservés aux écoulements compressibles à grande vitesse. C'est là aussi qu'on choisit le régime d'écoulement ; permanent ou instationnaire.

### 6.2.5 Equation de l'énergie

Define → Models → Energie

L'instruction énergie doit être activée pour l'étude du champ thermique.

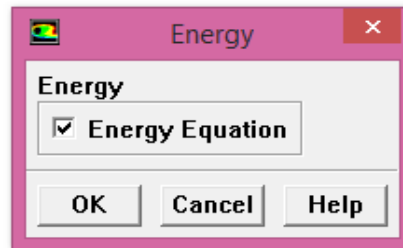


Figure II.7: Equation de l'énergie.

### 6.2.6. Définition des caractéristiques du fluide

Define → Materials

Les caractéristiques du fluide sont chargées à partir de la bibliothèque de données de Fluent.

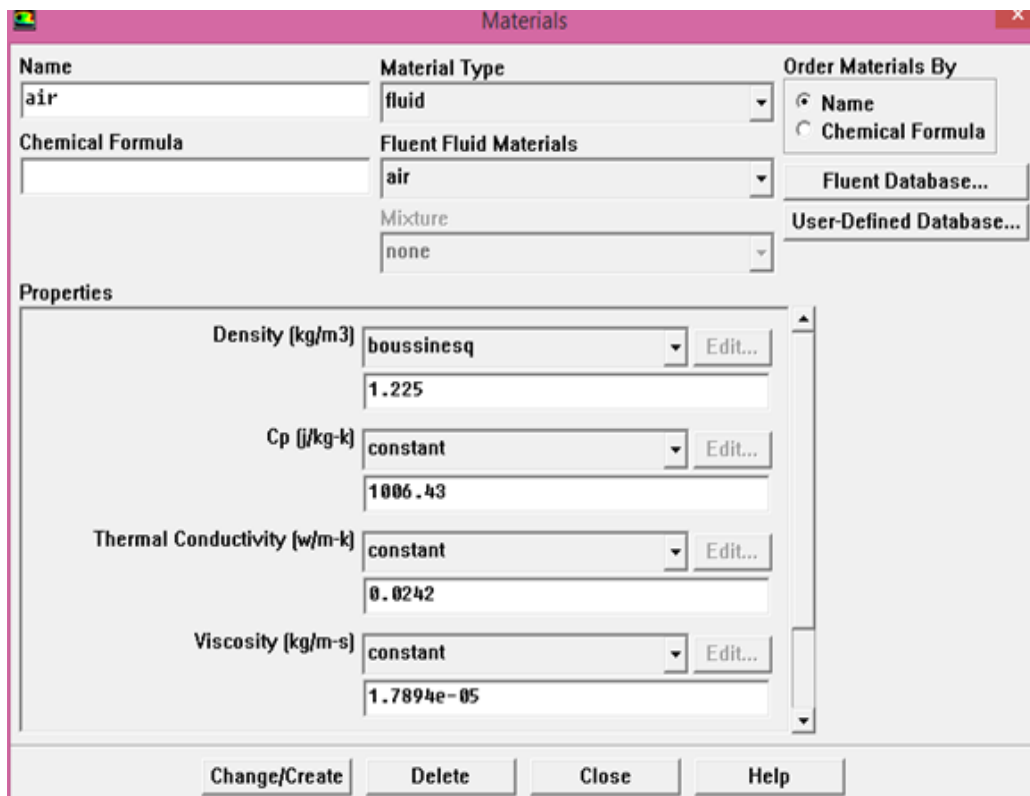


Figure II.8: Définition des caractéristiques du fluide.

6.2.7 Operating condition

Define → Operating Conditions

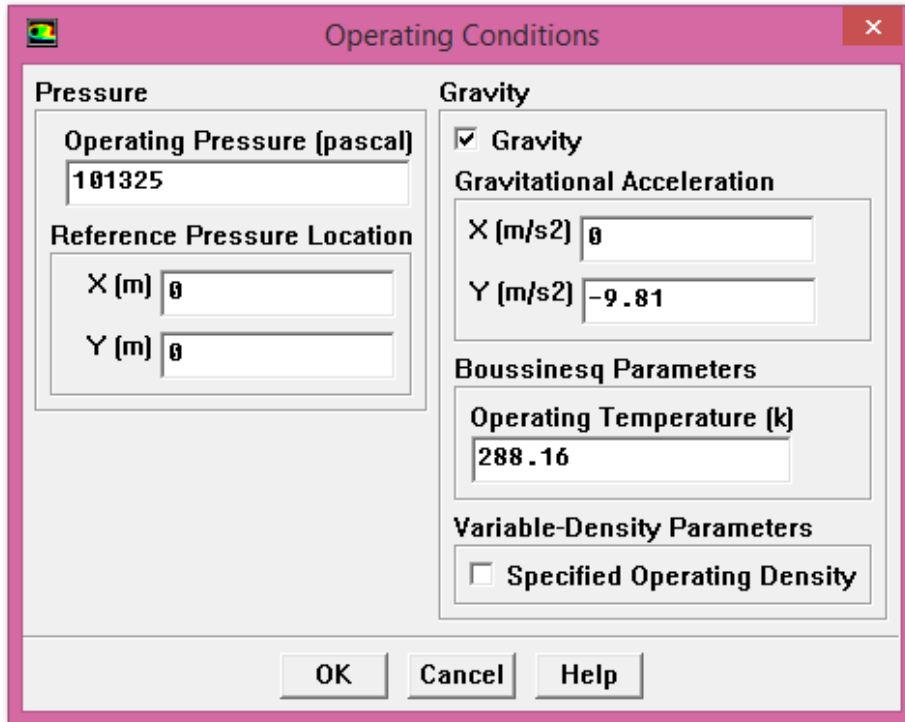


Figure II.9 :Insertion des valeurs de référence.

