

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Mémoire présenté pour l'obtention d'un diplôme de MASTER en Genie Mécanique
Option : ENERGETIQUE

Thème

**ETUDE ET REALISATION D'UN SECHOIR
POUR MARGINE (Effet de serre)**

Présenté par : M. Lounis DJADANE
M. Mahdi CHERIEF
M. Tayeb AIT MADI

Proposé par: M. Said MAKHLOUF

Promotion 2017 / 2018

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout premièrement a ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donne pour terminer ce travail.

Nous remercions notre promoteur M. SAID MAKHOUF

Pour sa collaboration et pour nous avoir guidés et orientés tout au long de ce travail.

Nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont apporté une contribution.

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

MERCI.

DEDICACES

A qui je dois tant, A ma mère.

A mes deux chères frères Tarik et Mestapha

***A ma chère sœur Samira et a ses deux adorables
petites filles Thiziri et Thileli***

A mon grand père Chabnimohamed Amrouche

***A la mémoire de mon père Rabah lahirahmou et
ma grand mère BECHIR GABRIEL LUCIE DAHBIA***

***A mes chères amis surtout LYES kabouche et SAMIR
belaid***

LOUNIS

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mon père.

A ma chère mère.

A mes frères Lhadi, Tarik et boudjemaa

A ma grande famille.

A tous mes amis.

A tous mes amis du parcours scolaire et universitaire.

MAHDI

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père a qui je doit tant et qui m'a tout donné sans rien en retour.

A ma chère mère.

A mon frère et a toute sa famille.

A mes sœurs.

A mes neveux et nièces.

A toute ma famille.

A mes amies surtout MOMOUH, LHADI, SALIM, RYWEN, HAMZA, NOUARA ET KAWTHAR.

A tous mes amis d'enfance, du parcours scolaire et universitaire.

A la mémoire de ma grand mère.

TAYEB

SOMMAIRE

Chapitre 1 Généralités sur le rayonnement solaire

Introduction générale.....	02
Le contexte.....	02
- 1.2- Aperçu de la ressource	03
2- Aspects géométriques.....	03
- 2.1- Mouvements de la Terre.....	04
- 2.2- Mouvement apparent du Soleil	04
- 2.3- Heures et temps	06
- 2.4 Durée et taux d'ensoleillement	08
3 Aspects énergétiques	09
- 3.1 L'atmosphère terrestre.....	09
- 3.2 Rayonnement solaire au sol	10
- 3.3 Rayonnement solaire sur un plan quelconque.....	15
4-Le climat	16
- 4.1-Le climat Algérien.....	16
- 4.2-CLIMAT TIZI OUZOU.....	17
- 4.3- DIAGRAMME CLIMATIQUE TIZI OUZOU.....	18
- 4.4-COURBE DE TEMPÉRATURE TIZI OUZOU.....	19
5-calcul de rayonnement solaire.....	19
6-Séchage solaire sous serre.....	20
- 6.1- Fonctionnement et procédés du séchage solaire.....	20
- 6.2- Types de serres.....	21

Chapitre 2 – La margine

1-Introduction	24
Définitions.....	24

3- caractéristiques physicochimique	25
4- composition des margines.....	25
- 4.1- composition des résidus secs.....	26
-4.2- fraction minérale.....	26
-4.3- fraction organique	26
5. les principaux composés phénolique des margines.....	27
6- traitement et valorisation des margines	28
-6.1- pouvoir polluant des margines.....	28
7- problématique environnemental des margines.....	30
-7.1- pollution des eaux	30
-7.2- pollution des sols	31
-7.3- airs et paysages	31
8-Les dangers des rejets	32
-8.1-les dangers évidents	32
-8.2-Les dangers a long terme.....	33
9-traitement des margines	33
- 9.1-Traitement biologique	34
-9.2-Evaporation	36
-9.3-Addition de microorganismes de dégradation.....	38
-9.4-Eliminations des margines par lagunages.....	39
-9.5-Traitement anaérobie et bio-méthanisation	39
-9.6-Procédés physiques.....	40
-9.7-L'adsorption	40
-9.8-procédés chimiques.....	41
10- Valorisation agronomique des margines.....	41
-10.1-Pouvoir fertilisant des margines.....	41
-10.2- Le compostage	42
 CHAPITRE 3 : Le séchage solaire	
1-Introduction	45
2- Définition	45
3-But de séchage	45
4- Modélisation du système.....	46
-4.1-Bilan thermique et massique	47
-4.1.a-Bilan thermique de la couverture	48
-4.2.b-Bilan thermique sur l'air intérieur	48
-4.2.c-Bilan thermique sur le produit a séché	48
-4.2.d-Bilan massique (débit d'eau évaporée).....	48
5- Caractéristique de l'air de séchage	49
-5.1-Humidité absolue	49
-5.2-Humidité relative	49

-5.3-Degré de saturation	49
-5.4-Température caractéristique de l'air humide	50
6-Caractéristique du solide humide	51
-6.1-Description du solide humide.....	51
-6.2- Humidité absolu	51
-6.3-Humidité relative	51
-6.4-Hygroscopicité	52
-6.5- caractéristiques du solide poreux.....	52
7-les modes de transfert.....	53
-7.1-Transfert de chaleur	53
-7.2-Transfert de masse	55
8-Choix de procédure de séchage	55
9- Processus de séchage	55
10- Vitesse de séchage	56
11- Cinétique de séchage	56
12-Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage.....	58
13- Types de séchoirs.....	58
-13.1- Séchoirs directs	59
-13.2- Séchoirs indirects	60
-13.3- Séchoirs mixtes	61
-13.4- Séchoirs hybrides	61
CHAPITRE 4 : Matériels et Méthodes	
1-Serre.....	64
2- La margine	65
3- Le récipient (serre).....	65
4-Extracteur d'air	66
5- Capteur SHT75.....	66
6- Carte Arduino	67
7- Étuve	67
8- Récipient (étuve).....	69
9- la balance	69

CHAPITRE 5 ; Résultats et Discussions

5.1 Intensité du rayonnement solaire.....	71
---	----

- 1ère Expérience

-Séchage solaire sous serre (Oued_Aissi :TIZI-OUZOU : juillet 2018).....	71
--	----

2^{ème} Expérience

– Séchage solaire sous serre de la margine (UMMTO Bastos ; octobre 2018)72

-1.1 Variation de la température des différents éléments du séchoir(serre)..... 72

- Évolutions des différentes températures de la serre.....74

- Variation de l'humidité relative des différents éléments du séchoir serre76

1.3 -Bilan thermique77

1.3. a -Bilan thermique sur la couverture :77

1.3. b -Bilan thermique sur l'air intérieur78

1.3. c-Bilan thermique sur le produit à sécher.....78

1.3. d- Bilan massique- Débit d'eau évaporée.....79

Résultats de l'évaporation du séchage solaire sous serre de la margine.

(Bastos ; octobre 2018).....80

- 3^{ème} Expérience : Séchage dans l'étuve.....80

La masse évaporée.....81

Vitesse de séchage.....81

Conclusion générales82

Notations

<u>Symboles</u>	Désignations	Unités
Ha	Humidité absolue de l'air	kg eau / kg as
mv	Masse de vapeur d'eau	kg
mas	Masse de l'air sec	kg
Hr	Humidité relative de l'air	%
Pv	Pression partielle de la vapeur d'eau	Pa
Ps	Pression de saturation	Pa
Has	Humidité absolue de saturation	Kg eau/kg As
Ψ	Degré de saturation	°c
T	Température	°c
Th	Température humide	°c
Tr	Température de rosée	°c
Tsa	Température de saturation adiabatique	°c
ϵ	Porosité volumique	
X	Teneur en eau à base sèche	kg eau/ kgms
X_r	Teneur en eau à base humide	Kg eau/ kgmh
M_h	Masse humide du produit	Kg
Ms	Masse de produit sec	Kg
A_w	Activité de l'eau	
R	Vitesse de séchage	Kg eau/kgms.s
λ_c	Conductivité thermique du matériau	W/ (m.K)
S	Surface de séchage	m^2
Hc	Coefficient de convection thermique	W/(m^2 .K)
T1	Température la plus chaude	°c
T2	Température la plus froide	°c
Qr	Quantité d'énergie rayonnée	W
σ	Constant de Stephan-Boltzmann	J /(s $m^2 k^4$)
ρ_f	Masse volumique d'un fluide	kg/ m^3

Df	Coefficient de diffusion d'un fluide	m^2/s
J	Flux massique surfacique d'un fluide	$kg / (m^2.s)$
Cm	Fraction massique	m^2
K f	Perméabilité intrinsèque d'un fluide	
μ_f	Viscosité dynamique d'un fluide	Pa.s
$a m \bullet$	Débit massique de l'air	kg/s
Cp	Chaleur spécifique	
hcp	Coefficient d'échange thermique par convection	J/kg.k
Spr	Surface d'échange par convection air-produit	m^2
hci	Coefficient d'échange thermique par convection entre l'air de l'armoire de séchage	$W/m^2.k$
ΔS_p	Elément de surface de l'armoire de séchage	m^2
Ta	Température de l'air	$^{\circ}C$
Tpr	Température du produit	$^{\circ}C$
Tpi	Température de la paroi interne	$^{\circ}C$
Δz	Hauteur d'une tranche	m
Mpr	Masse du produit par claie	kg
Cppr	Capacité calorifique massique du produit	J/kg.k
Pev	Puissance d'évaporation	W
mpi	Masse d'une section i de la paroi interne de l'armoire de séchage	kg
Cppi	Capacité calorifique massique de la paroi interne	J/kg .k
λ_d	Coefficient d'échange thermique par conduction entre les parois de l'armoire de séchage	$W / m^2.k$
Tpe	Température ambiante	$^{\circ}C$
hr	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la face externe de la paroi de l'armoire de séchage et la voûte céleste	$W / m^2.k$
Tc	Température équivalente de la voûte céleste	$^{\circ}C$

Nu	Nombre de Nusselt	
λ_a	Conductivité thermique de l'air	W/m.k
Re	Nombre de Reynolds	
Pr	Nombre de Prandtl	
D _{pr}	Diamètre moyen du produit	m
ρ_a	Masse volumique de l'air	Kg/m ³
V _a	Vitesse de l'air	m/s
μ_a	Viscosité dynamique de l'air	Pascal.s
λ_{pi}	Conductivité thermique de la paroi interne	w/m.k
e _{pi}	Epaisseur de la paroi interne du séchoir	m
λ_{pp}	Conductivité thermique de l'isolant entre les parois	w/m.k
E _{pp}	Epaisseur de l'isolant entre les parois	m
λ_{pe}	Conductivité thermique de la paroi externe	w/m.k
e _{pe}	Epaisseur de la paroi externe du séchoir	m
ϵ_p	L'émissivité de la paroi du séchoir	
L _v	Chaleur latente de vaporisation	J/kg

Liste des figures

Figure (1.1) : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.....	03
Figure (1.2) : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil.....	04
Figure (1.3) : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L	05
Figure (1.4) : Repérage de la position du Soleil.....	05
Figure (1.5) : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.....	07
Figure (1.6) : Equation du temps ET et déclinaison δ en fonction du jour de l'année.....	08
Figure (1.7) : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre.....	10
Figure (1.8) : Spectre du rayonnement atmosphérique.....	10
Figure (1.9) : zone climatique de l'Algérie.....	17
Figure (1.10) : Diagramme climatique TiziOuzou.....	18
Figure (1.11) : Courbe de températures TiziOuzou.....	18
Figure (1.12) : Fonctionnement général d'une serre.....	20
Figure (1.13) : Schéma d'un exemple de serre ouverte.....	21
Figure (1.14) : Schéma d'une serre fermée.....	22
Figure (2.1) : Conséquences environnementales des rejets de margines dansle milieu naturel.....	29
Figure (3.1) : Schéma d'une serre de séchage.....	47
Figure (3.2) : Description du solide humide.....	51
Figure (3.3) : Volume de contrôle microscopique.....	53

Figure (3.4) : Volume de contrôle macroscopique.....	53
Figure (3.5) : Allure de séchage en fonction du temps.....	57
Figure (3.6) : Exemples des séchoirs solaires directs simples.....	60
Figure (3.7) : Séchoir solaire indirect.....	61
Figure (3.8) : Séchoir solaire mixte.....	61
Figure (4.1) serre utilisé.....	64
Figure (4.3) : margine.....	65
Figure (4.4) : L'extracteur d'air utilisé.....	66
Figure (4.5) : Capteur d'humidité).....	66
Figure (4.6) : carte arduino.....	67
Figure (4.7):Etuve bactériologique de mimmert.....	68
Figure (4.8) : Récipient.....	69
Figure (4.9) : Balance de laboratoire.....	69
Figure (5.1): Variation du rayonnement solaire théorique (14 octobre 2018).....	71
Figure (5.2): Variation du rayonnement solaire théorique (période du travail).....	71
Figure (5.3) : Évolution des températures (T_c , T_{ai} , T_p) de la couverture, de l'air intérieur et du produit (margine) pour la journée du 10 octobre 2018.....	73
Figure (5.4) : l'évolution de différentes températures de la serre au court du temps des séchage.....	74
Figure (5.5) : Évolution des Humidité relatives (H_c , H_{ai} , H_{sp}) de la couverture, de l'air intérieur, et de la surface du produit (margine) pour la journée du 10 octobre 2018.....	76
Figure (5.6) : l'évolution de différentes Humidités relatives de la serre au court du temps de séchage.....	77
Figure (5.7): Évolution de la masse de la margine durant le temps de séchage.....	79
Figure (5.8) : Évolution de la masse évaporé de la margine.....	80
Figure (5.9) : Évolution de la vitesse de séchage la margine.....	81

Liste des tableaux

Tableau (I.1): Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées.....	11
Tableau (1.2) : TABLEAU CLIMATIQUE TIZI OUZOU.....	19
Tableau (2.1): Les principaux composés phénoliques des margines.....	27
Tableau (2.2): Les apports en éléments fertilisants sur la base d'un épandage 100m ³ /ha/ an.....	42.
Tableau (4.1):matériaux utilisés pour la construction de la serre.....	65
Tableau (4.2) fiche technique de l'extracteur	66
Tableau (4.3) fiche technique de l'étuve	67
Tableau (5.1) Les températures et le rayonnement moyen.....	72

Chapitre 1 Généralités sur le rayonnement solaire

1. Introduction générale

Le premier chapitre est consacré à la présentation du rayonnement solaire qui représente la source d'énergie principale pour le séchage thermique sous l'effet de serre ainsi On consacre le deuxième chapitre à l'étude de la machine qui représente l'élément à sécher dont ses dangers sont très néfastes pour notre environnement. Pour le troisième chapitre on l'a consacré à la méthodologie de séchage de la machine et les calculs énergétiques afin d'obtenir une évaporation optimale. Ensuite dans le quatrième chapitre on abordera la présentation des matériels qui constituent l'ensemble du système de séchage et le relevé des mesures ainsi que leurs particularités et les modes de fonctionnement de chaque élément. Enfin dans le dernier chapitre on l'a consacré à l'étude expérimentale, l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.

1. 1- Le contexte

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit pour la première fois les pays industrialisés à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité (nous y reviendrons), sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

On s'est vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est pas tout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir prévu un budget pour la maintenance des équipements.

Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre dans certains cas une alternative économiquement rentable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets polluants (fumées contenant du CO₂ et des NO_x par les centrales thermiques), pas de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires), possibilité de limitation de l'emploi des CFC (production de froid solaire par adsorption).

1.2- Aperçu de la ressource

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes. Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde $564 \cdot 10^6$ tonnes d'hydrogène en $560 \cdot 10^6$ tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de $36 \cdot 10^{22}$ kW. La Terre étant à une distance de 150,106 km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8 \cdot 10^{17}$ W. La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $E_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}$. En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par :

$$E = E_0 [1,00033 \cos(0,984 j)] \quad (1.1)$$

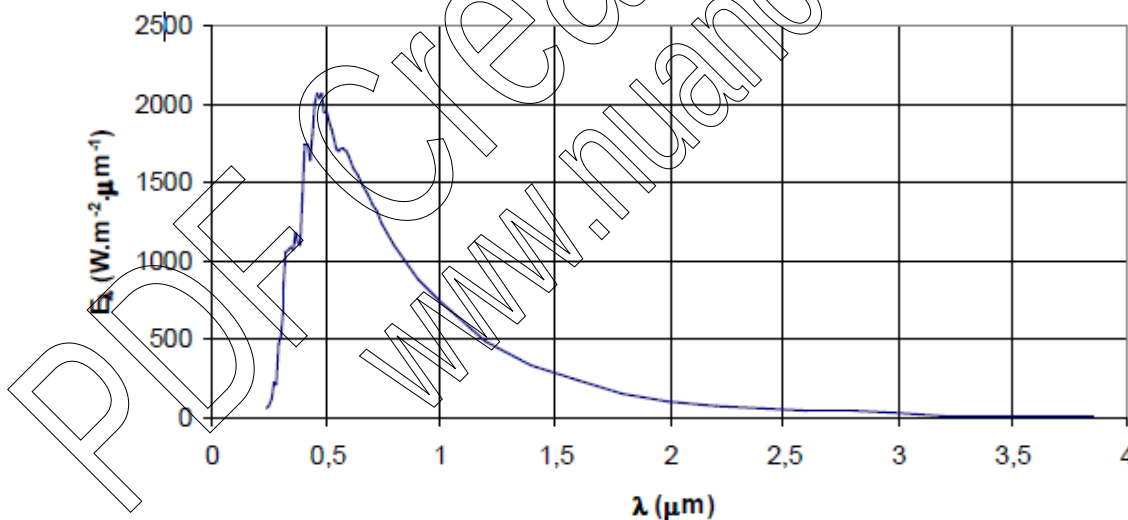


Figure (1.1) : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

2- Aspects géométriques [21]

Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la Terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.

2.1- Mouvements de la Terre [22]

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé *l'écliptique*.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675 \cdot 10^6$ km.

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut $23^\circ 27'$. Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure (1.2).