- Définir les conditions aux limites :

6.2.8 conditions aux limites :

Defins → Boundary Conditions

En suite, il faut fixer les valeurs des conditions aux limites

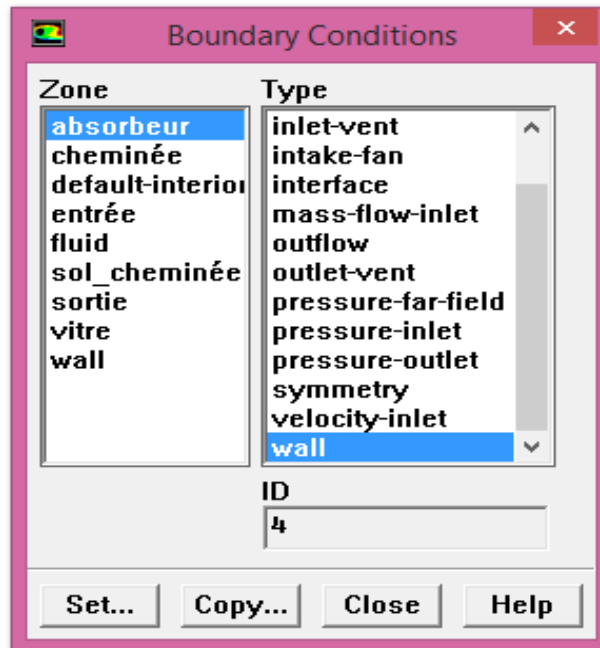


Figure II.10 : Définition des conditions aux limites.

## 6.2.9 Choix d'ordre des équations et l'algorithme

Solve → Controls → Solution

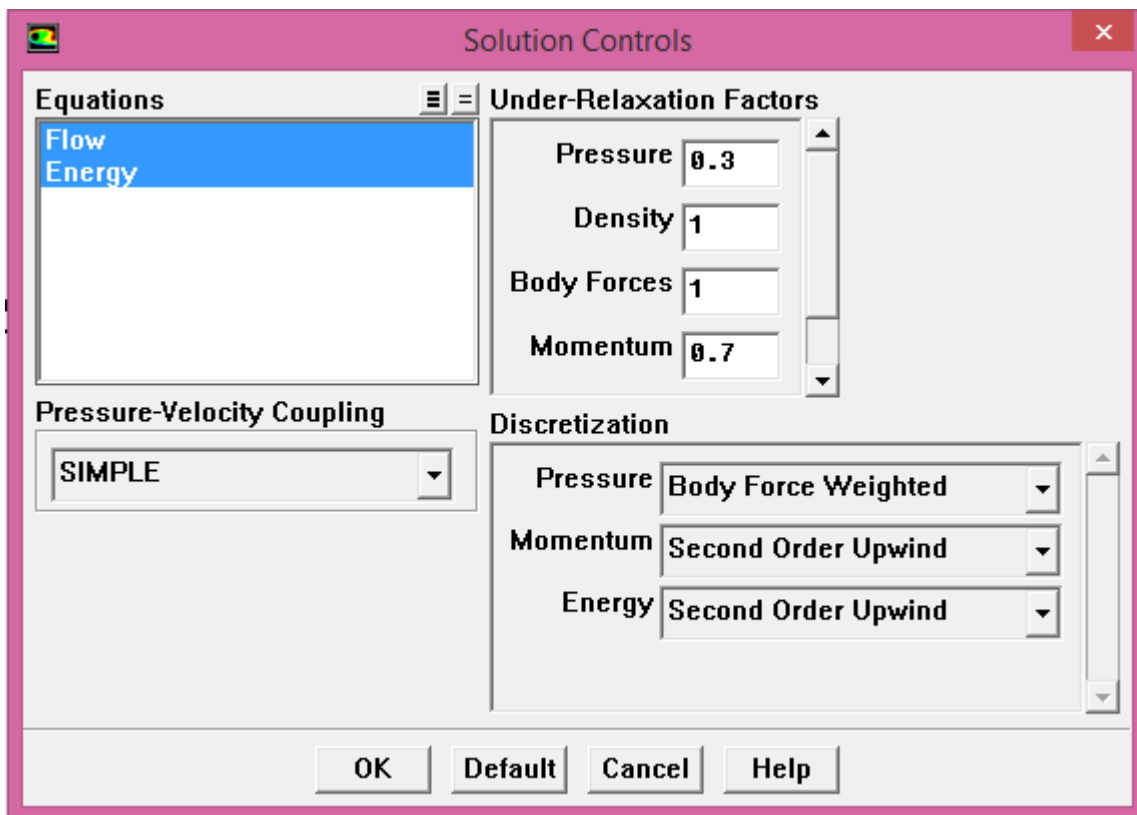


Figure II.11: Choix d'ordre des équations et l'algorithme.

## 6.2.10 Initialisation

Solve → Initialize → Initialize

Cette fonction permet d'initialisé le calcul.

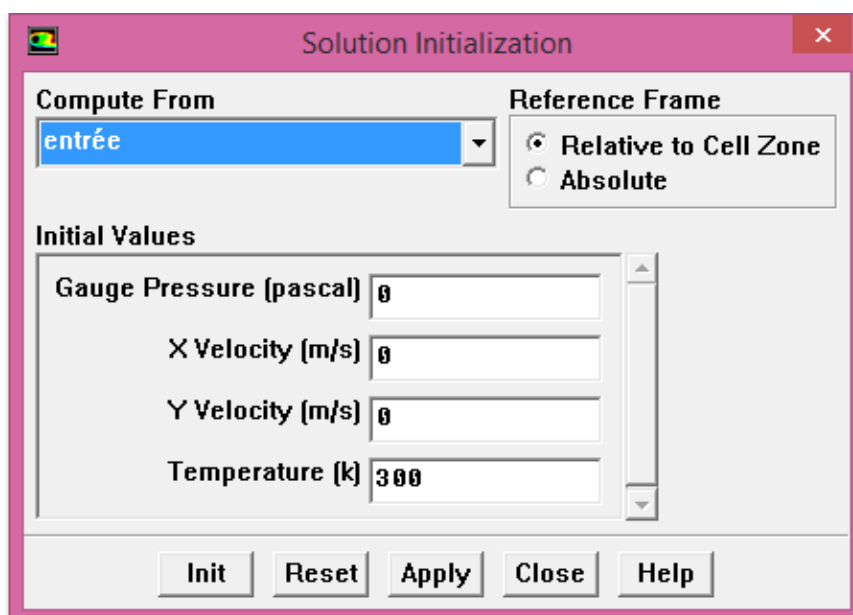


Figure II.12: Initialisation.

### 6.2.12 Choix des critères de convergence

Solve → Monitors → Residual

Il s'agit ici de choisir les critères qui doivent être vérifiés pour que les calculs de la simulation s'arrêtent.

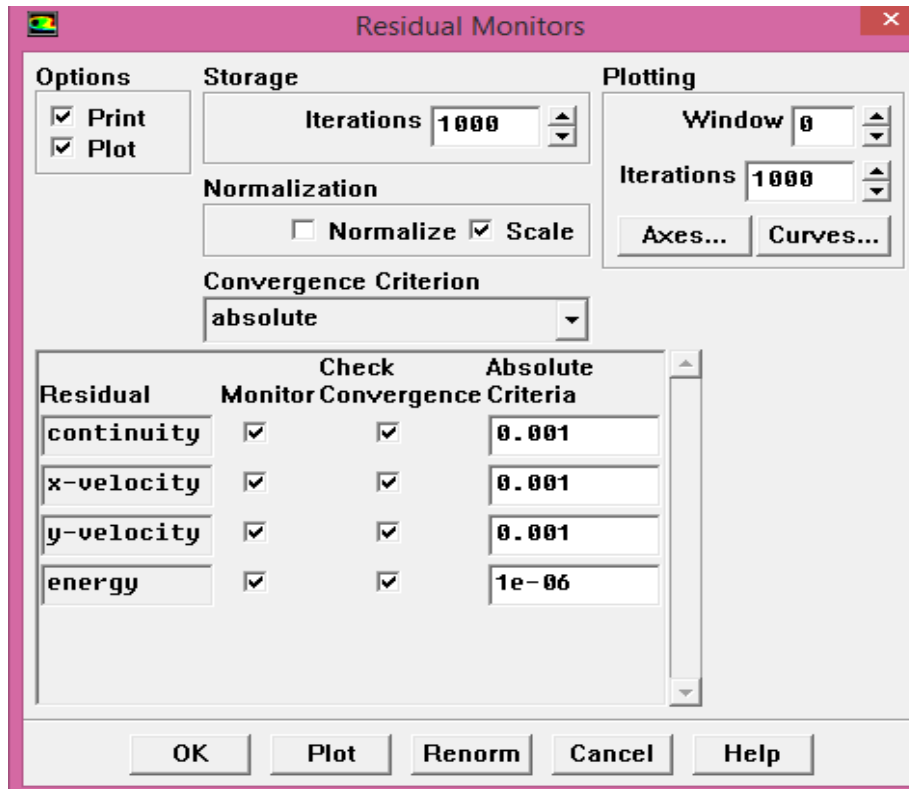


Figure II.13 : Choix des critères de convergence.

Pour afficher la convergence à l'écran pendant les calculs sous forme d'un graphe, il faut activer l'option Plot. Il est possible de désactiver certains critères d'arrêt de la simulation en décochant la case de convergence.

### 6.2.13. Lancement de calcul

Solve → Iterate

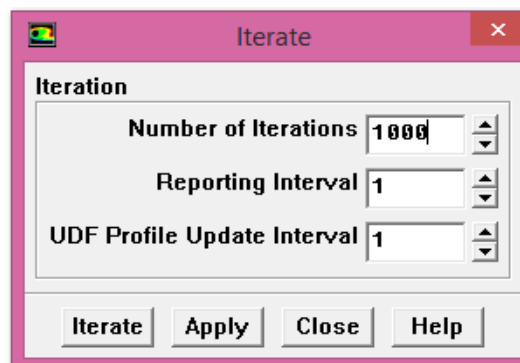


Figure II.14: Choix du nombre des itérations.

# **Chapitre III**

## **Résultats & discussion**

## Résultats et discussion

Dans cette partie d'étude, et dans premier temps, on présente les effets de température de l'absorbeur sur le flux de chaleur absorbé par celui-ci et le coefficient d'échange thermique par convection. En deuxième partie, les effets du nombre d'onde de l'absorbeur pris comme plaque ondulée de forme sinusoïdale sur le flux de chaleur absorbé et le coefficient d'échange thermique par convection par celle-ci en fonction de deux valeurs de températures de l'absorbeur. Les résultats obtenus et représentés ci-dessous sont obtenus par simulation par un logiciel Fluent de version 6.2.

### 1. Effet de la température de l'absorbeur

#### 1.1. Effet de la température de l'absorbeur sur le flux de chaleur

Le flux de chaleur est proportionnel avec la température de l'absorbeur, en effet, plus la température de l'absorbeur augmente plus le flux thermique est de valeur importante.

Cette proportionnalité augmente avec la température .