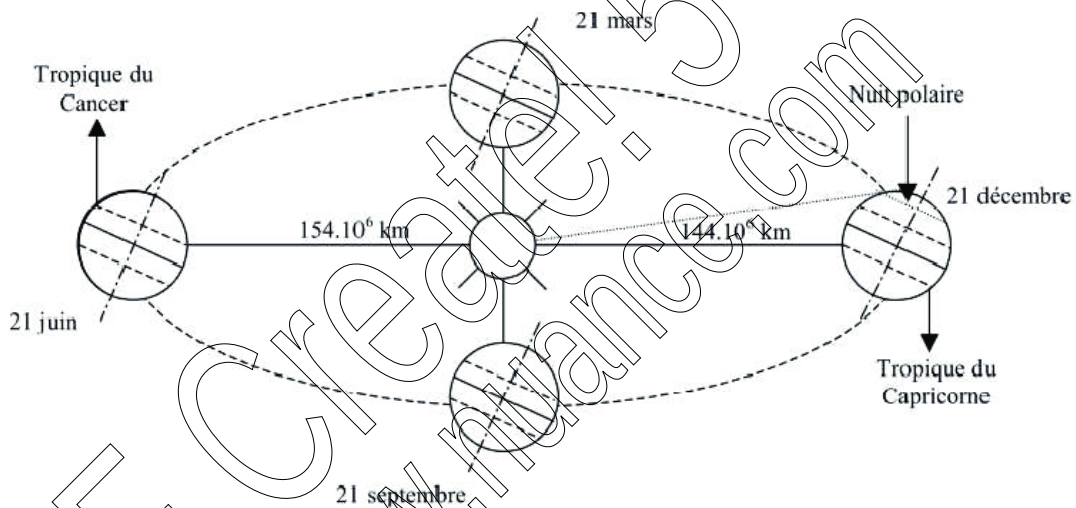


Figure (1.2) : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil

On appelle **déclinaison δ** l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation :

$$\delta = 23,45^\circ \sin [0,980^\circ (j + 284)] \quad (1.2)$$

Où (**j**) est le numéro du jour de l'année.

2.2- Mouvement apparent du Soleil [25]

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude L au nord de l'équateur est représenté sur la figure (1.3)

Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à $(L - d)$. La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.

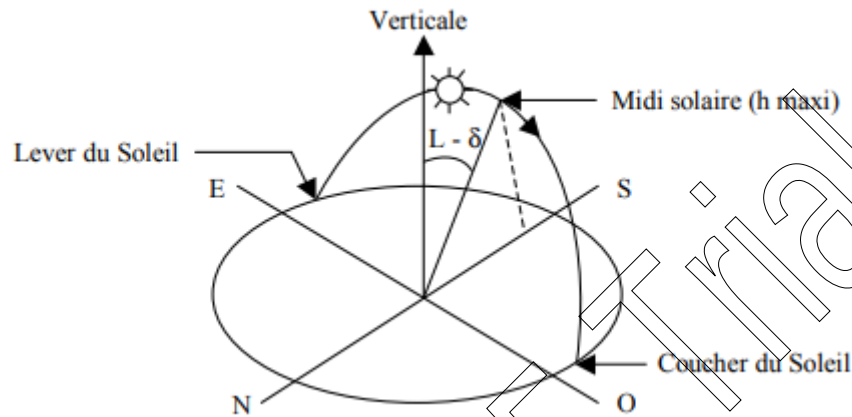


Figure (1.3) : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

- **L'azimut a** : c'est l'angle que fait la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal avec la direction Sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.
- La **hauteur h** du Soleil : c'est l'angle que fait la direction du Soleil avec sa projection sur un plan

Ces deux angles sont représentés sur la figure (1.4)

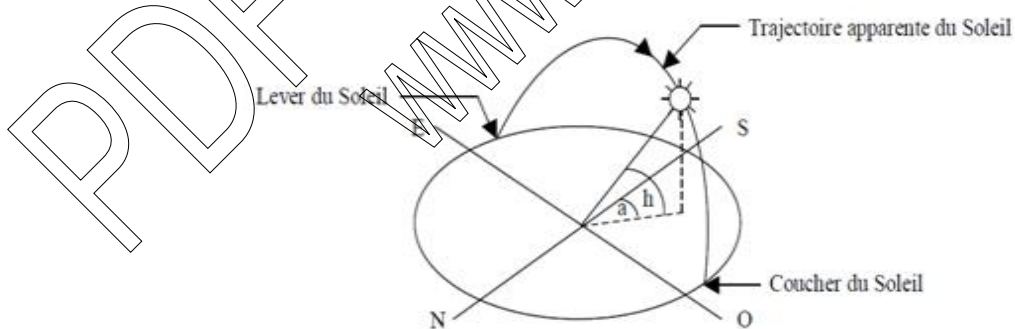


Figure (1.4) : Repérage de la position du Soleil.

Ces deux angles sont fonction de :

- La latitude L du lieu
- La date j (numéro du jour de l'année)
- L'heure solaire TS dans la journée.

La latitude **L** et la date **j** servent à déterminer la trajectoire du Soleil dans le ciel et l'heure **TS** donne sa position instantanée sur cette trajectoire.

On définit le jour comme le temps mis par la Terre pour effectuer un tour sur elle-même. Un jour a été divisé en 24h et on a défini *l'heure solaire TS* en fixant **TS = 12h** lorsque la hauteur du Soleil est maximale (le Soleil est à son « zénith »).

On définit également *l'angle horaire* ω par :

$$\omega = 15^\circ (TS - 12) \quad (1.3)$$

ω est compté positivement l'après-midi.

La hauteur **h** du Soleil peut alors se déduire de la relation :

$$\sin(h) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (1.4)$$

Et l'azimut **a** par la relation :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (1.5)$$

2.3- Heures et temps [23]

2.3. a- Durée du jour

Le module ω_1 de l'angle horaire au lever du Soleil s'obtient en écrivant $\sin(h) = 0$ dans la formule (1.4), ce qui conduit à :

$$\cos(\omega) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (1.6)$$

L'heure solaire au lever du Soleil a donc pour valeur :

$$(TS)_1 = 12 - \frac{\omega_1}{15} \quad (1.7)$$

L'angle horaire ω_c au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc $\omega_c = -\omega_1$ et la durée du jour vaut :

$$d = 2 \frac{\omega_1}{15} \quad (1.8)$$

2.3. b- Relation entre temps légal et temps solaire

Les relations se rapportant au mouvement du Soleil utilisent le temps solaire **TS** qui diffère généralement du temps légal **TL** (heure des montres) du lieu considéré. Cette différence est liée à :

- La différence (fixée par chaque pays) entre l'heure légale **TL** et l'heure civile **TCF** du fuseau horaire dans lequel il se trouve :

$$C = TL - TCF \quad (1.9)$$

L'heure civile **TCF** du fuseau horaire est égale au temps universel **TU** (temps solaire du méridien de Greenwich) augmenté de la valeur du décalage horaire que l'on trouvera sur la figure 1.5.

La variation de la vitesse de la Terre sur sa trajectoire autour du Soleil qui introduit un terme correctif appelé équation du temps et noté **ET** :

$$ET = [0.0002 - 0.4797 \cos(\omega'j) + 3.2265 \cos(2\omega'j) + 0.0903 \cos(3\omega'j) + 7.3509 \sin(\omega'j) + 903912 \sin(2\omega'j) + 0.3361 \sin(3\omega'j)] \quad (1.10)$$

Où : **j** Numéro du jour de l'année

$$\omega' = 0,984$$

ET Équation du temps (terme correctif) en mn ;

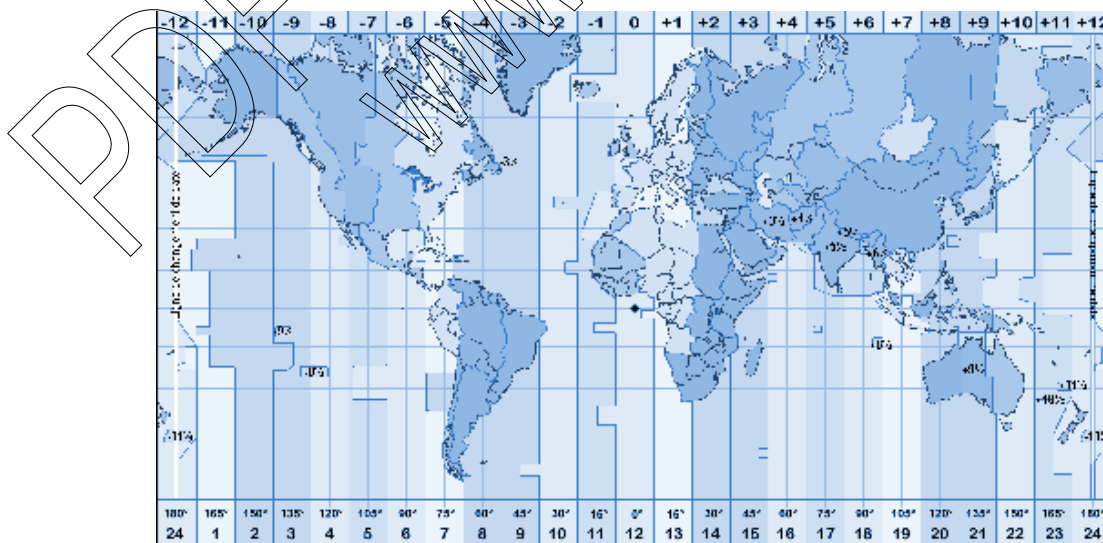


Figure (1.5) : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich

La différence de longitude ($l - l_{ref}$) entre le lieu considéré et le lieu servant de référence au temps légal (en général le centre du fuseau). Le temps solaire TS se calcule finalement par la formule

$$TS = TL - C + ET + \frac{(l_{ref} - l)}{15} \quad (1.11)$$

La correction maximale due à l'équation du temps est de l'ordre de 16 mn, on peut ne pas en tenir compte en première approximation. On trouvera les variations annuelles de la déclinaison et de l'équation du temps sur la figure 1.6.

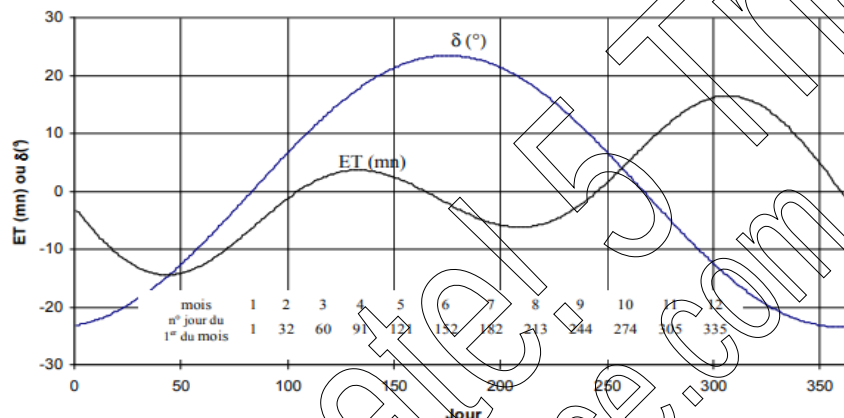


Figure (1.6) : Équation du temps ET et déclinaison δ en fonction du jour de l'année.

Le problème est souvent de déterminer la différence C entre TL et TCF en un lieu donné, on peut procéder de la manière suivante :

- Il est possible de connaître TL et TU (écouter une radio internationale...) d'où $(TL - TU)$.
- La différence $(TCF - TU)$ peut être lue sur la figure 1.5.
- On en déduit $C = (TL - TU) - (TCF - TU)$.

2.4 Durée et taux d'ensoleillement [24 ; 27]

2.4. a- Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages. On appelle **durée effective d'ensoleillement ou insolation SS** le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle **rayonnement direct** le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le Soleil.

2.4.b- Taux d'ensoleillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (1.12)$$

La durée maximale d'ensoleillement SS_0 pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (1.8).

3 Aspects énergétiques**3.1 L'atmosphère terrestre****3.1. a- Composition**

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, ce sont :

- La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.
- La stratosphère entre 15 et 80 km d'altitude.
- L'ionosphère entre 80 et 200 km d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de :

- CO_2 (0,03%)
- Vapeur d'eau : en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est l'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.
- Ozone O_3 située entre 10 et 30 km d'altitude
- . - Aérosols : grains de sable, poussières, fumées...

On trouvera sur la figure 1.7 la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent ce rayonnement selon la longueur d'onde.

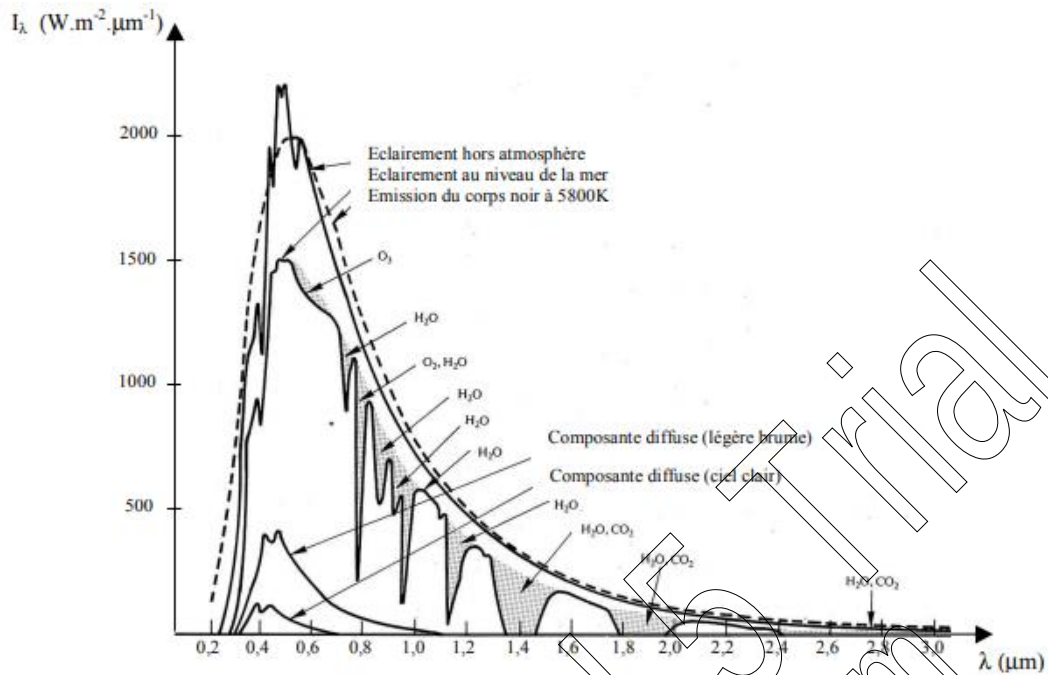


Figure (1.7) : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre.

3.1. à Rayonnement du ciel et de l'atmosphère [25]

Les gaz non transparents de l'atmosphère (CO_2 , O_3 , H_2O) émettent vers la Terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes :

- Vers $14,7 \mu\text{m}$ pour le CO_2 . - Entre 5 et $7 \mu\text{m}$ et entre 14 et $20 \mu\text{m}$ pour la vapeur d'eau.
- Vers $9,6 \mu\text{m}$ pour O_3 .

Ainsi que le montre la figure 1.8, il s'agit d'un rayonnement émis dans les grandes longueurs d'onde ($> 3 \mu\text{m}$) contrairement au rayonnement solaire émis dans des longueurs d'ondes inférieures à $3 \mu\text{m}$.

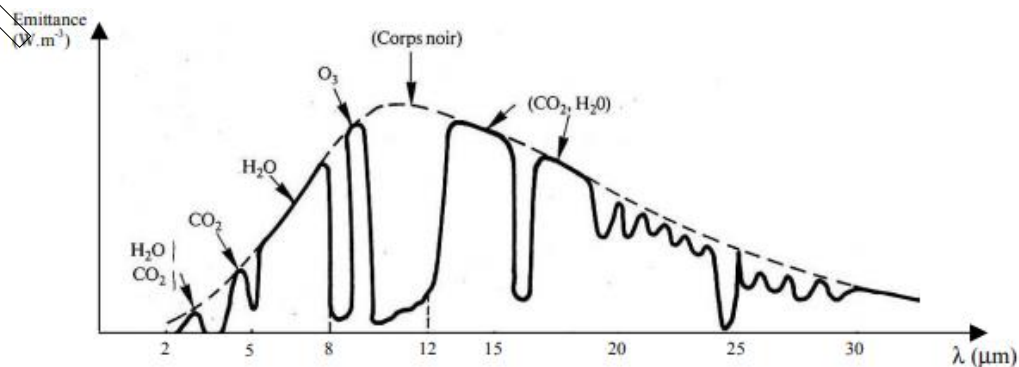


Figure (1.8) : Spectre du rayonnement atmosphérique.

La densité de flux Φ_{ciel} rayonnée par le ciel et l'atmosphère vers la Terre peut être calculé par :

$$\Phi_{ciel} = \sigma T_{ciel}^4 = \sigma \epsilon_a T_a^4 \quad (1.13)$$

Où T_{ciel} et ϵ_a sont donnés par l'une des corrélations suivantes :

$$T_{ciel} = T_a - 12 \quad (1.14)$$

$$\epsilon_a = 1 - 0.261 \exp [-7,77.10^{-4} (T_a - 273)^2] \quad (1.15)$$

$$\epsilon_a = 0.787 + 0.76 \ln \left(\frac{T_{ra}}{273} \right) \quad (1.16)$$

Où : T_{ra} Température de rosée de l'air en K

T_a Température de l'air en K

3.2 Rayonnement solaire au sol [25]

3.2. a- Notations

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit :

- **Le rayonnement direct** est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- **Le rayonnement diffus** est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- **Le rayonnement global** est la somme du rayonnement direct et diffus.

Les notations utilisées pour les composantes du rayonnement solaire sur une surface horizontale sont données dans le tableau 12.1.

Irradiation solaire Energie reçue pendant une certaine durée $W.m^{-2}.durée^{-1}$ ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$	Directe	S	G = S + D
	Diffuse	D	
	Globale	G	
Eclairement solaire Flux instantané $W.m^{-2}$	Direct	S*	G* = S* + D*
	Diffus	D*	
	Global	G*	

Tableau (1.1) : Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées.

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le Soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sous une incidence normale est désigné par I . Nous désignerons par :

- I l'énergie reçue (irradiation) en $W.m^{-2}.durée^{-1}$ Ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$
- I^* le flux reçu (éclairage) en $W.m^{-2}$.

$$S^* = I^* \sin(h) \quad (1.17)$$

3.2. b- Rayonnement direct :

Éclairage S^*

L'éclairage solaire direct S^* sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

α. Par mesure de G^* et D^* , on en déduit $S^* = G^* - D^*$.

β. A partir de la mesure des irradiances journalières globales G et diffuse D sur un plan horizontal, on en déduit $S = G - D$ et S^* par la fonction de répartition suivante :

$$S^* = \frac{\pi}{24} [a + \cos(\omega)] \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_1)}{\sin(\omega_1) - \frac{\pi\omega_1}{180} \cos(\omega_1)} S \quad (1.18)$$

Où :

$$a = 0,409 + 0,502 \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

$$b = 0,661 - 0,477 \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

γ. A partir de la mesure de l'irradiation journalière globale G , on évalue l'irradiation journalière diffuse D par la corrélation de Collares-Pereira et Rabl :

$D = 0,99 G$	$K_T \leq 0,17$
$D = (1,188 - 2,272 K_T + 9,473 K_T^2 - 21,865 K_T^3 + 14,648 K_T^4) G$	$0,17 < K_T \leq 0,75$
$D = (-0,54 K_T + 0,632) G$	$0,75 < K_T \leq 0,80$
$D = 0,2 G$	$K_T \geq 0,80$

(1.19)

Où :

$$K_T = \frac{G}{G_0} \quad (1.20)$$

G_0 Étant l'irradiation journalière sur un plan horizontal placé au-dessus de l'atmosphère calculable par :

$$G_0 = 3,795.10^4 \cos(L) \cos(\delta) \left[\sin(\omega_1) - \frac{\pi\omega_1}{180} \cos(\omega_1) \right] \quad (1.21)$$

Où ω_1 est en degré et en G_0 kJ. m^{-2}

On calcule ensuite $S = G - D$ et on est ramené au cas précédent.

δ. A partir de la connaissance de la moyenne mensuelle de l'irradiation globale journalière G , on calcule l'irradiation diffuse journalière moyenne D par la corrélation de Collares-Pereira et Rabl :

$$d = \{0.775 + 0.00606(\omega_1 - 90^\circ) - [0.505 + 0.00455(\omega_1 - 90^\circ)] \cos(115K_T - 103)\} G \quad (1.22)$$

Et on est ramené au cas β

A partir de la mesure du taux d'ensoleillement σ , on évalue G par :

$$G = G_0 [0.29 \cos(L) + 0.52 \sigma] \quad \text{zone tropicale} \quad (1.23)$$

$$G = G_0 [\sqrt{2\sigma + 1} - 0.72]$$

Et on est ramené au cas précédent.

ε. On ne dispose d'aucune mesure ; on peut évaluer le rayonnement direct sur un plan perpendiculaire au rayonnement solaire par la relation

$$I^* = 1370 \exp \left[-\frac{TL}{0.9 + 9.4 \sin(h)} \right] \quad (1.24)$$

Où TL est le facteur de trouble de Linke calculable par :

$$TL = 2.4 + 14.6 \beta + 0.4(1 + 2 \beta) \ln(P_V) \quad (1.25)$$

β est le coefficient de trouble atmosphérique que l'on peut prendre égal à :

$\beta = 0,05$ en zone rurale

$\beta = 01$ en zone urbaine

$\beta = 0,2$ en zone industrielle ou polluée

P_V est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en mmHg.

On en déduit $S^* = I^* \sin(h)$

Irradiation directe journalière S

L'irradiation directe journalière S sur un plan horizontal peut être déterminée de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

- α. Par mesure directe de G et D on en déduit $S = G - D$.
- β. A partir de G, on calcule D par la formule (1.19) et on est ramené au cas précédent.
- χ. A partir de la mesure du taux d'ensoleillement σ on évalue G par la formule (1.23) et on est ramené au cas précédent.
- δ. Par intégration sur la journée des valeurs de $S^* = I^* \sin(h)$, I^* étant calculé par la formule (1.24).

3.2. c- Rayonnement diffus [24]

Éclairement D*

L'éclairement solaire diffus D^* sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

- α. Par mesure directe.
- β. A partir de la mesure de l'irradiation journalière diffuse D sur un plan horizontal, on déduit :

$$D^* = \frac{\pi}{24} [a + b \cos(\omega)] \frac{\cos(\omega) \cos(\omega_1)}{\sin(\omega_1) - \frac{\pi \omega_1}{180} \cos(\omega_1)} D \quad (1.26)$$

- χ. A partir de la mesure de l'irradiation globale G sur un plan horizontal :

on évalue D par la formule (1.22) et on est ramené au cas précédent.

- δ. A partir de la mesure du taux d'ensoleillement σ , on évalue G par la formule (1.23) et on est ramené au cas précédent.

- ε. Par utilisation de la corrélation suivante en l'absence de toute mesure :

$$D^* = 58.4 \sqrt{\sin(h)} [TL - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad (1.27)$$

Où TL est le facteur de trouble de Linke calculable par la formule (1.25).

Irradiation D

L'irradiation diffuse journalière D sur un plan horizontal peut être déterminée de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

A. Par mesure directe.

β . A partir de la mesure de l'irradiation globale G sur un plan horizontal : on évalue D par la formule (1.22).

χ . A partir de la mesure du taux d'ensoleillement σ , on évalue G par la formule (1.23) et on est ramené au cas précédent.

δ . Par intégration des valeurs de D^* données par la corrélation (1.27) en l'absence de toute donnée.

3.3 Rayonnement solaire sur un plan quelconque

Soit une surface plane inclinée d'un angle i par rapport à l'horizontale et orientée vers une direction faisant un angle g avec la direction Sud (g compté positivement vers l'Ouest). Le rayonnement global $G^*(i, \gamma)$ reçu par cette surface est la somme de 3 termes :

$$G^*(i, \gamma) = S^*(i, \gamma) + D^*(i, \gamma) + R^*(i, \gamma) \quad (1.28)$$

Chacun des 3 termes se calculant de la façon suivante :

Éclairement direct :

$$S^*(i, \gamma) = \frac{S^*}{\sin(h)} [\cos(h) \sin(i) \cos(a - \gamma) + \sin(h) \cos(i)] \quad (1.29)$$

Éclairement diffus :

$$D^*(i, \gamma) = \frac{D^*}{2} [1 + \cos(i)] \quad (1.30)$$

Éclairement réfléchi :

$$R^*(i, \gamma) = \frac{G^*}{2} \rho [1 - \cos(i)] \quad (1.31)$$

Où ρ est le facteur de réflexion du sol vis-à-vis du rayonnement solaire, ρ est appelé l'albédo.

On trouvera ses valeurs en annexes A2.

4-Le climat

Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau etc. Son influence sur notre vie est très grande. Aussi faut il l'observer, l'étudier pour le connaître et le quantifier.

4.1-Le climat Algérien

Du nord au sud de l'Algérie on trouve une succession de climats très divers, de type méditerranéen, doux montagneux et sec désertique, représentés par des zones et des sous zones climatiques très distinctes (figure 17). (Boucherf D., 2006). Le zonage du territoire Algérien a été réalisé par le C.S.T.B1., le groupe de l'O.N.M2. et le C.C.N3. La classification qui en a découlée est composée de Quatre zones et une sous zone climatique au Nord, ainsi que trois zones climatiques au sud. Les zones se présentent comme suit : (Mezred M., 1997). Zone A/ la zone du littoral Sa largeur varie entre 80 et 190 Km, elle se caractérise par un climat méditerranéen tempéré et doux.

Zone B/ atlas tellien

Elle représente les régions montagneuses de Kabylie et du Constantinois, l'éloignement de la mer, l'altitude et le type du sol font que l'on enregistre des valeurs minimales moyennes en hiver qui avoisinent le 0°C.

Zone C/ région des hauts plateaux

Cette zone s'étend de l'Est en Ouest, elle se caractérise par un climat semi-aride avec un été chaud.

Zone D/ la région des hauts plateaux

Elle diffère des caractéristiques de zone C essentiellement par des températures plus élevées, un taux d'humidité plus faible et une durée d'insolation plus longue.

Zone C' (sous zone)

Elle concerne la vallée du Chélif caractérisée par des valeurs de températures moyennes d'été de 34,1 et de 38°C ainsi que des valeurs d'insolation en été de 11,7 heures.

Zone E/

Elle se compose des régions de Ghardaïa, de Biskra, de Bechar de Touggourt et de HassiMessaoud ou les températures et la durée de l'ensoleillement sont les plus élevées.

Zone F/

Cette zone se caractérise par des températures très élevées, elle se compose des régions d'Adrar et d'Ain-Salah.

Zone G /

Cette zone est composée des régions du Hoggar et du Tassili où les températures et la durée d'insolation sont très élevées.

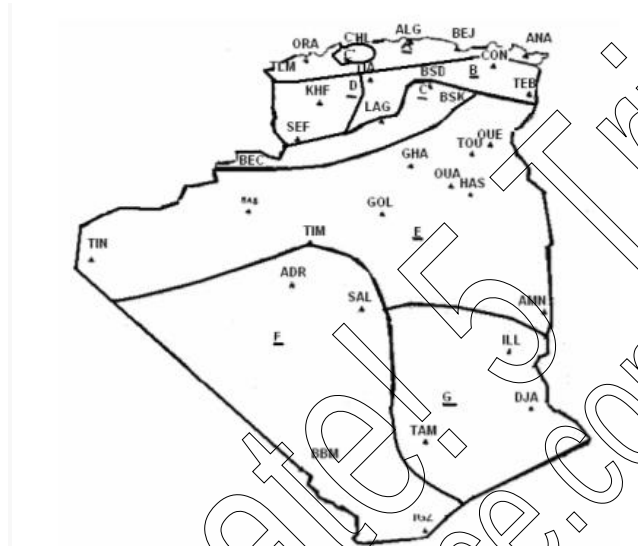


Figure (1.9) : Zone climatique de l'Algérie source : (MEZRE M)

4.2-CLIMAT TIZI OUZOU



La ville de Tizi Ouzou bénéficie d'un climat tempéré chaud. A Tizi Ouzou, les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type Csa. Tizi Ouzou affiche une température annuelle moyenne de 17.9 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 896 mm.

4.3- DIAGRAMME CLIMATIQUE TIZI OUZOU

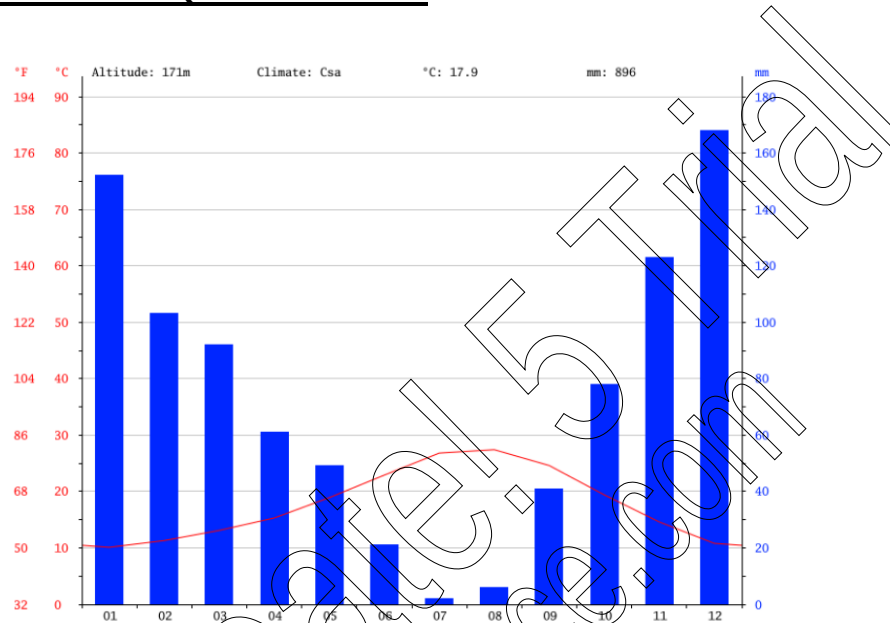


Figure (1.10) : diagramme climatique tizi ouzou

La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 166 mm. Sur l'année, la température varie de 17.3 °C.

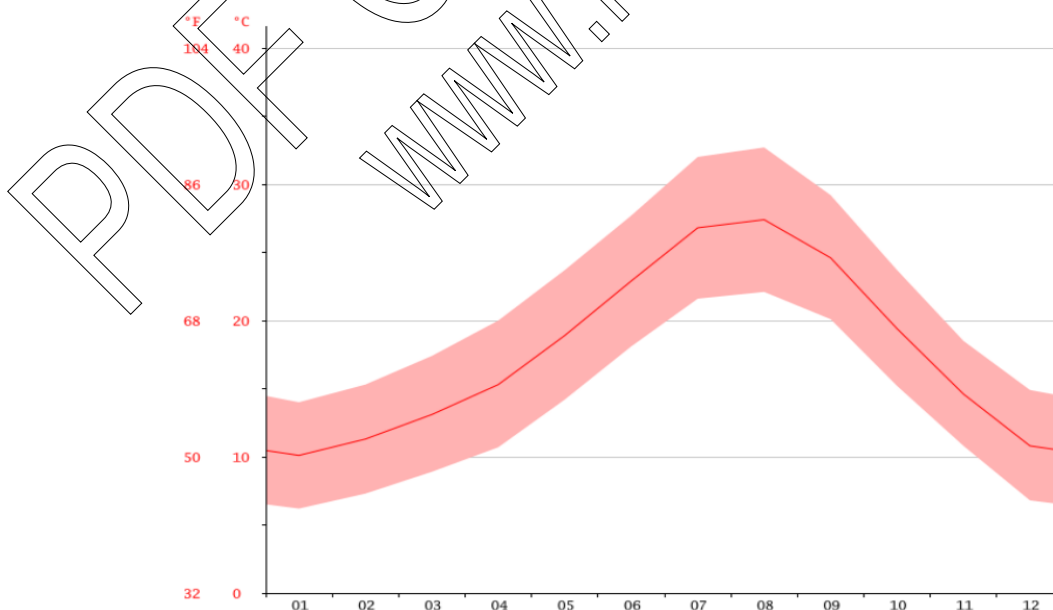


Figure (1.11) : Courbe de température Tizi-Ouzou

Le mois le plus chaud de l'année est celui du mois d'Aout avec une température moyenne de 27.4 °C. Le mois de Janvier est le plus froid avec une température moyenne de 10.1°C.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	10.1	11.3	13.1	15.3	18.9	22.9	26.8	27.4	24.6	19.4	14.6	10.8
Température minimale moyenne (°C)	6.2	7.3	8.9	10.7	14.2	18.1	21.6	22.1	20.1	15.2	10.8	6.8
Température maximale (°C)	14	15.3	17.4	20	23.7	27.7	32	32.7	29.2	23.7	18.5	14.9
Température moyenne (°F)	50.2	52.3	55.6	59.5	66.0	73.2	80.2	81.3	76.3	66.9	58.3	51.4
Température minimale moyenne (°F)	43.2	45.1	48.0	51.3	57.6	64.6	70.9	71.8	68.2	59.4	51.4	44.2
Température maximale (°F)	57.2	59.5	63.3	68.0	74.7	81.9	89.6	90.9	84.6	74.7	65.3	58.8
Précipitations (mm)	152	103	92	61	49	21	2	6	41	78	123	168

TABLEAU (1,2) : CLIMATIQUE TIZIOUZOU

5-calcule de rayonnement solaire

1-calcule de rayonnement solaire pour la wilaya de TIZIOUZOU date du 14 Octobre 2018.

Numéro du jour dans l'année 287

Déclinaison du soleil -7.86°

Coordonnées Géographiques:		P.Astronomique		Irradiation Globale Inclinée		Irradiation Globale Double Axes et Simple Axe		Irradiation Globale Double Axes et Simple Axe		Irradiation Directe Double Axes et Simple Axe			
Longtitude	Latitude	Heures TSX	Azimuth du soleil	Hauteur du soleil	G-inclinée	Pélectrique	GP_02axes	Pélectrique	GP_01axe	GP_01axe	DIN_02_axes	DIN_01axe	Perte
4.06°	36.7°		-77.7°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			-87.4°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altitude	Albedo		-83.7°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195m	0.2		-74.6°	7.1°	76	0	402	0	76	127	379	105	274
			-64.7°	18.4°	266	0	710	0	266	374	652	316	336
			-53.0°	28.7°	452	0	860	0	452	622	778	540	238
			-38.5°	37.3°	602	0	939	0	602	823	842	726	116
			-20.6°	43.3°	698	0	979	0	698	949	874	844	30
			0.0°	45.4°	731	0	991	0	731	991	883	883	0
			20.6°	43.3°	698	0	979	0	698	949	874	844	30
			38.5°	37.3°	602	0	939	0	602	823	842	726	116
			53.0°	28.7°	452	0	860	0	452	622	778	540	238
			64.7°	18.4°	266	0	710	0	266	374	652	316	336
			74.6°	7.1°	76	0	402	0	76	127	379	105	274
			83.7°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			87.4°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			77.7°	0.0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					4919	0	8771	0	4919	6781	7933	5945	1988
					Wh/m²	Wh/kWc	Wh/m²	Wh/kWc	Wh/m²	Wh/m²	Wh/m²	Wh/m²	Wh/m²
					Inclinaison:				Inclinaison:	Orientation:		Orientation:	
					0				0	0		0	
					Orientation:								
					0								

Source: <http://data.cder.dz>

6-Séchage solaire sous serre

6.1- Fonctionnement et procédés du séchage solaire

Pour bien fonctionner, le séchage solaire doit assembler l'effet de serre créé grâce au rayonnement solaire et le retournement de la margine pour permettre une évaporation continue, car l'objectif de cette étape du traitement est d'éliminer le plus d'eau possible contenue dans la margine.

Comme le taux d'évaporation est en fonction de la quantité d'eau que l'air peut emmagasiner, le renouvellement de l'air est nécessaire afin d'éviter une saturation en eau de l'air dans la serre.

Le renouvellement de l'air peut être assuré grâce à un système de ventilation, ou encore à l'aide d'ouvertures bien placées sur le coté et les parois qui permettent un flux d'air naturel à travers la serre. Le séchage solaire peut alors être réalisé de différentes manières. Il est possible d'utiliser une serre ouverte ou fermée par exemple, un chauffage supplémentaire, des parois en verre ou en polycarbonate, différents types de ventilateurs et d'extracteurs d'air, etc.

Tous ces aspects du séchage solaire sont détaillés dans les sous-sections qui suivent, mais d'abord la Figure (1.12) ci-dessous permet d'observer le fonctionnement général d'une serre pour le séchage de la margine.