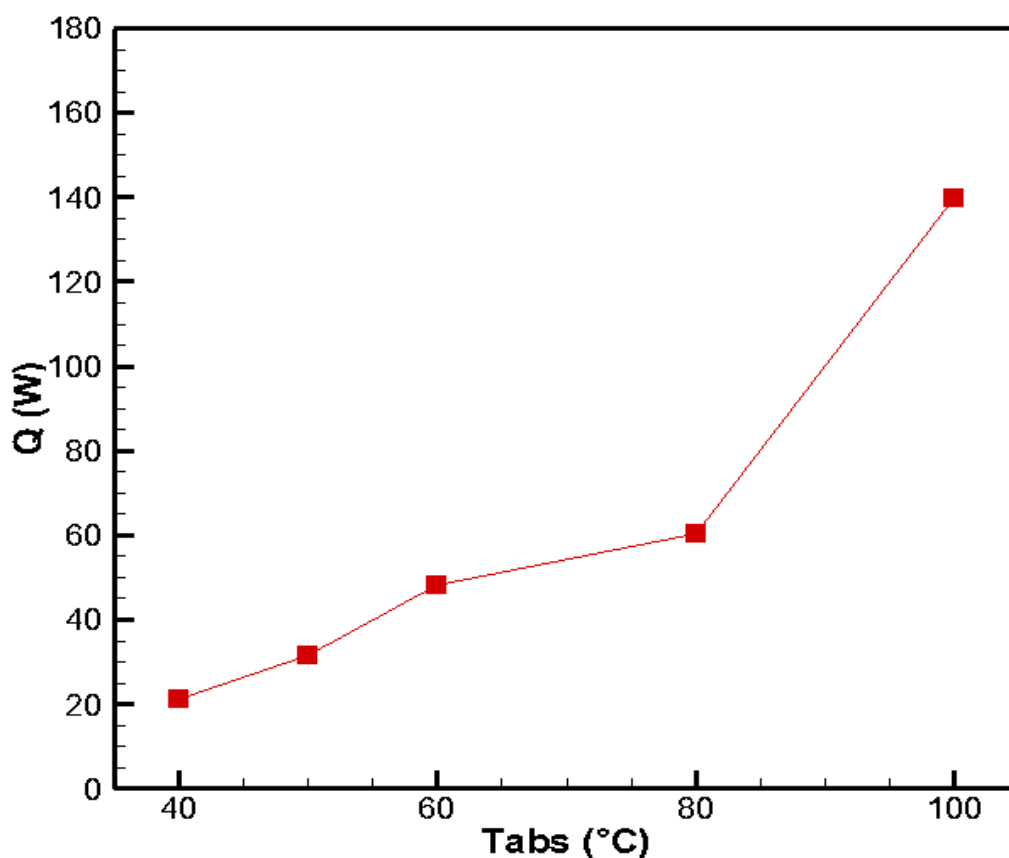


Figure III.1 : Effet de la température de l'absorbeur sur le flux de chaleur.

### 1.2. Effet de la température de l'absorbeur sur le coefficient d'échange thermique par convection

Le coefficient d'échange thermique par convection est proportionnel avec la température de l'absorbeur. En effet, plus la température de l'absorbeur augmente plus le coefficient d'échange thermique par convection est élevé.

Cette proportionnalité augmente avec la température de l'absorbeur.

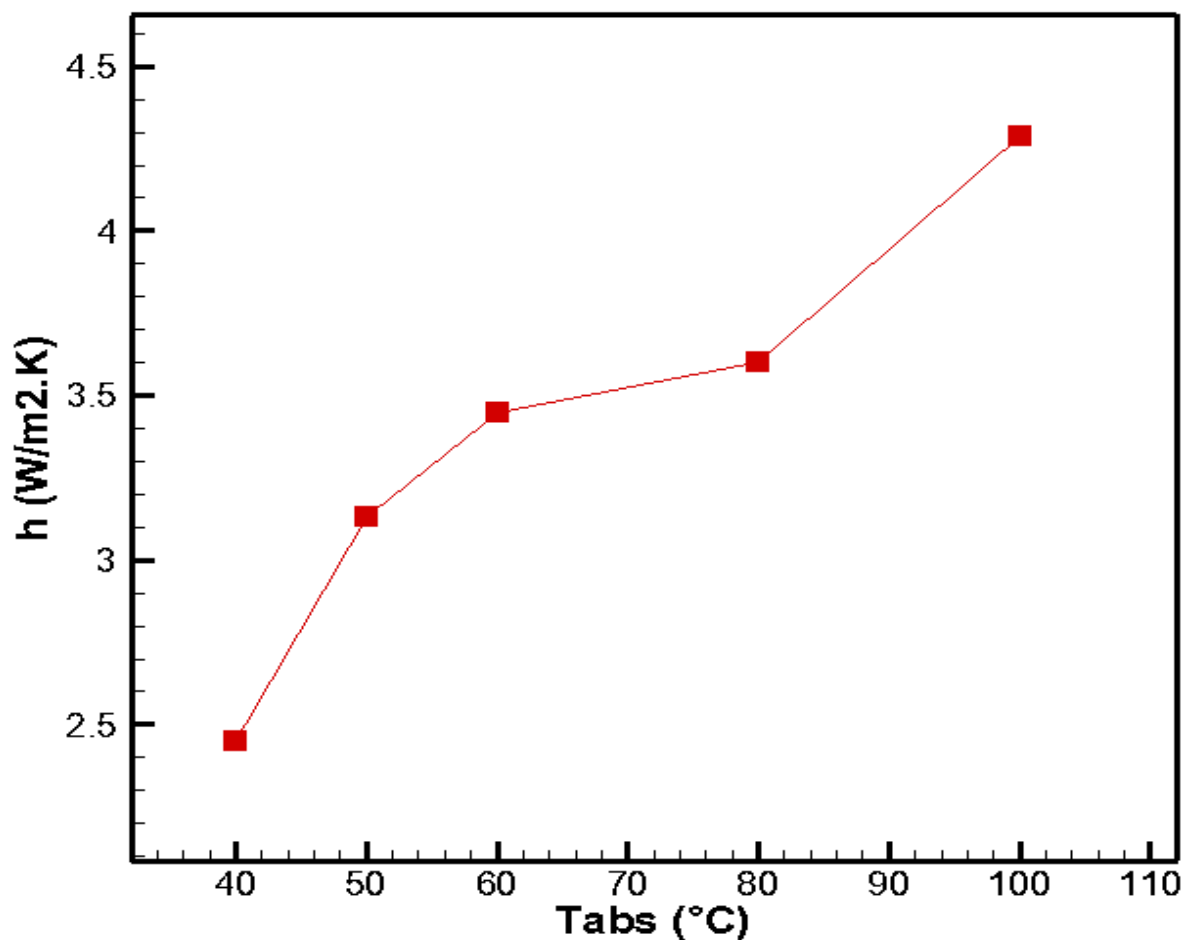


Figure III. 2 : Effet de la température de l'absorbeur sur le coefficient d'échange thermique convectif.

## 2. Effet du nombre d'ondes

L'absorbeur pris comme plaque ondulée sous forme sinusoïdale avec un certain nombre d'ondes, l'effet de celui-ci est testé par un logiciel de simulation numérique de type Fluent.

A cette fin, on a choisi deux températures au hasard, 80°C et 120°C.