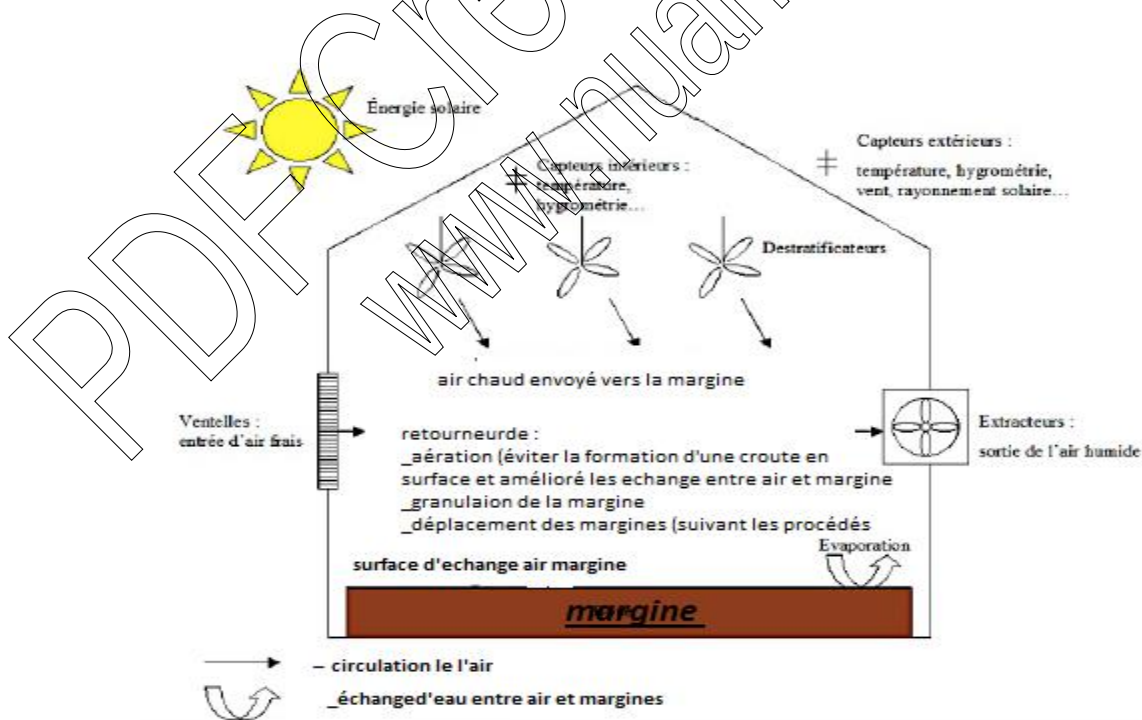


Figure (1.12) : Fonctionnement général d'une serre

Avantages du séchage solaire :

- _ Un bilan environnemental positif puisqu'il n'y a pas d'émission de gaz à effet de serre
- _ Faible consommation électrique pour le séchage des margines ;
- _ Fonction de stockage et de séchage des margines ;
- _ Gestion automatisé des margines ;
- _ Faible cout d'exploitation et d'évacuation des margines ;

6.2- Types de serres

6.2. a- La serre ouverte

La serre ouverte a des ouvertures en partie basse et en partie haute afin de favoriser la convection naturelle (cas typique des serres horticoles) et est démunie de porte. La gestion de l'atmosphère dans la serre est assurée par convection naturelle. Le taux de renouvellement de l'air dans la serre n'est pas parfaitement maîtrisé car seule l'action sur l'ouvrant en toiture permet de gérer le débit de ventilation dans la serre [6].

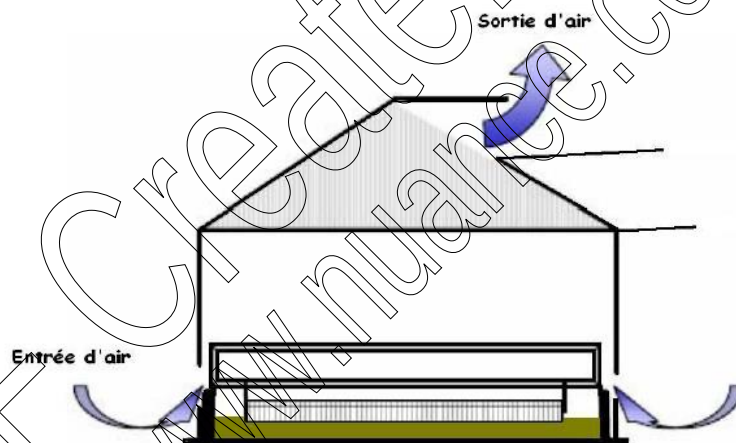


Figure (1.13) : Schéma d'un exemple de serre ouverte [6]

Avantage :

- _ Conception simple
- _ Limitation des dépenses énergétiques
- _ Si ventilation suffisante, dilution constante des odeurs dans l'atmosphère.

Inconvénients :

- _ Températures intérieures plus que dans une serre fermée
- _ Performances de séchage sur l'année moindres et aléatoires
- _ Un taux de séchage moins important et beaucoup plus dépendant des conditions météorologiques, puis l'impossibilité d'ajouter un équipement de désodorisation. (Brison et al. 2010).

6.2. b- La serre fermée :

La serre fermée ne contient aucune ouverture libre. La ventilation de la serre est exclusivement forcée. Celle-ci est effectuée par des ventilateurs situés en pignon ou par une cheminée dans le cas d'un environnement « sensible » [6].

Une serre fermée utilise un flux d'air calculé et optimisé à l'aide d'un système d'asservissement qui mesure les conditions météorologiques (température, humidité, pression, rayonnement solaire, vitesse du vent). Ainsi une quantité d'air bien contrôlée pénètre la serre et permet de sécher les boues efficacement sans trop faire diminuer la température intérieure, puis elle sort une fois qu'elle est trop humide. (Chauhan, 2016)

Une serre fermée utilise un flux d'air calculé et optimisé à l'aide d'un système d'asservissement qui mesure les conditions météorologiques (température, humidité, pression, rayonnement solaire, vitesse du vent). Ainsi une quantité d'air bien contrôlée pénètre la serre et permet de sécher les boues efficacement sans trop faire diminuer la température intérieure, puis elle sort une fois qu'elle est trop humide. (Chauhan, 2016)

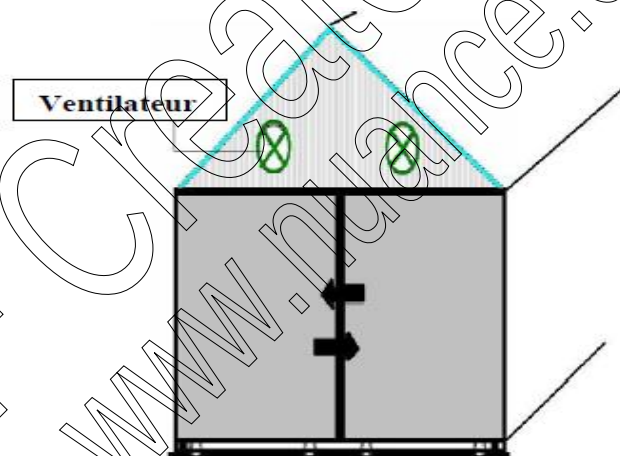


Figure (1.14) : Schéma d'une serre fermée

Avantage :

- _ Maitrise de la ventilation donc du taux de renouvellement
- _ Performances de séchage constantes tous l'année

Inconvénients :

- _ Dépenses énergétiques plus importantes
- _ Conception initiale plus compliquée et plus onéreuse

Comme la serre est installée à l'extérieur, elle doit posséder une résistance suffisante pour faire face aux conditions météorologiques pendant toute l'année, donc contre les fortes pluies,

les vents puissants, les possibilités de grêle, etc. Ensuite, pour que l'effet de serre soit à son meilleur, il faut trouver le matériau qui transmet suffisamment de lumière vers l'intérieur de la serre, en plus d'empêcher la chaleur de s'échapper. Enfin, le coût du matériau est toujours un élément important de la décision. Un compromis entre les différentes propriétés mène vers le choix du polycarbonate comme étant le plus efficace pour le séchage solaire. (Brison et al., 2010)

Ensuite, il faut que les matériaux choisis ne soient pas trop sensibles à la corrosion, car l'air ambiant dans la serre peut devenir corrosif. En effet, au début du séchage une quantité assez importante se trouve dans les margines, donc il est possible que des phénomènes de fermentation et de compostage aient lieu. Ces phénomènes produisent des substances corrosives comme l'ammoniac (NH_3) et le sulfure d'hydrogène (H_2S). Alors, il est nécessaire que les structures qui tiennent les parois en place et les équipements présents dans la serre soient en acier inoxydable. Les structures (charpentes) peuvent aussi être en acier galvanisé à chaud. On peut quand même noter que le phénomène de corrosion est habituellement faible en raison du renouvellement constant de l'air de la serre. Si l'on choisit le polycarbonate comme matériau pour les parois, il faut savoir que celui-ci réagit avec l'ammoniac et devient opaque après quelques années. Il faut simplement prévoir un nettoyage à l'intérieur et à l'extérieur des parois pour ne pas altérer la transmission lumineuse. (Brison et al, 2010)

Si non il faut aussi quelques autres points par rapport aux matériaux et à la structure d'une serre. Le sol doit être imperméable et permettre le drainage. Le béton est le matériau le plus souvent utilisé pour sa simplicité et sa robustesse. Les dimensions de la serre, principalement la hauteur. Puis, le toit peut avoir une forme arrondie ou triangulaire comme un toit de maison. Les deux permettent aux précipitations de s'écouler facilement, mais la forme arrondie comme une chapelle permet une meilleure intégration dans le paysage et une transmission lumineuse facilitée par des angles plus favorables. (Brison et al, 2010) (Amadou, 2007).

Chapitre 2 La margine

PDF Created by
www.nuance.com

1-Introduction

L'industrie oléicole est une activité économique importante, concentrée principalement dans les pays méditerranéens qui détiennent environ 95% de la production mondiale, dont 12% pour l'Algérie d'après Le Conseil oléicole international (COI) l'Algérie classe au septième rang mondial avec une production de 80 000 tonnes/an.

Pour une extraction de 1 litre il faut 5kg d'olive et 6 litre d'eaux, donc pour les 80 000 tonnes on aura besoin de 480 000 000 litre d'eaux et 400 000 tonnes d'olive et qui feras 800 000 tonnes de margines

L'opération d'extraction nécessite de grandes quantités d'eau, par conséquent cette industrie engendre d'importantes quantités d'effluents liquides (les margines).

La gestion des déchets est devenue un enjeu important pour la préservation de l'environnement et de la santé humaine. Dans les pays industrialisés, des règlements spécifiques et des moyens techniques de plus en plus sophistiqués sont progressivement mis en place. Mais dans les pays en voie de développement la situation est plus complexe, les moyens mis en place sont dérisoires, faute de moyens financiers leur permettant d'acquérir des technologies de haute performance. Alors, les déchets qu'ils soient industriels, urbains ou agricoles, seront tout simplement évacués vers le milieu naturel sans traitement (cours d'eau oueds, mer), au détriment de l'environnement.

Différents traitements d'épuration leurs sont appliqués : biologiques, physiques chimiques et thermique. Coûteux et encore insuffisants, ces traitements consistent tous à réduire leur impact sur l'environnement [2,3]. Dans le souci de réduire les coûts des différents traitements appliqués aux margines et de rationaliser la gestion de leurs rejets ou de les valoriser, des recherches sont orientées sur la valorisation de leurs effluents dans divers domaines : compostage, agriculture et même dans l'industrie pharmaceutique [4].

2-Margine

Les **marges**, ou **eaux de végétation**, sont des effluents issus de l'extraction de l'huile d'olive. Elles sont constituées par l'eau contenue dans les cellules de la drupe, les eaux de lavage, et celles liées au processus de traitement, qui représentent quelques litres à 120 litres par quintal (100 kg), d'olives traitées. Dans les installations modernes, la quantité de margines peut être quasiment nulle, le seul sous-produit étant les grignons. Le seul rejet aqueux est donc constitué des eaux de lavage.

À cause de leur charge organique très élevée, et de leur teneur en phénols et polyphénols difficilement dégradables, ces effluents posent d'importants problèmes pour leur élimination.

La caractérisation physico-chimique des margines est généralement tributaire des techniques et des systèmes d'extraction de l'huile d'olives, elle diffère d'un pays à l'autre [22]. En général, les margines contiennent une variété de composés organiques et minéraux, de nature et de concentration très différentes

3-Les caractéristiques physico-chimiques :

Les margines ont une couleur brun à brun rougeâtre, d'aspect trouble. Ces effluents ont une forte charge saline et sont très acides, riches en matières organiques et en poly phénols peu dégradables. Ces eaux sont caractérisées par un pH de 4.5 à 5 et une conductivité de l'ordre de 10 Ms/cm, due surtout aux ions potassium, chlorures, calcium et magnésium. La DCO peut varier de 50 à 200g. margine [Amirantes, 1999]

La composition chimique des margines est assez variable. Elle dépend de nombreux facteurs, en particulier du mode d'extraction de l'huile mais aussi de la période de production

4-composition des margines :

- Les composés fondamentaux des margines sont:
- Eau: 82 à 83%
- Substances organiques 15%
- Substances minérales 1.8%
- Ils contiennent en moyenne 170 Kg de résidus secs par m³ de margine

4.1 -composition des résidus secs:

Ces résidus secs contiennent 20 Kg de substances minérales et 150 Kg de substances organiques

4.2-Fraction minérale

Les margines contiennent des quantités significatives de sels minéraux [23], dont 80% sont solubles (phosphates, sulfates et chlorures) et 20% insolubles (carbonates et silicates). Les éléments les plus représentatifs sont le potassium (47%), les carbonates (21%), les phosphates (14%) et le sodium (7%) [24,7]

4. 3-Fraction organique

Les margines comportent deux fractions organiques : une fraction insoluble constituée essentiellement de pulpes d'olives qui représente la matière en suspension et colloïdale [25] et une fraction soluble dans la phase aqueuse qui contient les sucres, les lipides, les composés azotés, les vitamines, les acides organiques et les composés phénoliques [25,26]. Les glucides sont essentiellement représentés par les composants pariétaux, en particulier la cellulose et les pectines, ces dernières jouent un rôle important dans la texture des olives où ils représentent environ 0,6 % du poids de la pulpe fraîche [26,27]. Récemment, de nombreux travaux ont montré que les margines sont très riches en sucres simples [28, 29,30]. Les sucres simples les plus fréquents dans les margines sont, en particulier, le raffinose, le saccharose, l'arabinose, le xylose, le glucose, le mannose, le fructose.

5. Les principaux composés phénoliques des margines

<u>Les différents types des polyphénols</u>			
Monomères aromatiques		Composés phénoliques a haut poids moléculaires principalement les Tanins	
Acides phénoliques	Alcools phénoliques	Tanins hydrolysables	Tanins condensés (flavotanin)
- Acide caféique - Acide p-coumarique - Acide protocatéchuique - Acide vanillique - Acide 4 -hydroxyphénylacétique - - Acide syringique - Acide phydroxybenzoïque - Acide vératrique	-Hydroxyphényléthanol - dihydroxyphényléthanol - Syringaldéhyde	- Esters d'acides phénoliques - Esters d'acides phénoliques et sucres - Glucosides	-Le catécholmélaninique

La fraction azotée est principalement représentée par les protéines. Tous les acides aminés contenus dans les margines ont été identifiés. Les plus abondants sont l'acide aspartique, l'acide glutamique, la proline et la glycine.

Plusieurs vitamines sont également présentes. Les plus fréquentes sont les vitamines du groupe D, les vitamines du groupe B et en particulier la vitamine PP avec une concentration moyenne de 124 mg/kg de margines.

La concentration en matière grasse des margines peut atteindre 10,78 g/l. Les principaux acides organiques rencontrés sont les acides fumarique, glycérique, lactique, malique, oléique, palmitiques, linoléiques, maslinique et malonique.

Les composés phénoliques sont une vaste classe de substances organiques cycliques très variées. Dans les margines, ces composés ont une structure variable. Ils proviennent de l'hydrolyse enzymatique des glucides et des esters de la pulpe d'olive au cours du processus d'extraction. Leur solubilisation dans l'huile est cependant bien inférieure à celle dans les eaux de végétation, ce qui explique leur concentration élevée dans les margines [En général, La teneur en composés phénoliques varie entre 2 et 6 g/l et elle peut même dépasser les 9g/l [Plus de 50 composés phénoliques et plusieurs alcools phénoliques ont été identifiés. Il s'agit de monomères aromatiques et de composés phénoliques à haut poids moléculaire.

Les acides et les alcools phénoliques sont le groupe le plus vaste et le plus répandu dans les margines. Les composés phénoliques à haut poids moléculaire sont essentiellement des tanins dont la concentration peut atteindre 12 g/l. Le catécholmélaminique est un flavotanin, il est le plus répandu et en quantité la plus élevée dans les margines (tableau 1). En ce qui concerne la lignine, aucun auteur n'a cité la présence de ce polymère dans les margines, bien que les pulpes d'olives contiennent au moins 3% de composés lignocellulosiques.

6. Traitement et valorisation des margines

1- Pouvoir polluant des margines

L'autre caractéristique des margines est la très grande variabilité de leur composition et partant de leur propriétés. Les paramètres définissant le pouvoir de pollution du produit n'échappent pas non plus à cette variation.

Il s'agit: - de la DBO (demande chimique en oxygène) 20000 à 55000 milligrammes /l

- de la DCO (demande biologique en oxygène) 60000 à 180000 milligrammes/l
- des résidus solides 3 à 10 % - des résidus insolubles. 0.04 à 0.5 %.
- les substances phénoliques sont partiellement toxiques et inhibent le développement des microorganismes aussi bien en présence ou en l'absence d'Oxygène.

On identifie un certain nombre de flavonoides, de phénols et de glucosides phénoliques .il s'agit en particulier, de l'oleuropéine qui a la propriété d'inhiber le développement de certaines bactéries, dont les lactobacilles et des Champignons. Elles sont caractérisées par une forte odeur d'huile d'olive et d'une couleur brune à brun noirâtre, les margines sont assez acides (pH 5-5,5) présentant une demande chimique en oxygène (DCO) supérieure à 200 g/L. [Fiorentino et al. ,2003 ; Mulinacci et al. 2002)]

En général, ces constituants contribuent au profil polluant des margines et par suite sont responsables des sérieux dégâts environnementaux [Ranalli et al., 2003],mais plus particulièrement, la toxicité des margines est attribuée aux composés phénoliques non biodégradables qui empêchent le processus d'autoépuration. [DellaGreca et al., 2001]

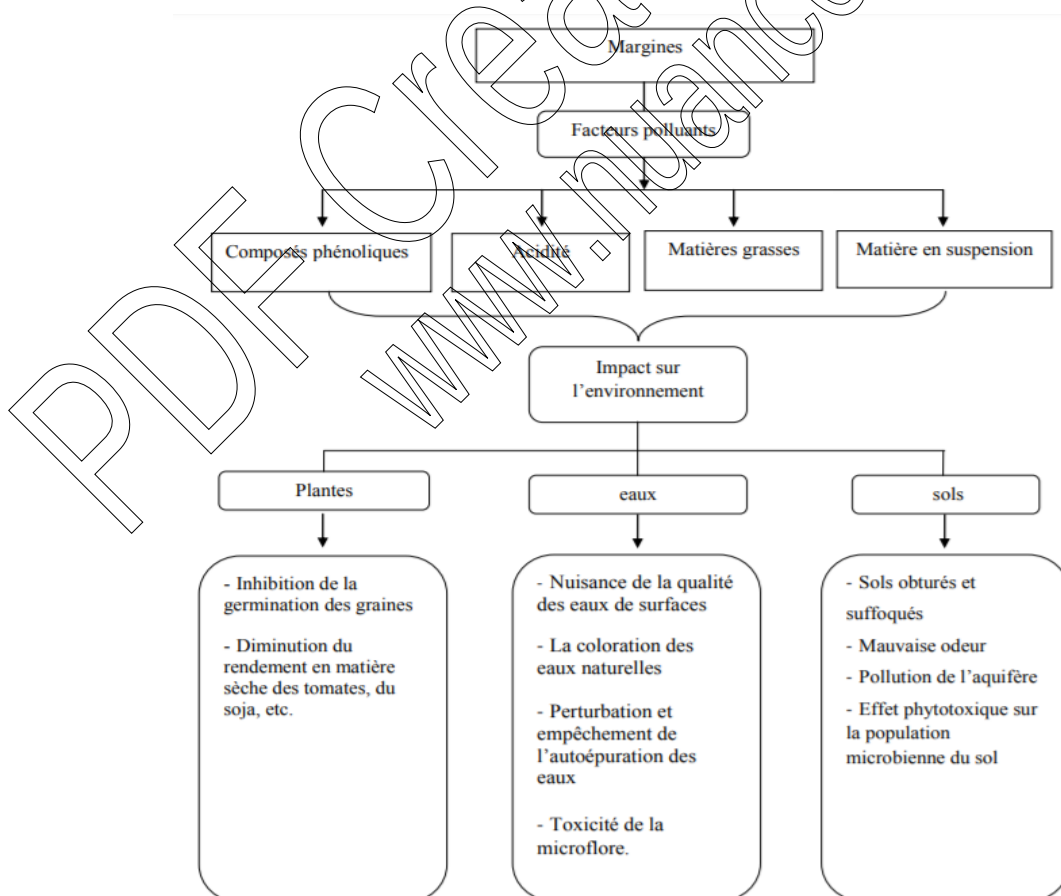


Figure (2.1) : Conséquences environnementales des rejets de margines dans le milieu naturel.