### 2.1. Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur

#### 2.1.1. Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour $T=80^{\circ}\text{C}$

Le flux thermique varie avec la température de l'absorbeur en fonction du nombre d'onde de celui-ci. Le flux de chaleur augmente pour le nombre réduit (jusqu'à trois) puis il chute.

Donc, le nombre d'onde n'ayant pas toujours l'effet positif et son utilisation est limitée.

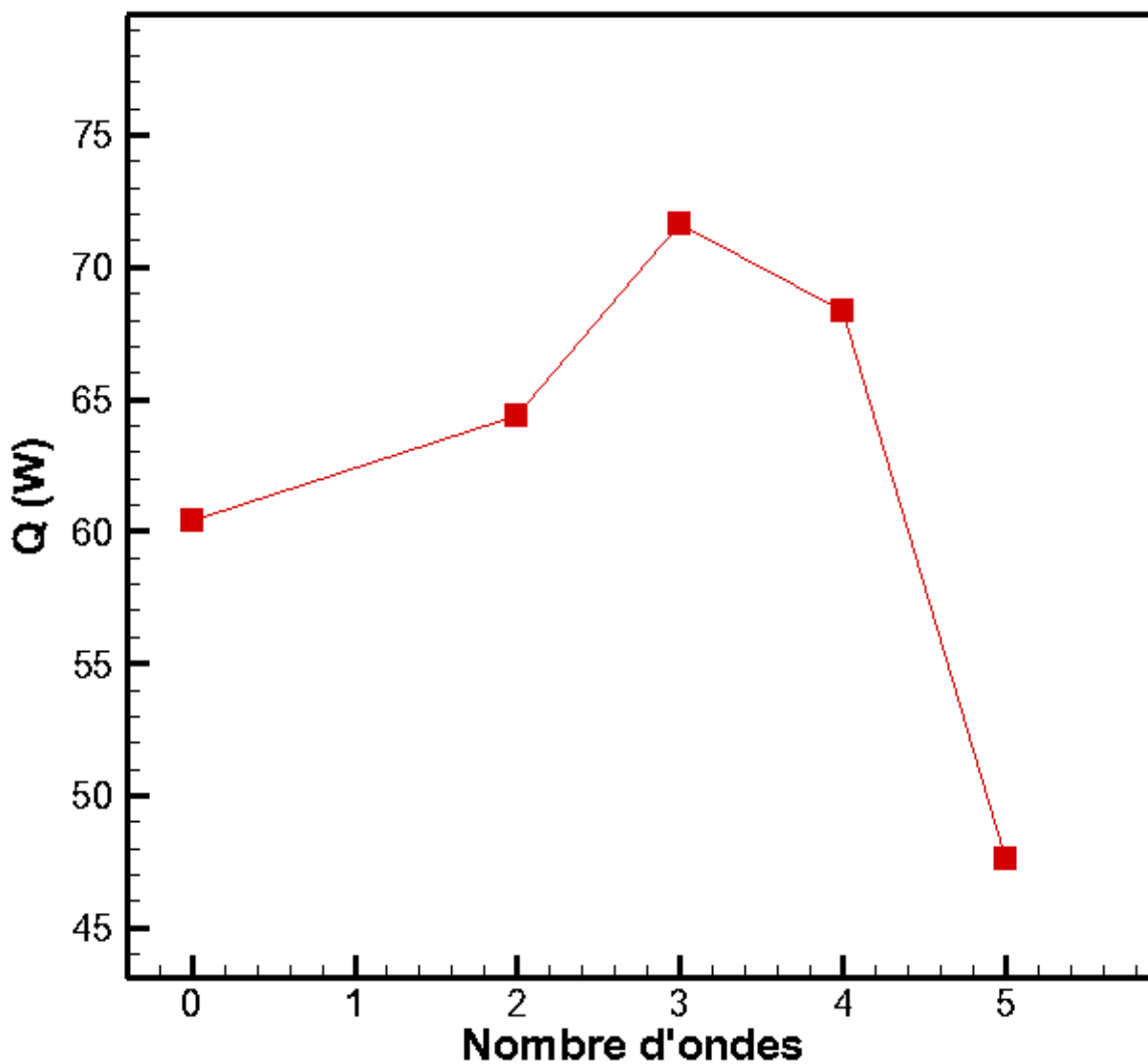


Figure III.3 : Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour  $T=80^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1.2. Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour $T = 120^{\circ}\text{C}$

Le flux thermique varie avec la température de l'absorbeur en fonction du nombre d'onde de celui-ci. Le flux de chaleur augmente pour le nombre réduit (jusqu'à trois) puis il chute.

Donc, le nombre d'onde n'ayant pas toujours l'effet positif et son utilisation est limitée.

Le flux pour cette température est plus important qu'avec  $80^{\circ}\text{C}$ .

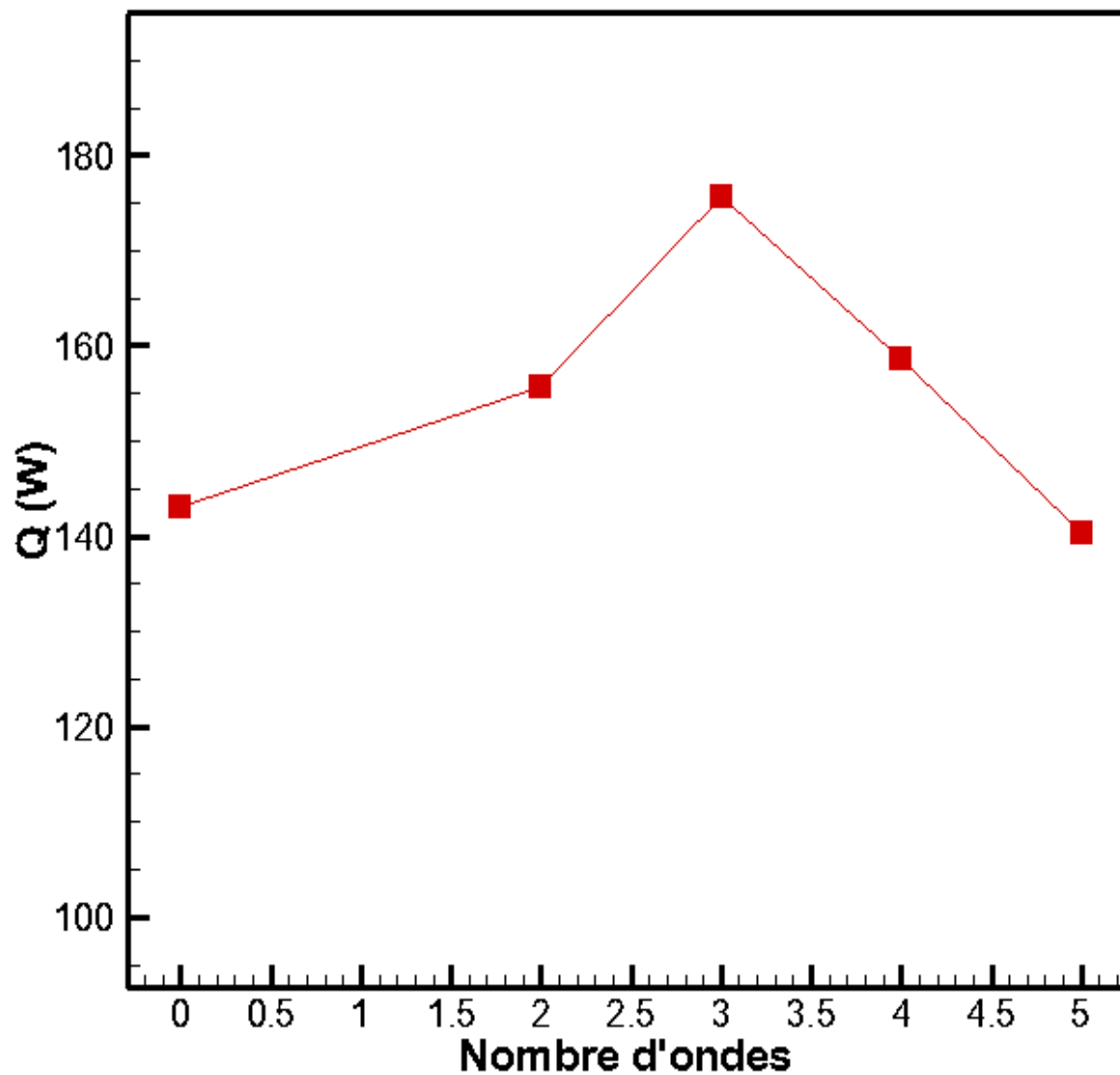


Figure III.4 : Effet du nombre d'ondes sur le flux de chaleur pour  $T = 120^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2. Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique

### 2.2.1. Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique pour $T= 80^{\circ}\text{C}$

Le coefficient d'échange thermique par convection varie avec la température de l'absorbeur en fonction du nombre d'onde de celui-ci. Le coefficient d'échange thermique par convection augmente pour le nombre réduit (jusqu'à trois) puis il chute.

Donc, le nombre d'onde n'ayant pas toujours l'effet positif et son utilisation est limité.

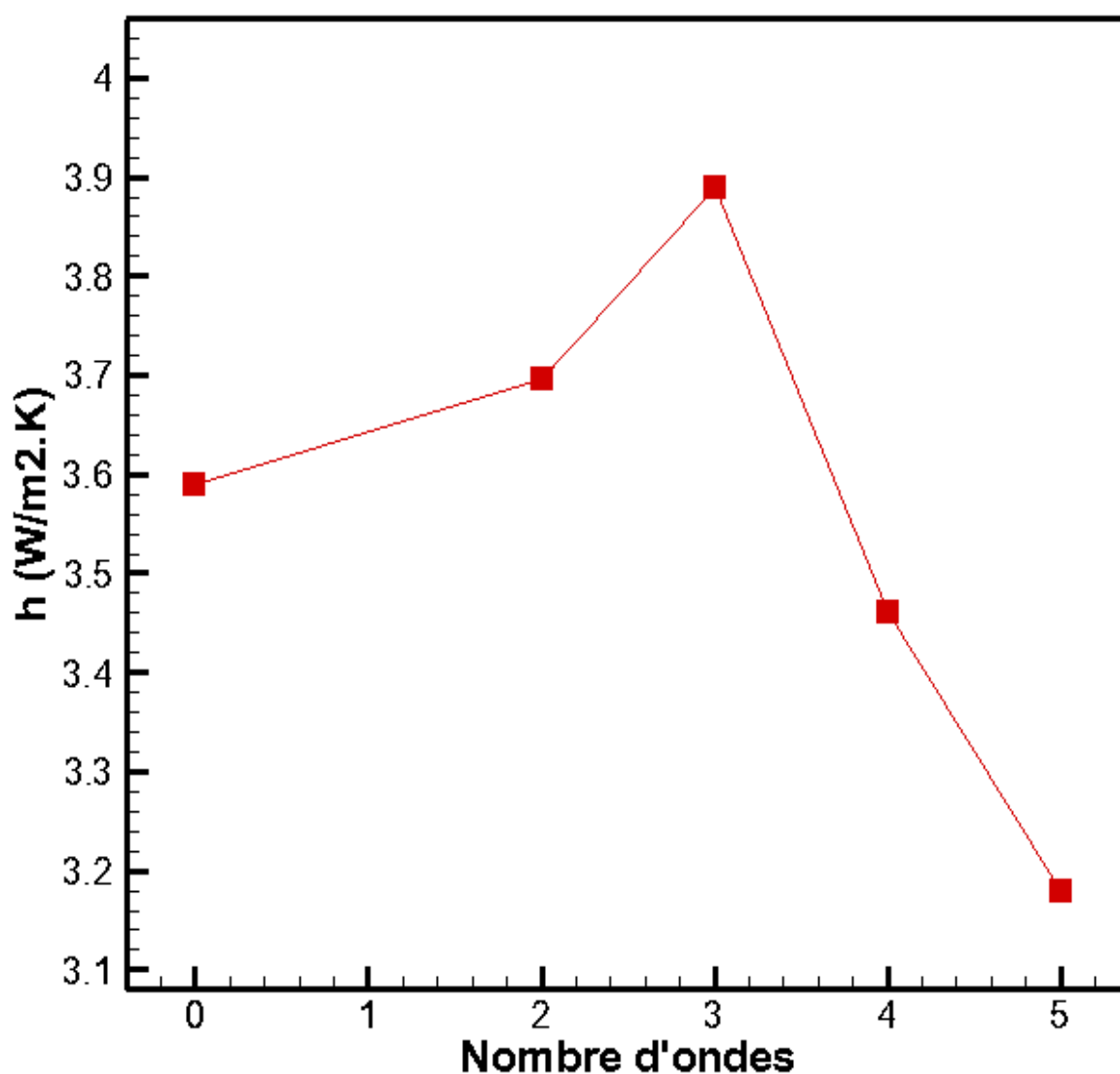


Figure III.5 : Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique convectif pour  $T= 80^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.1. Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique pour $T= 120^{\circ}\text{C}$