Elle équivaut à une pollution produite par 6 millions d'habitants (moyenne de 60 g/l de DBO5 par jour et par personne).

7-Problématique environnementale des margines:

Les margines, effluents d'extraction de l'huile d'olive, posent de sérieux problèmes de pollution par leur concentration élevée en matières organiques et en poly phénols. Des études de toxicité et de biodégradabilité ont montré que les composés phénoliques qui sont de nature humiques et responsables de la coloration noire sont très peu toxiques et très difficilement biodégradables, par contre, les composés tanniques sont très toxiques mais biodégradables. En effet, le rejet des margines reste jusqu'à présent un problème écologique prépondérant ainsi qu'un redoutable souci pour les pays producteurs d'huile d'olive où de larges volumes sont produits dans des intervalles de temps très brefs s'étendant de Novembre Jusqu'à Avril. [Fiorentino et al., 2003]

L'absence de méthodes de traitement adaptées pousse les propriétaires d'huileries à rejeter ces eaux dans la nature sans aucun contrôle ou à surcharger avec ces substances toxiques un réseau d'égouts pas adapté. [Ben Yahia et al., 2003]

7.1-Pollution des eaux:

Les margines ont une forte charge polluante, 2kgs d'olives pressées correspondent à la pollution rejetée par une personne, il est facile d'imaginer l'impact que peut avoir l'activité des huileries sur la qualité de notre environnement. Les margines sont rejetées le plus souvent dans des récepteurs naturels, des cours d'eau, sans aucun contrôle préalable et nuisent fortement à la qualité de ces eaux de surfaces; la très forte charge en matières organiques empêche ces eaux de s'auto-épurer et la pollution peut s'étendre sur de très longue distances. [Mebirouk, 2002]

Les margines sont peu dégradables à cause des substances phytotoxiques et antimicrobiennes (phénols, acides gras volatiles, insecticides, etc....) qu'elles contiennent. [Belaid et al, 2002]

La coloration des eaux naturelles due aux tannins est l'un des effets les plus visibles de la pollution. De plus, la teneur élevée en sucres réducteurs provoque la prolifération des micro-organismes qui y profitent comme substrat, ceci diminue la disponibilité de l'oxygène pour d'autres organismes vivants et entraîne un déséquilibre de l'écosystème aquatique, de même

que l'accumulation du phosphore provoque l'eutrophisation des eaux et favorise la multiplication de pathogènes [Lacomelli, 2000] En outre, l'épandage des margines, très riches en éléments azotés, peut causer la pollution des nappes souterraines situées dans la zone ou à proximité du site d'épandage et souiller la qualité de l'eau potable ; or dans le bassin méditerranéen, les ressources en eau sont rares et leur préservation, tant que quantitativement que qualitativement est capitale [Benyahia et Zein, 2003].

Ensuite, Les lipides présents dans les margines forment un film impénétrable à la surface des rivières et ses bords empêchent la pénétration de la lumière et l'oxygène.

7.2-Pollution des sols:

Les composés phénoliques, les acides organiques, le pigment catécholmélaminique et la haute salinité (conductivité élevée) peuvent causer des effets phytotoxiques sur les oliviers (F.A.O, 1983).

Ils provoquent une diminution de la matière sèche en diminuant la disponibilité de l'azote, en plus de leur toxicité pour certains micro- organismes [Filidei et al., 2003]

Les acides, les éléments minéraux et les substances organiques aboutissent à une destruction de la capacité d'échange cationique du sol (CEC), par suite, une réduction de la fertilité du sol. La fertilité du sol se réduit suite à l'action altérante des acides, des minéraux et des composés organiques. [Cadillon et Lacassin, SD]

La forte acidité des margines a un impact négatif sur le sol et ses constituants. La microflore bactérienne du sol peut être détruite suite à l'acidification du milieu. Par ailleurs le caractère visqueux des margines entraîne la formation d'un dépôt huileux qui provoque l'imperméabilisation du sol dans un premier lieu et son asphyxie par la suite.

7.3-Air et paysage:

Les fortes teneurs en sels des margines, leur forte charge et leur acidité sursaturent le milieu récepteur et provoquent des conditions d'anaérobioses propices aux dégagements d'odeurs désagréables liées à la formation d'acide H₂S lors du processus de fermentation.les odeurs incommodes forment les riverains du cours d'eau.

8-Les dangers des rejets .**8.1-les dangers évidents:**

-En plus des désagréments visuels et des mauvaises odeurs, la forte charge organique des margines détruits totalement la faune et la flore aquatique par absorption de tout ou une partie de l'Oxygène dissous dans l'eau, le taux d'Oxygène chute jusqu'à zéro (anoxie) et ce sur plusieurs kilomètres, la capacité d'auto-épuration de l'oued est ainsi annihilé, conjugué aux effets de la salinité des margines, toute vie aquatique s'en trouve ainsi totalement inhibée.

- les concentrations des phénols existant dans les margines constituent un risque de pollution important pour les nappes souterraines, les oueds étant des milieux favorables à une alimentation directe de la nappe.

8.1-a-Sous oxygénation:

Lorsque les charges importantes de matières organiques sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. On estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matières organiques par des microorganismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau. [Manahan, 1994]

8.1-b-Couleur, turbidité et odeur :

L'accumulation des matières organiques et minérales dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goût, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielle et colorations anormales. . En dehors de l'aspect inesthétique les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques. La couleur des eaux est due à des acides humiques, grosses molécules contenant des cycles aromatiques ou polyaromatiques avec des fonctions hydroxyles ou acides .Ces molécules sont très peu biodégradables. On a évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de $5 \cdot 10^{-6}$ g/l.[Willmott et al, 1998,]

Elles ont un pouvoir complexant vis-à-vis des métaux de transition.

8.1-c-Eutrophisation:

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel, les ions minéraux induits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable, leur consommation par 31 les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes; il suffit d'une concentration de 4 mg/l pour provoquer ces conditions d'eutrophisation.[Amirantes et al, 1999] .

8.2-Les dangers à longs termes:**8.2-a-la persistance:**

Les margines sont des composés difficiles à épurer par dégradation biologique naturelle, cette persistance est due surtout à la présence de composés phénoliques. Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique:

- les composés insaturés sont moins persistants que les saturés.
- les alcanes sont moins persistants que les aromatiques.
- la persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituant.

8.2-b--Toxicité des tannins:

Les tannins sont des substances végétales de la famille des polyphénols, le plus souvent hydrosolubles, d'origine végétale et qui possèdent la capacité de précipiter les protéines, alcaloïdes et polysaccharides, à partir de leur solution aqueuse

8.2-c- pollution atmosphérique

Une pollution atmosphérique considérable serait induite en raison de la fermentation anaérobie et de la production de gaz (méthane). [Fung, 1997]

9-TRAITEMENT DES MARGINES:

Traditionnellement, la margine était traitée en la déposant dans des bassins de sédimentation où la dégradation aérobie , ne pouvait se faire de manière adéquate , du fait que

les bassins étaient insuffisamment aérés, ce qui favorisait la digestion incontrôlée et l'émission de mauvaises odeurs, ou déversées directement dans la nature. L'accroissement de la production oléicole et l'introduction de techniques modernes de trituration des olives (systèmes continus) ont placé la filière oléicole en position de pollueur potentiel. Phénomène qui a pris de l'ampleur avec l'avènement des systèmes continus à trois phases utilisant beaucoup d'eau par rapport au système à deux phases qui génère moins d'effluents. Les volumes de margines rejetés deviennent énormes, les charges polluantes créent des conditions telles que cette pollution ne peut-être résorbée dans le milieu naturel et bien au contraire, stoppe les phénomènes d'auto-épuration, d'une part en raison de fortes charges organiques diverses, d'autre part, du fait de la présence de grandes quantités d'éléments toxiques. C'est ainsi que des efforts sont consentis par la communauté internationale pour élaborer et proposer des procédés d'épuration de ces effluents basés sur les traitements biologiques, physico-chimiques ou thermiques. Les déchets liquides ou margines, exigent des traitements spécifiques. Dans cette section, vont être exposées les principales technologies disponibles pour le traitement et / ou l'épuration des déchets générés dans la production de l'huile d'olive. Dans le contexte actuel et à la lumière des techniques de traitement existantes, le stockage des margines dans des bassins d'évaporation demeure pour le moment comme la solution la plus utilisée malgré les nuisances occasionnées au milieu naturel.

9.1- traitements biologiques:

Ils sont basés sur la croissance des microorganismes aux dépens des matières organiques (matières en suspension et matières dissoutes), biodégradables, qui constituent, pour eux, des aliments. Les microorganismes les plus actifs sont les bactéries qui conditionnent, en fonction de leur modalité propre de développement.

Les traitements biologiques sont multiples:

- le lagunage aéré ou non.
- les disques biologiques
- les lits bactériens
- l'oxydation biologique, utilisant des voies aérobies ou anaérobies

. Deux types de traitement :

Les traitements aérobies et les traitements anaérobies.

9.1-a- Traitement aérobie :

Le traitement aérobie consiste en des réactions biologiques par lesquelles des microorganismes agissent en présence d'oxygène sur les effluents biodégradables. Le traitement aérobie d'effluents aqueux est possible, si ces derniers possèdent un minimum de biodégradabilité (exprimée en rapport de $\alpha = \text{DBO5} / \text{DCO}$) ; et pas de toxicité forte. Le quotient α appelé degrés de dégradation peut théoriquement se trouver entre 0 et 1. Toutefois un rapport $\text{DBO5} / \text{DCO} < 0.1$ met en relief un effluent qui sera difficilement biodégradable.

La présence de produits toxiques doit être détectée au plus tôt car non seulement ils ne sont pas biodégradables, mais ils peuvent aussi entraîner des dysfonctionnements tels que:

- l'instabilité de biomasse bactérienne
- l'abaissement du rendement global d'épuration
- une mauvaise décantation des boues
- une adsorption des éléments toxiques par la biomasse, la rendant ainsi inapte à une utilisation agricole ou à une mise à décharge.

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène (bactéries strictes), on distingue 3 méthodes essentielles: -

- les lits bactériens:
- les boues activées:
- l'épandage Les principales techniques: les bassins d'oxydation, le lagunage aéré, les disques biologiques et les lits bactériens.

Seuls les procédés les plus couramment rencontrés seront abordés dans les paragraphes suivants, en prenant soin d'évoquer à la fois leurs intérêts et leur dysfonctionnement vis à vis du traitement des margines.

9.1.b- Traitement anaérobie

Il correspond à une réaction biologique en l'absence d'oxygène. On utilise le traitement anaérobie dans le cas des pollutions organiques très concentrées. La digestion anaérobie est un processus complexe qui se déroule généralement en 4 étapes; les deux premières sont souvent regroupées car effectuées par les mêmes populations de microorganismes (Couturier et Galtier, 2004).

9.2-Évaporation**9.2.a-Évaporation naturelle**

L'évaporation apparaît très intéressante au vu des caractéristiques des margines qui présentent une teneur en eau très élevée (83à88%) et en fonction du climat relativement chaud et sec. Cette technique peut être mise en œuvre en stockant simplement les effluents à traiter dans des bassins (évaporation libre), ou en y incorporant un système de circulation des effluents permettant d'améliorer les performances du processus naturel d'évaporation libre (évaporation forcée).

Elle consiste en une évaporation naturelle favorisée par l'action du soleil et du vent, elle fut le premier traitement pour résoudre le problème des margines en Espagne (1980). Les caractéristiques de ces bassins d'évaporation : leur profondeur est de 60 à 70 cm ; leur capacité est fonction de la capacité de production des huileries qui s'en servent (300 à 70 000 m³). La margine stockée est soumise à une série de phénomènes biologiques tendant à dégrader la matière organique, il s'agit d'un phénomène d'autoépuration capable de réduire la DBO à moitié en deux mois.

Avantage :

- simplicité du processus: absence de technologie, une fois les bassins aménagés le processus se fait naturellement.
- Limite et condition d'application : Après quelques années d'expérience, on a décelé quelques problèmes :
- nécessité de grandes surfaces (1m²/ m³ de margine)
- période oléicole durant l'hiver, saison pendant laquelle le bilan d'évaporation est presque nul, le traitement prendra beaucoup de temps, l'évaporation se faisant au printemps et surtout en été.
- évaporation insuffisante : formation d'une couche huileuse en surface qui empêche l'action des rayons solaires.
- Émission de mauvaises odeurs et attraction d'insectes
- Dangers d'infiltration
- formation de boues de fond et difficultés de vidanges et d'utilisation.
- Pour pallier au mauvais fonctionnement de ces bassins quelques solutions complémentaires ont été développées parmi lesquelles :

9.2.b-Installation à évaporation forcée :

Le principe est identique à celui de l'évaporation libre. C'est un procédé qui consiste à introduire des panneaux évaporateurs au niveau des bassins de stockage des margines pour faciliter leur évaporation. En effet cette opération multiplie par 100 la quantité d'eau évaporée par m² occupée au sol, en augmentant la surface d'échange et en la développant en hauteur, zone plus favorable car la vitesse du vent y est plus élevée. Des panneaux alvéolés présentant un rapport surface/ volume très élevé sont montés à proximité du bassin de stockage. A partir d'un réservoir, l'effluent à traiter est projeté par arrosage séquentiel sur ces panneaux qui servent de surface de ruissellement et d'évaporation. Lorsque le niveau d'évaporation souhaité est atteint dans le réservoir, l'aspersion est stoppée. Le concentrât est alors pompé dans un second bassin prévu à cet effet.

Avantage:

- grande surface d'évaporation concentrée dans un espace de panneaux très réduit.
- Suppression de la contrainte des bassins surface- profondeur des bassins qui régit l'évaporation libre.
- réduction du risque de formation de la couche étanche, limitant l'évaporation, le système d'aspersion brassant régulièrement l'effluent.
- possibilité d'évaporer en toute saison
- limitation de développement de mauvaises odeurs vu le haut niveau d'oxygène transféré pendant l'évaporation

Inconvénients :

- Nécessite un investissement de base important pour l'aménagement des bassins, l'installation des panneaux évaporant et les systèmes de circulation des effluents.
- nécessite une alimentation en électricité
- recours à un procédé technologique
- après traitement, le problème de l'élimination du concentrât va se poser

9.2.c-évaporation thermique:

Elle consiste en l'utilisation de l'effet thermique pour concentrer la margine, en éliminant une partie de l'eau, au moyen d'une évaporation d'effet simple ou multiple. Le déchet solide est utilisable ce qui fait que l'on peut parvenir à une élimination totale de tous les déchets (c'est-à-dire zéro rejet).

-Cette méthode permet d'obtenir, d'un côté, un concentrât utilisable comme combustible ou fertilisant voire pour être ajouté à des aliments secs pour animaux en raison de sa valeur énergétique, et de l'autre une eau de condensation qui, préalablement épurée, peut être déversée dans des lits naturels.

-Le procédé se fait grâce à une combinaison de traitements physico chimiques et thermiques adéquats. En premier lieu on procède au conditionnement de la margine en utilisant divers procédés physico chimiques, puis à une évaporation continue d'effet simple ou multiple. La chaleur nécessaire est produite par une chaudière à vapeur qui peut utiliser comme combustible le propre grignon de l'olive ou le concentrât de l'installation elle-même. Les produits que l'on peut obtenir sont eau expulsée dans l'atmosphère; eau de condensation, qui peut être épurée et récupérée;

Et le concentrât de la margine, contenant les matières non dissoutes avec une haute valeur nutritionnelle dans le secteur de l'élevage.

9.3-addition de microorganismes de dégradation :

Cette expérience est basée sur l'ajout d'un composé bactérien pourpre du genre thioalcools présenté sous forme commerciale. Cette préparation microbiologique dégrade la graisse contenue dans les margines de sorte qu'elle évite ou élimine la formation de pellicule superficielle améliorant ainsi notablement l'efficacité de l'évaporation, des essais ont été réalisés à l'institut de graisses de SEVILLE sur des margines hautement concentrées : DCO 112 ,30 mg d' O_2 / l, de Ph5,2 de solides totaux 71,745 mg/l et un taux de graisse de 10,6 % à une dose de 10 et 4ppm par semaine pendant 12 semaines dans des conditions aérobies et anaérobies (sans agitation).

Dans les conditions aérobies : la DCO est réduite à 75% au bout de 80 jours, la matière grasse est réduite à 100% au bout de 100jours. Le p H se stabilise à des valeurs proches de 8. Il ne se dégagea pas d'odeurs désagréables tout au long du processus. Dans les conditions facultatives on a constaté la réduction de la DCO de 40 % au bout de 20 jours, le taux de graisse a diminué et a atteint la valeur de 6,6 % tandis que le pH a atteint la valeur de 7,1 au bout de 80 jours, de même qu'il n'a pas eu de dégagement d'odeurs désagréables.

En général, la DCO a diminuée considérablement, le pH a atteint des valeurs de 7 ,2 à 8, et les odeurs désagréables ont disparu .dans les bassins à l'échelle naturel, on recommande l'addition :

-d'un traitement de choc 5 litres de produits préparés pour 500 m3 de margines stockées, 37

-2 apports mensuels additionnels de l'ordre de 1litre pour 500m³. On obtient ainsi une haute efficacité de l'évaporation et donc l'élimination des margines.

9.4-Élimination des margines par lagunage :

Le principe est basé sur la biodégradation des composés contenus dans les margines par lagunage ; les effluents sont collectés temporairement dans un bassin situé en aval des sites polluants. Un milieu riche en matière organique est crée dans le bassin et des conditions anaérobies s'y développent. Les matières organiques sont ainsi dégradées sous l'action des microorganismes et l'on peut aussi obtenir une dénitrification des eaux. En aval, l'eau obtenue est de qualité physico- chimique acceptable et peut être rejetée dans le milieu naturel. Ce mode de régénération des eaux nécessite par contre de grandes surfaces car les bassins de rétention doivent avoir une faible profondeur.

L'inconvénient que peut revêtir cette méthode d'évacuation est qu'en essayant d'éviter une pollution hydrique, nous risquons de provoquer une pollution de l'environnement en raison des problèmes de manque d'esthétique et de mauvaises odeurs que présentent les bassins d'évaporation.

9.5-Traitement anaérobie et bio méthanisation:

Ce traitement ou digestion anaérobie, est un procédé biochimique de fermentation dans lequel les substances organiques telles que les protéines, les lipides ou les hydrates de carbones, sont dégradés par fermentation, en produits intermédiaires, fondamentalement en 39 acides et alcools, pour que le rendement de ce processus soit élevé, les composants doivent être complètement dégradés en méthanol (30 m³ /100kg de DCO d'effluent) et en CO₂. A l'heure actuelle, il n'existe pas d'installation industrielle, mais il existe une multitude d'expériences et de recherches dans des stations pilotes. Ce traitement admet des courants résiduaux avec une grande charge polluante (DCO supérieure à 1500 g/l), il produit en plus une faible quantité d'excédent de boues, et a un rendement énergétique considérable du fait de la génération du méthane lors du procédé et de son exigence d'espace réduit. Procédé de traitement biologique à 3étages (unité pilote à TUNIS: sa capacité est de 100à 1000 tonnes par jour.) [Mébirouk M., 2002]

Cette unité se compose de 3étages

--Étage 1: un bassin d'aération capable de dégrader avec une flore bactérienne capable de dégrader les composés poly phénoliques toxiques et un décanteur pour extraire l'excédent en biomasse.

---Étage 2: Un digesteur à lit de boues (UASB) avec récupération de gaz.

---Étage 3 : un bassin d'aération et un décanteur. Les résultats obtenus montrent que ce traitement permet une réduction de 20 % de la charge polluante de la margine. Par ce procédé les margines peuvent donc être revalorisées en eau d'irrigation (eau traitée), en biogaz et en biomasse riche en protéine valorisable en aliments de bétail

9.6-Procédés physiques

a--Procédé des membranes:

Les procédés à membranes comme l'ultra filtration et l'osmose inverse, s'emploient souvent dans le traitement de certains courants liquides résiduaux, ceci permettant d'éliminer les polluants de l'eau en générant un courant liquide et un courant concentré;

b-Procédé de bio filtration:

Ces procédés s'emploient fréquemment pour éliminer les solides des eaux résiduaux. Les solides contenus dans l'eau sont retenus en formant un tourteau qui augmente la résistance au passage du déchet, augmentant en même temps l'efficacité de la filtration et aussi le coût opérationnel. Dans les filtres conventionnels, les composés dissous passent avec le déchet aqueux et restent à l'état brut. Cependant, les procédés de bio filtration sont une exception, 40 dans ce cas le filtre, le filtre sert en plus de nutriment pour les bactéries, donnant lieu à un procédé de dégradation biologique des substances organiques dissoutes. Les installations de bio filtration éliminent 100% les solides et entre 70-80% des composés organiques dissous. Procédé pilote (université de TOULOUSE):

Le procédé de bio filtration exige que l'on puisse fournir d'une manière ou d'une autre la quantité d'oxygène nécessaire pour réaliser le procédé aérobie, le lavage du filtre fournit un concentrât qui est parfaitement utilisable dans les champs de culture

9.7-L'adsorption:

L'adsorption consiste en la concentration du polluant organique dans un support solide avec une grande superficie spécifique, généralement du charbon actif ($500\text{--}1500\text{ m}^2/\text{g}$). Dans le

traitement des margines, le principal objectif de l'adsorption est celui de biodégrader les composés organiques ayant des effets bactéricides, inhibiteurs ou colorants (tanins -phénols-)

Les principaux avantages de l'adsorption tiennent à la faible pollution que génère ce type de traitement sur le sol, dans l'air ou l'eau et à la nécessité réduite du personnel qualifié. Les principaux inconvénients sont l'impossibilité de réutilisation du charbon actif, qui, toutefois, du fait de son pouvoir calorifique élevé, peut être employé dans des procédés de combustion, et la nécessité de faire un prétraitement.

9.8. Procédé chimique:

Oxydation humide:

On procède à l'oxydation des substances organiques en phase liquide, en se servant de l'oxygène ou d'un autre oxydant chimique tel que (ozone ou peroxyde d'oxygène). Le procédé se fait à hautes pressions (10 à 220 bars) et à des températures relativement élevées (120-330 °C), le procédé d'oxydation fournit du CO_2 et H_2O ; mais ce procédé nécessite aussi un traitement aérobie.

10-Valorisation agronomiques des margines:

10.1-pouvoir fertilisant des margines

D'après les éléments minéraux et organiques apparaissent sous forme solubles et relativement concentrés ce qui explique les difficultés de leur épuration, mais qui peuvent être valorisés comme fertilisants. De part leur qualité, les margines sont des effluents très riches en éléments fertilisants.

De part leur caractère de polluant organique, les margines offrent l'équivalent de 320 millions de m^3 de bio méthane (fermentation anaérobie) ou 29 à 92 mille tonnes de K_2O , 5 à 16 mille tonnes de P_2O_5 , 1,3 à 4, 2 mille tonnes de MgO fertilisants). [Ben Rouina et Nafzaoui, 1986]

Les margines contiennent des quantités appréciables d'éléments nutritifs minéraux qui peuvent remplacer une partie de la fumure classique; en outre, étant constituées principalement de matière organique, elles sont un excellent substrat pour le développement de la microflore qui favorise l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols. [Paredes et al, 1999; Sierra et al, 2001. Cereti et al, 2004].

Tableau [apports en éléments fertilisants, selon [cadillon, 1991] montre les apports en éléments fertilisants sur la base d'un épandage de 100m³/ha/ an.

Paramètres	Unités en kg/hectare	Apport par hectare
Matière organique	MO	400 à 1800
Azote total	N	50 à 120
Phosphore	P ₂ O ₅	65 à 200
Potasse	K ₂ O	350 à 1100
Magnésie	MgO	15 à 150
Calcium	Ca	15 à 100

La totalité de l'azote se trouve sous forme organique, l'azote minéral (nitrate et ammoniacal), n'est généralement présent qu'à l'état de traces. L'azote, le potassium et le phosphore sont retenus dans les premiers dix centimètres des sols ayant un bon pouvoir absorbant. La fourniture d'azote minérale par les margines se fait progressivement par minéralisation lente. Ces enrichissements justifient l'intérêt de la valorisation agricole des margines, qui peut correspondre soit à une fumure de fond, soit à une fumure d'entretien et qui peut s'effectuer : -

-par épandage sur le sol (soit directement, soit après stockage)

-par compostage avec un support carboné et épandage du compost sur le champ; cette technique a pour but de fixer les éléments fertilisants sur un substrat carboné au cours d'un processus anaérobie, pour les restituer au sol en fonction des besoins des plantes.

10.2-Le compostage:

Le compost s'obtient principalement par dégradation aérobie- anaérobie de la substance organique des résidus solides (margines – résidus agricoles) , afin que ce processus se réalise il faut plonger les résidus agricoles dans des margines dont le contenu en substances organiques et minérales est approprié pour mener à bien le processus d'obtention du compost (éléments nutritifs pour les microorganismes et enrichissement du produit final après évaporation naturelle) c'est ainsi que dans certaines régions d'Espagne , les margines sont stockées dans des bassins d'évaporation et on y ajoute d'autres résidus agricoles (bois de 43 taille) pour les absorber, on retourne le résidu dégradé avec une pelleteuse et on l'utilise directement comme fertilisant. Le compost produit à partir des margines est totalement libre des microorganismes pathogènes et plus riche en phosphate et en potassium que le compost obtenu à partir des résidus solides urbains [Fiestas Ros de Ursinos, 1983; Ranalli, 1998; 2000]. L'apport du compost peut s'effectuer en fonction d'un calendrier agricole traditionnel; dans cette solution les éléments fertilisants sont mieux intégrés dans le complexe humique et sont mis progressivement à la disposition de la plante par la biodégradation de la matière organique, de ce fait ils sont moins susceptibles de migrer en grosses quantité vers les nappes .les opérations se déroulent en trois phases :

- la préparation du support carboné: le support carboné (paille par exemple) est disposé en vrac dans une cuve bassin étanche.
- la macération: la margine est épanchée sur le support carboné et l'imprègne durant 24 heures.
- le mélange est mis sur une aire de compostage Expérimentalement une tonne de paille, à 5% d'humidité absorbe trois fois son poids (3 m³ de margines). Le traitement des margines par leur absorption sur un substrat carboné, et le compostage de l'ensemble, peut constituer une solution valable sur le plan technique et économique à condition toutefois d'avoir un substrat très absorbant et peu coûteux à l'achat. [Cadillon, Lacassin 2002]

Nous avons vu principalement dans ce chapitre la composition de la margine ainsi que ses problématique environnementale et les différents méthodes de son traitement que nous verront plus précisément dans la partie expérimentale.

Chapitre 3 Le séchage solaire

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

1-INTRODUCTION

Le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide par évaporation. Cette opération nécessite une source de chaleur.

Le séchage solaire sous serre utilise 'l'effet serre' pour accélérer le processus d'élimination de l'eau contenue dans les produits à sécher. L'échauffement de la surface du produit, grâce au rayonnement solaire et au rayonnement infrarouge émis par le matériau transparent de la serre, permet d'augmenter la pression de vapeur d'eau à la surface et par suite de favoriser l'évaporation. Un flux d'air frais généré par un ventilateur et admis sous la serre permet d'évacuer la vapeur d'eau issue du séchage.

Dans cette méthode, le taux de séchage est contrôlé par des facteurs externes, tels que le rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse du vent et l'humidité relative, et des facteurs internes tels que la teneur en eau initiale, le type des produits et la masse du produit par unité de surface d'exposition.

Au cours du séchage solaire d'un milieu poreux, les transferts de chaleur et de masse s'effectuent d'une façon couplée. Le transport de masse est celui de la vapeur d'eau entre la surface du produit et de l'air asséchant. Dans notre travail, on vise à mettre cette méthode dans un cadre scientifique en développant un modèle de simulation basé sur une approche thermodynamique des éléments et des conditions intervenant dont les conditions climatiques extérieurs (rayonnement solaire, température extérieur, humidité relative de l'air) sont variables pendant le temps.

2. Définition :

Le séchage solaire est défini comme l'opération unitaire qui consiste à éliminer par évaporation l'eau d'un produit humide. Ce dernier peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide [1]. Il s'agit d'une technique faisant intervenir des transferts simultanés de chaleur et de masse entre le produit et l'air environnant [2].

3. But de séchage [3]

Le but du séchage est de déshydrater un produit de façon à abaisser sa teneur en eau en-dessous d'une valeur permettant sa conservation à température ambiante.

Le séchage a donc pour effet d'alléger le produit. Il provoque également des modifications d'aspect, de goût, de texture et de qualité nutritionnelle du produit.

L'étude du séchage nécessite la connaissance des définitions et des relations relatives à l'air humide.

Tout produit d'origine végétale ou animale contient de l'eau, on peut donc distinguer dans un tel produit de masse **m** :

- une masse **me** d'eau,
- la masse restante **ms = m – me** appelée masse sèche ou anhydre du produit.

Comme pour l'air humide on définit l'humidité ou la teneur en eau d'un produit (en base sèche) exprimé en (kg eau.kgms⁻¹) par

$$w = \frac{me}{ms} \quad (3.1)$$

La teneur en eau d'un produit est parfois définie en base humide :

$$mc = \frac{me}{m} \quad (3.2)$$

Les deux grandeurs sont liées par les relations suivantes :

$$w = \frac{mc}{1-mc} \quad \text{et} \quad mc = \frac{w}{1+w} \quad (3.3)$$

4-MODÉLISATION DE SYSTÈME (séchage sous serre)

Le séchage solaire des produits sur la mise en contact, sous une serre, d'un air régulièrement renouvelé. Un système de ventilation assure un écoulement de l'air dans la serre afin de favoriser le transfert de l'eau interstitielle dans l'atmosphère et d'évacuer l'air humide.

Les éléments de base à représenter pour construire un modèle de sécheur solaire direct sont les suivants:

L'environnement extérieur, la couverture, l'air intérieur, le produit à sécher et le support sur lequel repose le produit.

Les différents modes de transferts thermiques mis en jeu dans la serre sont:

- Les apports solaires à travers le matériau de la couverture;
- Les échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre les différents éléments;
- Les échanges de convection à la surface de la couverture et à celle du produit;
- L'évaporation au niveau du produit;
- Le renouvellement d'air dû à la perméabilité de la serre ou à une ventilation mécanique.

Le modèle que nous proposons repose sur une approche globalement similaire: c'est un modèle de connaissance dynamique mono dimensionnel, qui s'articule autour de la formulation des bilans d'énergie instantanés de différents composants de la serre. Chacun des éléments du modèle est caractérisé par une variable d'état: la température. Le produit est en plus caractérisé par sa teneur en eau. On retiendra l'hypothèse d'une distribution uniforme des différentes variables.

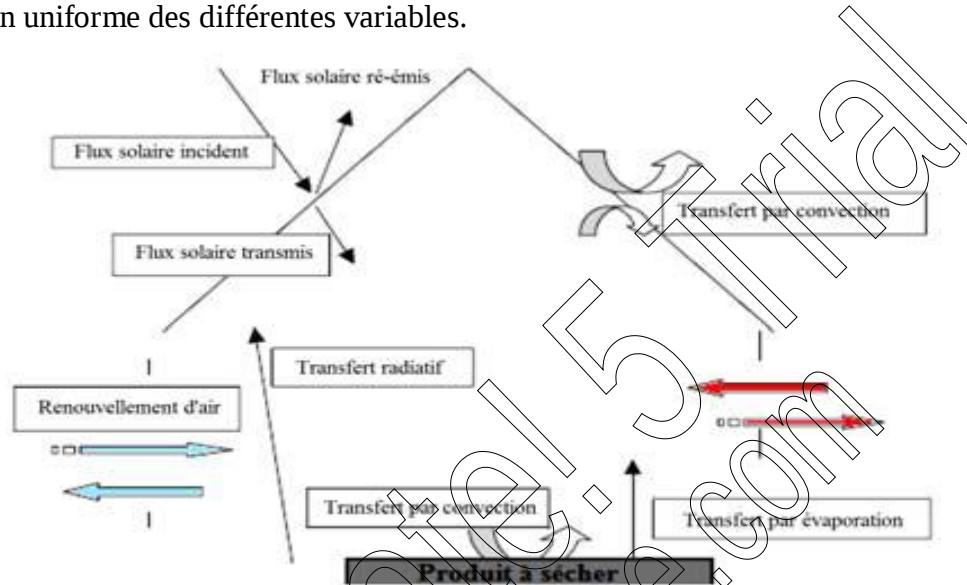


Figure (3.1): Schéma d'une serre de séchage

Éléments et mécanismes à prendre en compte dans un modèle de sécheur solaire

On suppose également que:

- La serre est considérée comme un système physique, dont les conditions aux limites sont les données météorologiques (T_{ae}, H_r, U_v, R_g);
- La couverture de la serre est considérée comme une surface de faible épaisseur où l'échange par conduction entre la face extérieure et intérieure peut être négligé.
- La convection des faces latérales avec le milieu extérieur, ainsi que l'intérieur de la serre et ceux des radiations solaires captées par les faces latérales de la serre sont négligées.
- L'échange conductif entre le produit et son support est négligé.

4.1 Bilans thermiques et massique :

Pour élaborer le modèle mathématique, la méthode des bilans thermiques pour chaque composant est utilisée. En évaluant les gains et les pertes, ces bilans traduisent le principe de conservation de l'énergie appliqué à chaque élément du modèle.

a-Bilan thermique sur la couverture :

$$C_c \times \frac{dT_c}{dt} = R_g \times \alpha_c (1 + \tau_c \times \rho_p) + \sigma \times \varepsilon_c (T_V^4 - T_c^4) + \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} (T_P^4 - T_c^4) + h_{ci}(T_{ai} - T_c) + h_{ce}(T_{ae} - T_c) \quad (3.4)$$

b-Bilan thermique sur l'air intérieur :

$$\rho \times V \times C_{P_{ai}} \times \frac{dT_{ai}}{dt} = h_{Pi} \times S_p \times (T_P - T_{ai}) + h_{ci} \times S_c \times (T_c - T_{ai}) - \rho \times q_v \times C_{P_{ai}} (T_{ai} - T_{ae}) \quad (3.5)$$

Avec, $Q = N \times V$

c-Bilan thermique sur le produit à sécher :

$$m \times C_{P_P} \times \frac{dT_P}{dt} = h_{Pi} \times S_p \times (T_P - T_{ai}) + R_g \times S_p \times \alpha_p \times \tau_c \times \frac{\sigma \times S_p}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} (T_P^4 - T_c^4) - \dot{m} \times L_V \quad (3.6)$$

Avec, $C_{P_P} = \frac{1}{1+X} \times C_{P_{sec}} + \frac{X}{1+X} \times C_{P_{eau}}$

d- Bilan massique- Débit d'eau évaporée :

La vitesse de séchage $(-d\bar{X}/dt)$ est normée ou réduite (C.C.S) par la vitesse de la première phase $(-d\bar{X}/dt)_1$ peut soit être déduite théoriquement ou mesurée sur la courbe expérimentale $(-d\bar{X}/dt) = f(X_r)$.