Le coefficient d'échange thermique par convection varie avec la température de l'absorbeur en fonction du nombre d'onde de celui-ci. Le coefficient d'échange thermique par convection augmente pour le nombre réduit (jusqu'à trois) puis il chute.

Donc, le nombre d'onde n'ayant pas toujours l'effet positif et son utilisation est limité.

Le flux pour cette température est plus important qu'avec  $80^{\circ}\text{C}$ .

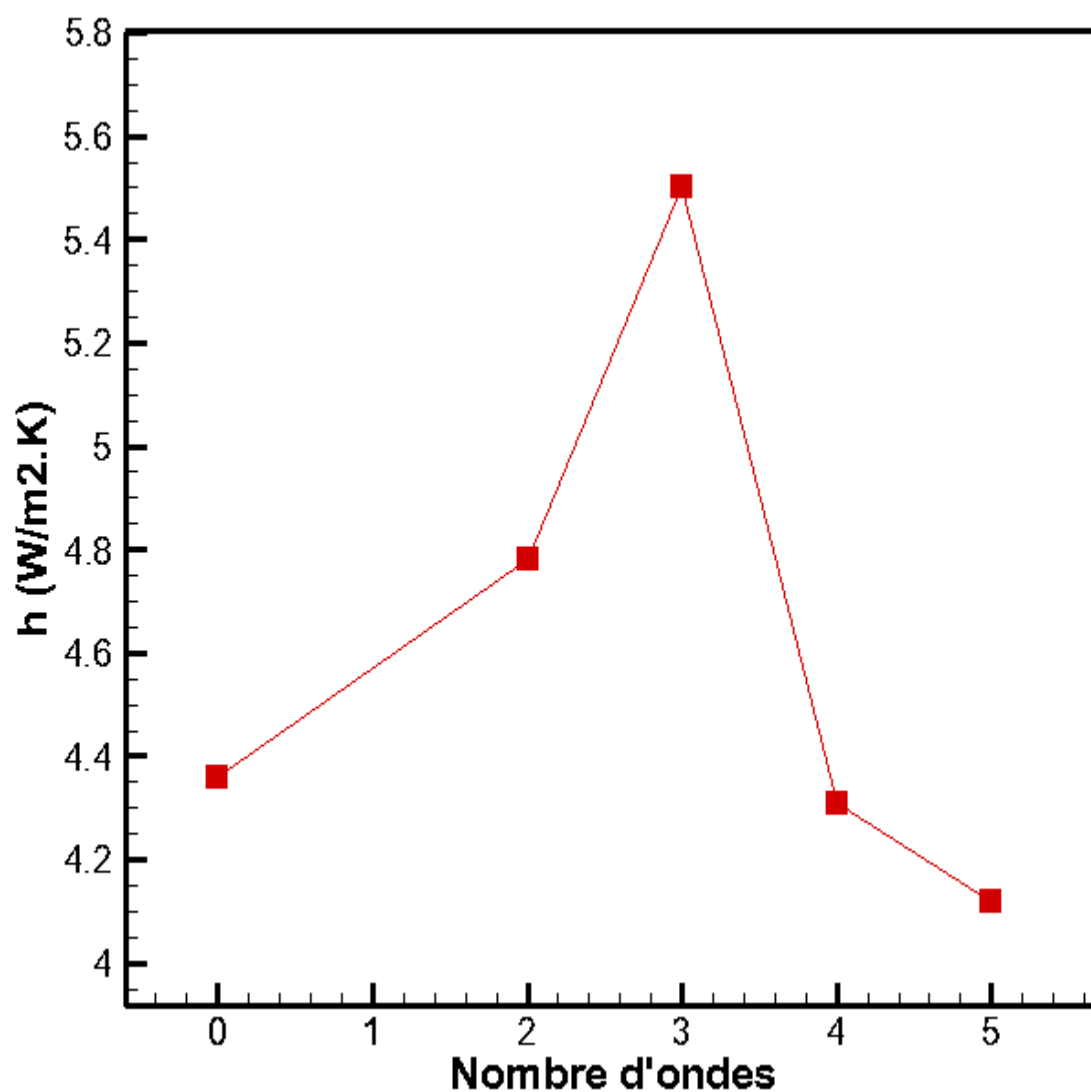


Figure III.6 : Effet du nombre d'ondes sur le coefficient d'échange thermique convectif pour  $T= 120^{\circ}\text{C}$ .

# **Conclusion**

### Conclusion

La technique de séchage solaire et séchoirs solaires sont revus au cours de cette étude.

En effet, sous l'effet de la chaleur, le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide par évaporation. Plusieurs techniques sont exposées sur le phénomène de séchage solaire et les séchoirs solaires, ainsi que le principe de base de la simulation numérique utilisant les deux logiciels Gambit et Fluent.

Après avoir exposé les différentes étapes de la simulation numérique utilisant les deux logiciels Gambit et Fluent, les resultants obtenus ont été étudiés et représentés par un troisième logiciel Tecplot.

Les effets de la température de l'absorbeur et le nombre d'ondes d'un absorbeur, pris comme plaque ondulée, sur le flux thermique et sur le coefficient d'échange thermique par convection sont également étudiés et représentés.

On a retenu que l'effet de la température de l'absorbeur sur le flux thermique incident, est toujours positif. Et l'effet du nombre d'ondes pour deux valeurs différentes de température est aussi positif si le nombre d'onde est égal ou inférieur à trois.