La quantité de chaleur est liée à celle de matière via la chaleur latente de vaporisation.

$$Q = M_s \times \left(-\frac{dX}{dt}\right) \times L_V \quad \text{et} \quad \frac{dm}{dt} = M_s \times \left(-\frac{dX}{dt}\right)$$

$$\left(-\frac{dX}{dt}\right)_1 = \frac{S_P}{M_S \times L_V} \left[R_g \times \alpha_P \times \tau_C + h_{CP} \times (T_{ai} - T_h) - \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_C} + \frac{1}{\varepsilon_P} - 1} \times (T_h^4 - T_C^4) \right] \quad (3.7)$$

5-Caractéristiques de l'air de séchage :[1 ;4 ;5]

L'air sec peut être considéré comme un mélange de gaz dont la composition est couramment approchée à l'aide des 3 concentrations volumiques suivantes;

-O₂: 0,210

- N₂: 0,781

- Ar: 0,009

L'air humide peut être considéré comme un mélange d'air sec et de vapeur d'eau

5.1-Humidité absolue :

On définit l'humidité absolue H_a (kgv /kgas) comme la masse de vapeur d'eau contenue dans l'air en kg par kg d'air sec. Cette humidité est donnée par la relation :

$$H = \frac{mv}{mas} \quad (3.8)$$

Où mv et mas sont les masses de vapeur d'eau et d'air sec contenues dans un même volume d'air humide.

Si on considère P la pression totale du mélange de gaz et de vapeur, on peut écrire dans le cas de l'air humide :

$$H = \frac{18}{29} \left[\frac{P_v}{P - P_v} \right] = 0.622 \left[\frac{P_v}{P - P_v} \right] \quad (3.9)$$

5.2-Humidité relative:

La vapeur d'eau se présente dans l'air sous forme de vapeur, si $P_v < P_s(T)$. On définit alors l'humidité relative H_r comme le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air et la pression de saturation de cette vapeur d'eau à la même température T .

l'humidité relative est donnée par la relation : $H_r = \frac{P_v}{p_s} \quad (3.10)$

5.3- Degré de saturation:

Soit H_a la valeur de l'humidité absolue de l'air pour une certaine température et H_{as} la valeur de l'humidité absolue de l'air saturé pour la même température; on appelle degré de saturation de l'air, le rapport

$$\gamma = \frac{H_a}{H_s} \quad (3.11)$$

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

$$\gamma = \left[\frac{H_a}{H_s} \right] = \frac{p_v}{P_s} \quad (3.12)$$

5.4-Températures caractéristiques de l'air humide :

5.4. a-Température de bulbe humide

L'évaporation d'un liquide est un phénomène endothermique. Si l'opération est réalisée adiabatiquement (c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'extérieur) sous l'action d'un courant de gaz non saturé en vapeur du liquide en cause, la chaleur nécessaire à l'opération ne peut provenir que du système lui-même. Si la température initiale du liquide est supérieure à la température du gaz, la chaleur nécessaire à l'évaporation est fournie par le liquide dont la température s'abaisse. Mais on observe généralement que cette dernière température se stabilise à une valeur inférieure.

C'est le gaz qui cède alors au liquide, en se refroidissant, une partie de chaleur sensible. Le liquide s'évapore et la vapeur formée se mélange au gaz. A la diminution de chaleur sensible du gaz correspondant à son humidité et un abaissement de température qui reste toujours supérieur à celle du liquide.

5.4. b-Température de rosée (Point de rosée) (Arditti 1972)

Dans un mélange de gaz et de vapeur, la pression de saturation de la vapeur est constante si la température ne varie pas. Quand on refroidit ce mélange sous pression totale constante, la pression partielle de la vapeur demeure inchangée mais par contre, la tension maximale P_s de la vapeur diminue, tant que cette tension maximale P_s est supérieure à la pression partielle P_v de la vapeur dans le mélange, la vapeur reste sèche et l'humidité (absolue) du gaz reste constante. Pour une certaine température T_r , la tension maximale P_s devient égale à la pression partielle P_v . La vapeur devient saturante et les premières traces de phase condensée (liquide généralement) apparaissent à cette température T_r :

On donne le nom de point de rosé. A la température T_r on a donc $H_r = 1$, un refroidissement au-dessous de T_r provoque une condensation de la vapeur (brouillard) et par la suite une diminution de l'humidité du gaz.

6- Caractérisation des solides humides :

6.1- Description du solide humide :

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 valeur maximale que peut prendre la tension de vapeur de l'eau à cette température [14]. L'eau peut aussi se retrouver localisée à la surface ou au fond des pores : les forces qui la retiennent sont alors beaucoup plus fortes et ont trait à des phénomènes complexes de capillarité.

Plus les pores sont de petites tailles, plus ces forces sont intenses.
Un solide humide peut se présenter schématiquement comme sur la figure.2.

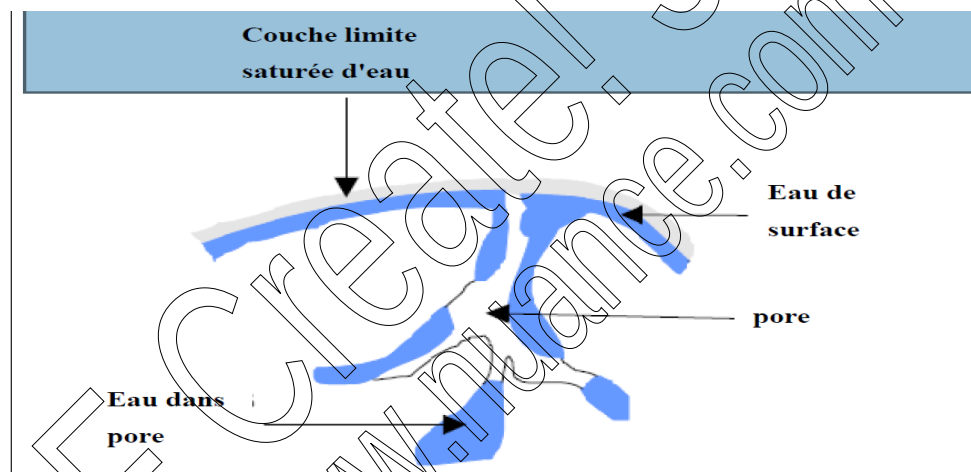


Figure (3.2): Description du solide humide

6.2- Humidité absolue [McCabe, Smith et al. 1956] :

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

$$X = \left[\frac{m_h - m_s}{m_s} \right] \quad (3.13)$$

6.3- Humidité relative [McCabe, Smith et al. 1956] :

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

$$X_r = \left[\frac{M_h - M_s}{M_h} \right] \quad (3.14)$$

6.4-Hygroscopicité [McCabe, Smith et al. 1956] :

Après égouttage, la présence d'humidité dans un solide, se manifeste par une certaine tension de vapeur P_m qui est fonction de la nature du liquide, de celle du solide et de la température. La valeur de cette tension de vapeur permet de distinguer deux grandes catégories de solides.

Lorsque le liquide adhère à la surface externe d'un solide, il est retenu par des forces superficielles peu intenses : la tension de vapeur P_m du liquide n'est alors fonction que de la température et elle est égale à la tension maximale de la vapeur du liquide à température considérée. La rétention du liquide par adsorption à l'intérieur des pores, met en jeu des forces capillaires d'autant plus intenses que les interstices sont plus fins. Dans le cas de gros capillaires, l'humidité n'est retenue que faiblement. Au cours du séchage, qui s'effectue par évaporation du liquide superficiel, ce dernier est peu à peu remplacé par du liquide provenant des interstices du solide; il en résulte que la tension de vapeur P_m du liquide est, ici encore, égale à la tension maximale du liquide pour la température où l'on se trouve.

6.5- Caractéristiques d'un solide poreux :

Les caractéristiques du solide sont liées 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 II.6 II.7 donc une modification des structures poreuses qui rejouera sur les caractéristiques de séchage par un ralentissement et même un blocage des transferts (croustage, 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.

Porosité volumique d'un produit [McCabe, Smith et al. 1956]

La porosité volumique ε (figure .3) est définie par :

$$\varepsilon = \frac{\text{volume de pores}}{\text{volume apparent du produit}} \quad \text{Avec : } 0 < \varepsilon < 1$$

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



Figure (3.3) : Volume de contrôle microscopique

La notion de porosité est aussi nécessaire au niveau du séchoir, en particulier pour des produits en amas (figure 4). La définition est équivalente

$$\varepsilon = \frac{\text{volume de l'amas} - \text{volume du produit}}{\text{volume de l'amas}}$$

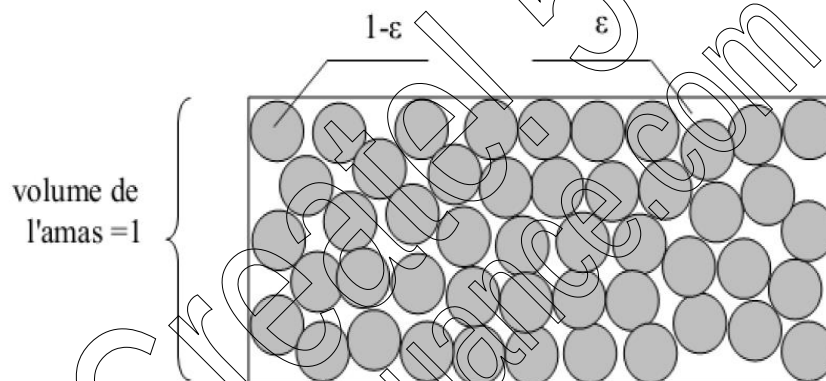


Figure (3.4) : Volume de contrôle macroscopique

7- Les modes de transfert :

7.1- Transfert de chaleur:

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques. [18]

Il existe essentiellement trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

7.1. a- La conduction : [1 ; 19]

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.

$$\text{Loi de Fourier: } \phi = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (3.15)$$

Où :

ϕ : Flux de chaleur.

λ_c : Conductivité thermique

7.1.b- La convection

Les phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes. Lorsque se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences des gradients de température, on dit que la convection est naturelle ou libre. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une action mécanique (pompe, ventilateur, etc....), la convection est dite forcée. [19]

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 de Fourier est appelé coefficient de convection thermique est noté **hc**. [20]

Le flux calorifique (puissance) transmis par convection s'exprime alors par l'équation fondamentale suivant : $\phi = hc.S(T_1 - T_2)$ (3.16)

Où:

Φ : Puissance transmise en **W**.

hc : Coefficient de transmission thermique par convection, ou coefficient de convection thermique en $W/m^2.K$.

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

T1: Température la plus chaude (paroi ou fluide en K).

T2: Température la plus froide (fluide ou paroi en K).

Régime d'écoulement :

On distingue deux types de régime d'écoulement :

1 Régime laminaire :

L'écoulement s'effectue par couches pratiquement indépendantes. Entre deux filets fluides adjacents.

2 Régime turbulent :

L'écoulement n'est plus permanent. Il est toujours possible de définir des lignes de courant moyennes à partir du champ des vitesses moyennes.

7.1.c-Le rayonnement [8]

Le rayonnement est le mécanisme par lequel la chaleur se transmet d'un milieu à haute température vers un autre à basse température lorsque ces milieux sont séparés dans l'espace. Ce mode de transfert ne nécessite pas de support matériel et peut donc s'effectuer dans le vide. En général, les sources de rayonnement sont des solides et le rayonnement se fait par la surface [18]. La quantité de chaleur est définie par la loi de Stephan Boltzmann (1884).

Loi de Stefan –Boltzmann :

$$qr = \sigma S T^4 \quad (3.17)$$

Où :

qr: la quantité d'énergie rayonnée en **W**.

σ : Constant de Stenphan-Boltzman **$\sigma = 5.66.10^{-8}$ en $J/s m^2 K^4$.**

7.2- Transfert de masse:**7.2.a. Loi de Fick: [15]**

La loi de Fick caractérisée la diffusion moléculaire d'un fluide de masse volumique ρ dans un milieu, elle exprime un flux massique surfacique. Le paramètre pertinent du milieu est D_f le coefficient de diffusion moléculaire

$$J_c = -\rho_f D_f \frac{dc_m}{dx} \quad (3.18)$$
7.2.b- Loi de Darcy:

La loi de Darcy caractérisée 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 k la perméabilité intrinsèque

$$J_s = -\rho_f \frac{k_f}{\mu_f} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad (3.19)$$
8- Choix du procédé de séchage :

Les types des séchoirs utilisés pour sécher un produit donné sont basés sur le choix de l'appareil adéquat qui se fait alors en fonction de certain facteur [9]:

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

9- 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 [10].

10-Vitesse de séchage:

On appelle la vitesse de séchage, la masse d'eau évaporée par unité de temps et par unité de surface d'évaporation du matériau. L'expression de la vitesse de séchage s'écrit alors :

$$R = \frac{-dM_v}{s dt} = \frac{M_s dx}{s dt} \quad (3.20)$$

$$M_v = M_s dx \quad (3.21) \quad ; \quad dx = X_e - X_s \quad (3.22)$$

M_v : La masse d'eau évaporée.

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 fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont : [11]

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

-La température, l'humidité et la vitesse de l'air sécheur.

11- Cinétique de séchage:

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps. Ces courbes sont généralement obtenues pour différentes conditions expérimentales (température, hygrométrie, vitesse de l'air asséchant). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps. Tous les travaux de séchage montrent que les courbes de la vitesse de séchage en fonction du temps se distinguent suivant la nature du produit. Mais d'une manière générale, on remarque que l'allure de séchage décompose en trois périodes principales : [11]

- phase 0 : Période transitoire (a).

- phase I : Période à vitesse de séchage constante (b).
- Phase II: Période à vitesse de séchage décroissante(c).

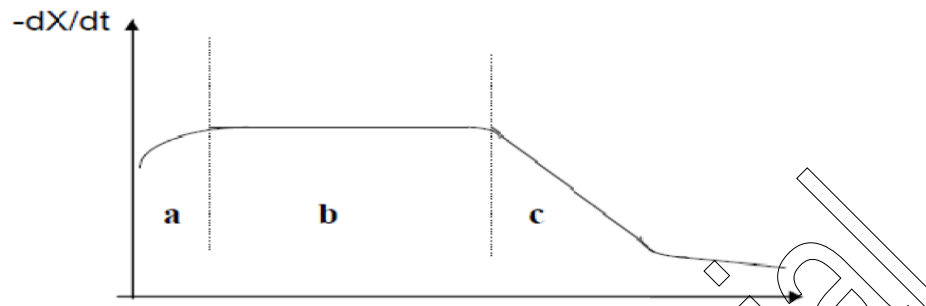


Figure (3.5): Allure de séchage en fonction du temps

Phase 0 : Période de mise en température:

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

Phase I : Période à vitesse de séchage constante:

Dans 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 de la température de bulbe humide; l'activité de l'eau à la surface du produit est alors égale à 1 et le séchage est dit isenthalpique. Pour cette période, le flux de chaleur entrant est égal aux flux nécessaire à l'évaporation de l'eau sortant du produit.

Phase II: Période à vitesse de séchage décroissante :

C'est la période à vitesse de séchage décroissante. Le ralentissement de l'allure de séchage est expliqué par les phénomènes suivants [2]:

- Disparition de l'eau libre en surface du 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 du produit en eau. Plus ce dernier est sec, moins il devient perméable à l'eau.

- La résistance mécanique de 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 (phase I) et sont déposés 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 rendent imperméables la surface du produit.

12-Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage :

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

12.1- 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 élevée. Par conséquent, les conductivités de l'eau dans le produit deviennent importantes [2]

12.2-Influence de la vitesse de l'air :

La vitesse de l'air influe effectivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par transport interne de l'eau, l'influence de la vitesse de séchage de l'air devient très faible. [2]

12.3- 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 [2].

13. Types de séchoirs solaires:

Il y a plusieurs types de séchoirs solaires développés pour servir les divers buts de sécher des produits agro-alimentaires selon le besoin local et la disponibilité.

Généralement, on peut classer les séchoirs solaires selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement [12] en séchoirs directs, séchoirs indirects, séchoirs mixtes et séchoirs hybrides.

13.1- Les séchoirs solaires directs :

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples. Ils sont conçus de façon à laisser pénétrer le rayonnement solaire directement dans l'armoire de séchage où il est converti en chaleur par le produit à sécher lui-même et les diverses parois qu'il rencontre.

Une circulation d'air se fait à travers l'appareil, par tirage naturel dû au réchauffement, ou par action du vent sur les ouvertures, mais rarement à l'aide d'un ventilateur, du fait de la rusticité des modèles.

Avantage :

- _ Les produits sont mieux protégés de l'attaque des poussières, des insectes, des animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.
- _ Pas besoin de main-d'œuvre qualifiée.
- _ Grandes possibilités de conception.

Inconvénients :

- _ Dégradation de la qualité par exposition directe au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration [13].
- _ Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- _ Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

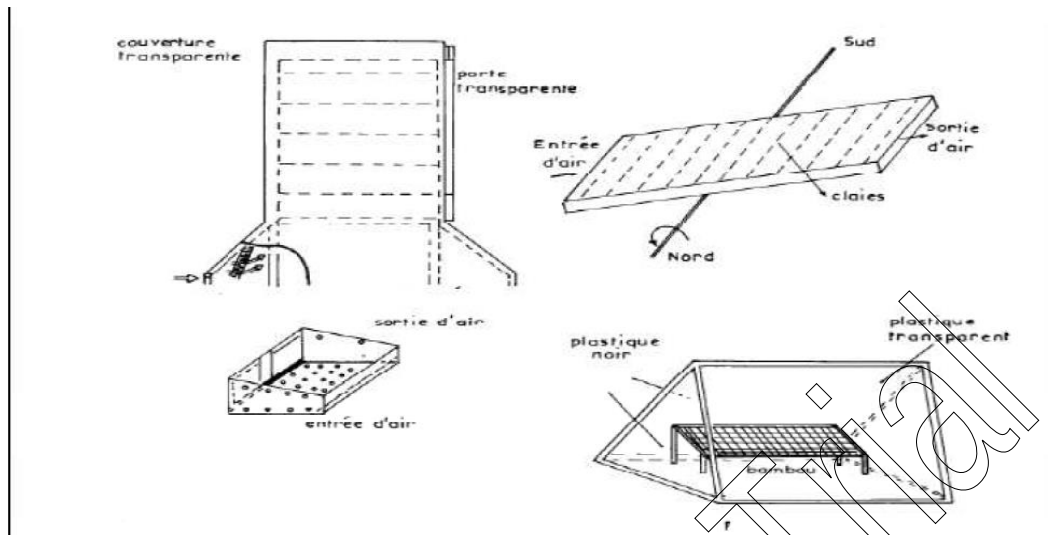


Figure (3.6): Exemples des séchoirs solaires directs simples

13.2-Les séchoirs solaires indirects :

Ce type des séchoirs est souvent plus compliqué que le séchoir direct. Il se compose de deux parties:

Un **collecteur** qui convertit le rayonnement solaire en chaleur et une **chambre** de séchage qui contient le produit. 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.