# Références

---

## Références

- [1] S. BOUGHALI, "Etude et Optimisation du Séchage Solaire des Produits Agroalimentaires dans les Zones Arides et Désertiques," Université de Batna 2, 2010.
- [2] N. CHALAL, "étude d'un Séchoir Solaire Fonctionnant en Mode Direct et Indirect," Université MENTOURI- Constantine, 2007.
- [3] S. REDDAM, M.-E. KHODIR, and A. SAF, "Technologies de Séchage Etude de Cas: Séchage de Deux Matrices Végétales Par étuve," 2018.
- [4] M. MOGHARBI and D. HALASSA, "Conception et Réalisation d'un Capteur Solaire Plan à Air," Université de Ouargla, 2006.
- [5] A. KHAZZAR and A. OUNIS, "Contribution à L'étude Expérimentale de Séchage du Poivron," Université Mohamed BOUDIAF- M'sila, 2020.
- [6] A. BENSEDDIK, "Modélisation et Simulation de Séchage de la Figue Par des Séchoirs Solaires Indirects Fonctionnant en Convection Forcée," Université Abou- Baker BELKAID-Tlemcen, 2011.
- [7] O.-V. EKECHUKWU and B. Norton, "Review of Solar Energy Systems II : An Overview of Solar Drying Technology", Energy Conversion and Management, vol. 40, pp. 615-655, 1999.
- [8] M. DAGUENET, "Les Séchoirs Solaires: Théorie et Pratique," UNESCO, Paris, 1985.
- [9] A. CHARREAU and R. CAVAILLE, "Techniques de l'ingénieur - génie des procédés Séchage," pp. 2480-2 ; 2480-22, 1991.
- [10] D. MENNOUCHE, "Valorisation des Produits Agro-alimentaires et des Plantes Médicinales Par les Procèdes de Séchage Solaire," Université KASDI MERBAH Ouargla, 2006.
- [11] A. CHARREAU and R. CAVAILLE, "Séchage théorique et pratique, technique de l'ingénieur, génie des procédés," pp. 2480-2480, 1999.
- [12] Y. DJAOUAD and S. Abed ALKANI, "l'écoulement d'un Fluide," Diplôme en Exploitation et Contrôle, Institutes de Formation pétrolière, 2008.
- [13] A. MADHLOPE, S.-A. Jones, and J.-D. KALENGA Saka, "A Solar Air Heater With Composite Absorber Systems For Food Dehydration," Renewable Energy, vol. 27, pp. 27 - 37, 2001.
- [14] S. LAHSASNI, M. KOUHILA, M. MAHROUZ, A. IDLIMAM, AND A. JAMALI, "Thin Layer Convective Solar Drying and Mathematical Modeling of Prickly Pear Peel," Energy Conversion and Management, vol. 29, pp. 211 - 244, 2004.
- [15] D.-R. PANGAVHANE and R.-L. SAWHNEY, "Review of Research and Development Work on Solar Dryers For Grape Drying," Energy Conversion and Management, vol. 43, pp. 45 - 61, 2002.
- [16] P. DUDEZ, "Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés," Edition du Gret, France, 1999.
- [17] M. S. Noun, "Etude des Paramètres Impactant Sur le Rendement d'un Capteur Solaire," Université Annaba, 2018.

- [18] M. D. NDIAYE, "Optimisation d'un Capteur solaire Double Passe à Air et Estimation des échanges de Chaleur Paroi-Fluide," thèse, France, 2019.
- [19] M. TOUATI TLIBA, "Etude Expérimentale du Séchage Solaire des Plantes Feuillues.," Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR d'El-Oued, 2019.
- [20] F. TAOURI, "Etude du comportement dynamique et Thermique de deux écoulements du fluide dans un échangeur de chaleur (Comparaison entre le cas simple et sas avec ailettes)," in Faculté de technologie Département de génie mécanique: Université Abou BAKR BELKAID-Tlemcen, pp. 6, 2013.

## Résumé

Comme le recours à l'énergie solaire comme énergie renouvelable ne cesse d'augmenter, on a visé l'étude d'un séchoir solaire à effet de serre. A cet effet, une étude numérique par Fluent est menée. Les effets de la température et le nombre d'ondes d'un absorbeur sur le flux thermique et sur le coefficient d'échange thermique par convection sont également étudiés et représentés. L'effet de la température de l'absorbeur sur le flux thermique incident est toujours positif alors que l'effet de la température de l'absorbeur pour deux valeurs différentes n'est positif si le nombre d'onde est égal ou inférieur à trois.

**Mots clés :** *Séchoir, solaire, Fluent, température, nombre d'onde.*

## Abstract

As the use of solar energy as a renewable energy continues to increase, the study of a greenhouse solar dryer was targeted. To this end, a digital study by Fluent is carried out. The effects of temperature and the number of waves of an absorber on the heat flow and on the coefficient of heat exchange by convection are also studied and shown. The effect of the temperature of the absorber on the incident heat flux is always positive while the effect of the temperature of the absorber for two different values is not positive if the number of waves is equal to or less than three.

**Keywords:** *Dryer, solar, Fluent, temperature, wavenumber.*

## ملخص

مع استمرار زيادة استخدام الطاقة الشمسية كطاقة متجددة ، تم استهداف دراسة المجفف الشمسي المسببة للاحتباس الحراري .تحقيقا لهذه الغاية ، تم إجراء دراسة رقمية بواسطة Fluent كما تمت دراسة وعرض تأثيرات درجة الحرارة وعدد موجات جهاز الامتصاص على تدفق الحرارة وعلى معامل التبادل الحراري بالحمل الحراري حيث لاحظنا أنه يكون تأثير درجة حرارة جهاز الامتصاص على تدفق الحرارة الساقط دوماً إيجابياً، بينما يكون تأثير درجة حرارة جهاز الامتصاص لقيمتين مختلفتين غير إيجابي إلا إذا كان عدد الموجات يساوي أو أقل من ثلاثة .

**الكلمات المفتاحية:** *مجفف ، شمسي ، بطاقة ، درجة حرارة ، رقم موجي.*