Ce type des séchoirs peut être réalisé à des échelles diverses et il est surtout employé pour des produits très sensibles au rayonnement solaire. [14]

Avantage :

_ Le produit est protégé contre radiation du soleil directe .Il conserve mieux sa couleur et Sa valeur nutritionnelle.

Inconvénients :

_ Rapidité de séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
_ Plus compliqué à réaliser

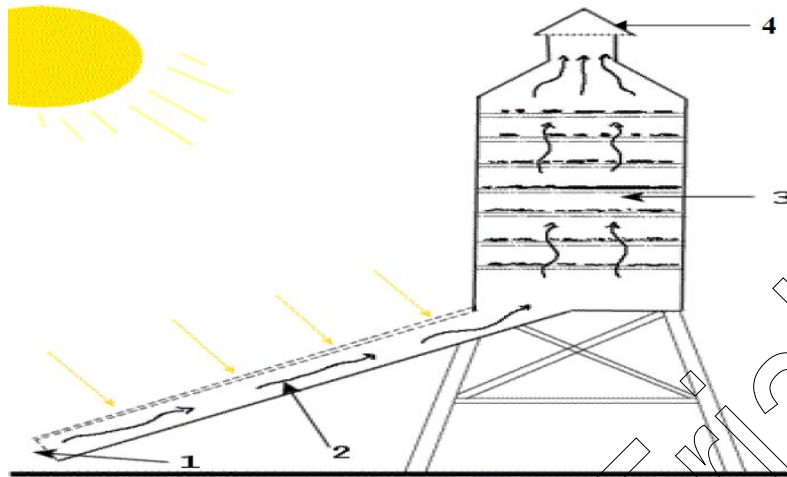


Figure (3.7): Séchoir solaire indirect

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

13.3. Les séchoirs mixtes :

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ces séchoirs, la chaleur nécessaire au séchage est fournie par l'action combinée du rayonnement solaire frappant directement les produits et de l'air préchauffé dans des capteurs. [15]

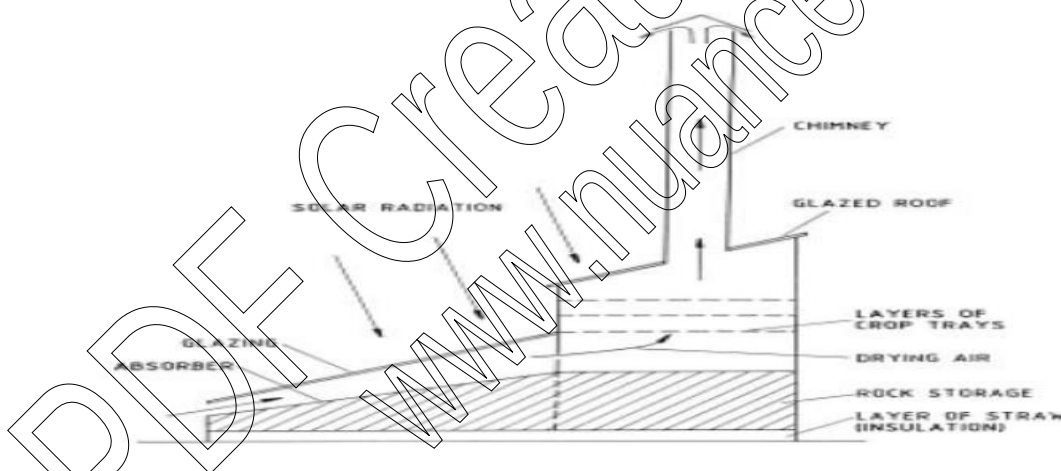


Figure (3.8):Séchoir solaire mixte

13.4- Les séchoirs hybrides : [16]

Ces séchoirs utilisent une énergie d'appoint (fuel, électricité, bois, etc.) pour assurer un niveau élevé de chauffage de l'air ou pour assurer la ventilation.

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.

Avantages

- _ Affranchissement par rapport aux conditions climatiques.
- _ Meilleur contrôle du séchage.
- _ 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.

Inconvénients

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

Chapitre 4 Matériels et méthodes

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents matériels utilisés et la préparation à l'expérimentation.

1- La serre

Pour le travail expérimental on a utilisé une serre fermée avec les dimensions suivantes :

-Largeur 0.905 m -longueur de 1.065 m -hauteur de 0.87131 m

- une surface de 0.963852 m^2 -un volume de 0.5981 m^3

Les matériaux utilisés pour la construction de la serre sont constitués principalement par des barres en aluminium et des plaques de verre, les propriétés de ce dernier sont représenté sur le tableau suivant :

Propriétés	Verre (verre ordinaire)
Épaisseur (mm)	5
Conductivité Thermique (W/m.k)	1,1
Émissivité Thermique (%)	88
Coefficient d'absorption (%)	8
Coefficient de transmissions (%)	92

Les images suivantes représentent des photos prises de la serre réalisée

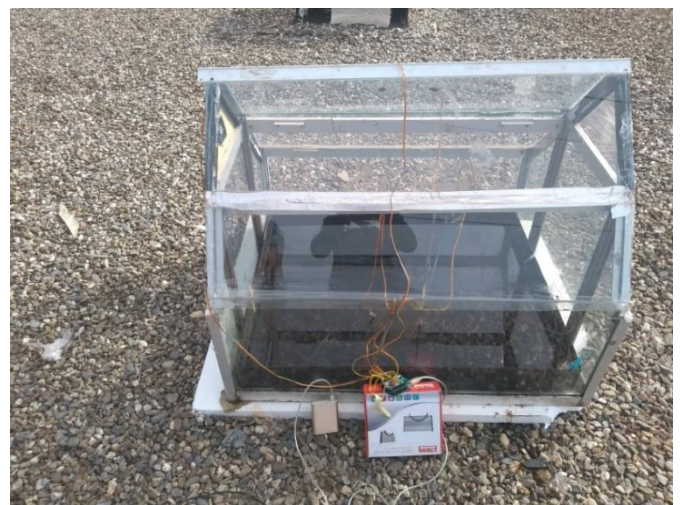


Figure (4.01) Photo de la serre

02-La margine

Les margines de cette étude sont obtenues à partir d'olives de couleur mi-noire. Ces olives sont pressées dans une huilerie automatique selon un processus d'extraction à trois phases. Cette huilerie est située dans la région de MICHELET à 60 km du chef lieu de la Wilaya de TIZI-OUZOU (voir figure 4. 02).

La collecte a été réalisée pendant la période de cueillette hivernale (janvier, février). L'échantillon est introduit dans des bidons en plastique.

Les différentes propriétés des margines :

Propriétés	Margine
Capacité thermique	2.51
Masse volumique kg/m^3	938
Coefficient d'Emissivité	0.9
Coefficient d'absorption	0.8
Coefficient de transmission	0.2
Masse kg	23.3
Voulume m^3	0.0028



Figure (4. 02) Bac de margines

03-Le récipient utilisé

Un récipient ouvert de matériau entièrement en tôle de couleur gris, son épaisseur est de 0.02m de forme rectangulaire, il joue le rôle d'une bassine pour les margines qui sera mis a l'intérieur la serre ses dimensions sont les suivante :

- Longueur 0.97 m -Largeur 0.86 m - Hauteur 0.1m - Surface 0.83 m^2 - Volume 0.083 m^3

04-Extracteur d'air

Appareil servant à extraire l'air humide de la serre actionné par un système motorisé pour notre cas on a utilisé un extracteur d'air d'un micro ordinateur, sa fiche technique est la suivante :

Extracteur	Propriétés
Type	Axial flow fan
Tension nominal (V)	12
Température de fond (°c)	-10 a 70
Poids (g)	60
Vitesse (RPM)	4000/3300/2500
Taille (mm)	60 – 60 – 25
Débit de renouvellement d'air (m^3/s)	0.047



Figure (4.03) : extracteur de l'air

5-Capteur SHT75

Le capteur d'humidité SHT75 est un capteur numérique de température et d'humidité relative en boîtier SIP 4 broches. Ce capteur intègre des éléments de capteur et de traitement de signaux dans un format compact. Il offre une sortie numérique entièrement calibrée. Un élément de capteur capacitif unique est utilisé pour mesurer l'humidité relative tandis que la température est mesurée par un capteur à bande interdite. Du fait de sa taille compacte et de sa faible consommation, le SHT75 constitue le choix idéal pour les applications les plus exigeantes.

- Faible consommation et excellente stabilité à long terme
- Précision de température de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- Temps de réponse d'humidité relative de 8s
- Gamme de température de -40°C à 123.8°C
- Temps de réponse de température de 5s à 30s

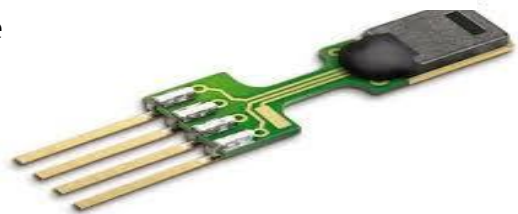


Figure (4.04) : Capteur SHT75

Les données captées de ce capteur sont envoyées et enregistrées sur une carte ARDUINO.

6. Arduino :

Une carte Arduino, comme toutes les cartes à microcontrôleur permet de piloter un système de manière interactive à partir du programme que l'on aura défini et mis dans une mémoire. Dans notre expérience elle gère automatiquement l'enregistrement des températures et de l'humidité relative pris par le capteur chaque de 8 s qui s'enregistre dans une carte mémoire placée sur l'arduino. Les résultats sont obtenus et envoyés sous forme de tableau Excel.

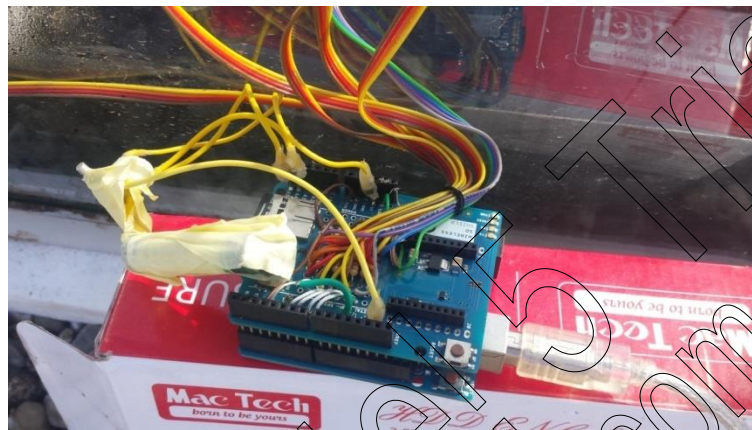


Figure (4.05) Carte Arduino

7-Etuve bactériologique memmert

Fours universels de 749 litres avec une température de $+250^{\circ}\text{C}$, le four couvre une gamme d'applications, idéalement en température. Combinées avec trois classes de contrôleurs soit par convection naturelle ou circulation d'air forcée, il y a une unité de thermo station combinant les dernières technologies avec une fonctionnalité élevée et optimale commodité d'exploitation non seulement pour l'industrie, mais aussi pour la science et la recherche. La distribution dans la chambre est réalisée sans circulation d'air forcée et en utilisant seulement la convection naturelle. Sa fiche technique est la suivante :

Etuve memmert (modèle utilisé)	Propriétés
Largeur du caisson intérieur A (mm)	700
Hauteur du caisson intérieur B (mm)	1040
Profondeur du caisson intérieur (c)	800
Capacité intérieur (litre)	650
Poids (kg)	416
Puissance UNE/UFE/SNE/SFE (watts)	4000
Charge total admissible (kg)	100

Tous les composants essentiels tels que le contrôle, le chauffage et la ventilation sont considérés comme une unité et sont développés en interne. Ce n'est que par l'interaction idéale de la technologie que le matériau dans la chambre peut être chauffé doucement et rapidement et uniformément. L'utilisation d'un chauffage complet sur de grandes surfaces assure un traitement thermique particulièrement doux. En répartissant la puissance de chauffage sur un grand nombre d'éléments chauffants, il est à peine sujet à l'usure et a donc une durée de vie extrêmement longue.

Un concept de ventilation soigneusement conçu pour une distribution optimale de la température à l'intérieur de la chambre, une circulation d'air entraînée par un ventilateur qui peut être contrôlé par pas de 10%. Le bon ajustement de la circulation d'air évite les mouvements d'air indésirables, en particulier lors du séchage de poudre, de sable, de grain ou de produits cosmétiques. La vitesse du ventilateur peut être réduite dans le processus la sécheresse du matériau augmente.

➤ **Les avantages**

- Les éléments chauffants sont protégés et pourtant sont proches de la charge de la chambre
- Pas de corrosion ou de dépôts sur le chauffage éléments.
- Le contact direct entre les ailettes chauffantes et les tablettes coulissantes assurent un excellent transfert de chaleur et donc meilleure température.



Figure 04 .06 photos de l'étuve

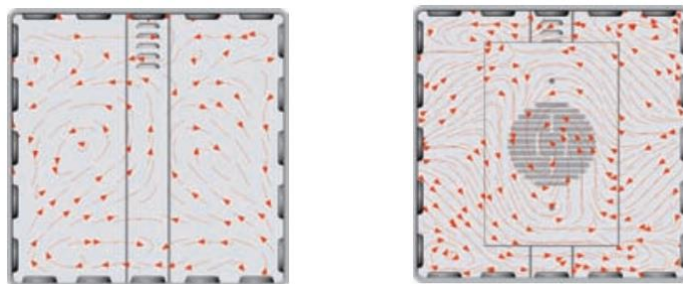


Figure : 4. 07 Image de circulation de la chaleur

8-Réipient utilisé dans l'étuve :

Le réipient utilisé dans l'étuve lors de l'expérience est de forme circulaire sans couvercle et de matière tôle inoxydable, il est représenté sur la figure suivante.



Figure 4.08 réipient de l'étuve

9-La balance

La balance est un instrument de mesure qui sert à évaluer des masses par comparaison avec des « poids », dans le langage courant, ou « masses marquées » dont les masses sont connues. La balance utilisé est une balance de laboratoire (KERN EMS300 -2) avec une performance de pesée très élevée, cette balance professionnelle est idéale pour le pesage de précision de 0.01g jusque a 12kg, elle est utilisée généralement en laboratoire pharmaceutique, cosmétique, etc. Ces caractéristiques sont très avantageuses pour son utilisation.



Figure 4.09 Balance de laboratoire (KERN EMS300 -2)

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents éléments que constitue notre travail expérimental, chaque élément joue un rôle essentiel au bon déroulement des travaux expérimentaux et a l'obtention d'un résultat satisfaisant que nous verront dans chapitre suivant.

Chapitre 5 Partie expérimentale

Sur cette partie on exploite les données théoriques présentés dans les chapitres précédents afin de déterminer la masse d'eau évaporé contenue dans la margine en utilisant l'énergie solaire en premier temps et l'énergie thermique d'une étuve biologique en fonction du temps dans les deux cas.

5.1 Intensité du rayonnement solaire

La figure suivante montre l'évolution du rayonnement solaire durant toute la journée ces valeurs sont obtenues à partir des données du site cder.dz

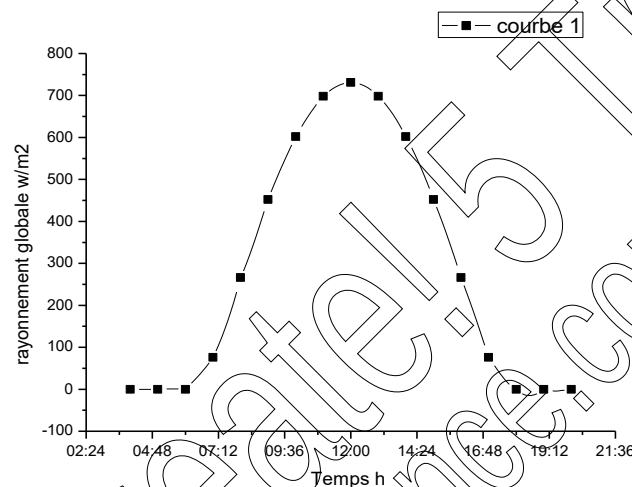


Figure (5.1): Variation du rayonnement solaire théorique (14 octobre 2018)

De la figure ci-dessus on constate que les valeurs du rayonnement augmentent progressivement jusqu'à atteindre la valeur maximale de 731 W/m^2 à 12h, puis elle diminue jusqu'à atteindre une valeur nulle aux environs de 18 h.

De 06h à 18h la valeur moyenne du rayonnement est de 324.7 W/m^2 .

La figure suivante montre l'évolution du rayonnement solaire durant la période du travail.

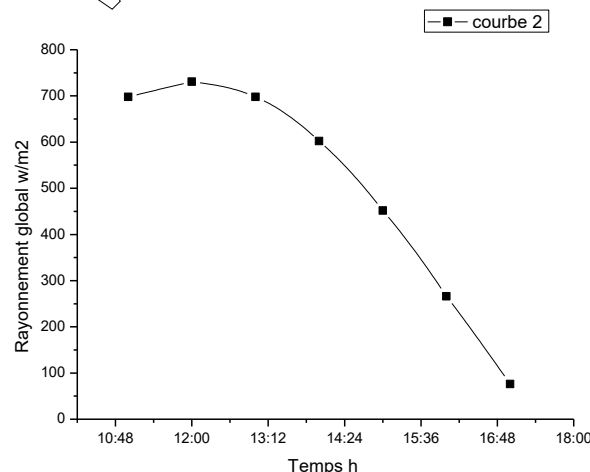


Figure (5.2): Variation du rayonnement solaire théorique (période du travail)

L'expérience débute une heure avant la valeur maximale du rayonnement obtenue précédemment. Cette valeur est maximale à midi solaire.

De midi solaire on constate une diminution du rayonnement jusqu'à atteindre une valeur quasiment nulle à 18 h.

La valeur moyenne du rayonnement durant la période de travail est de 503 W/m^2

– 1^{ère} Expérience

-Séchage solaire sous serre (Oued Aissi ; tizi ousou ; Juillet 2018)

Le but de cette expérience est d'avoir une estimation de la quantité d'eau contenu dans la margine, cette expérience a été réalisée durant la période de forte chaleur où le rayonnement solaire atteint les valeurs maximales.

Durant cette période d'essai la température moyenne en journée est de 32.2°C , la valeur moyenne du rayonnement solaire pour la période de travail était de 807.24 Wh/m^2 .

Le tableau suivant représente les valeurs de la température moyenne pour une journée ainsi que la valeur du rayonnement.

dates	Température moyenne ($^\circ\text{C}$)	Rayonnement moyen (W/m^2)
30 Juin 2018	31	808.33
01 Juillet 2018	31	808.11
02 Juillet 2018	34	807.33
03 Juillet 2018	32	806.55
04 Juillet 2018	33	805.88

Tableau des températures et du rayonnement moyen

Résultat de l'expérience précédente :

Au cours de l'expérience la valeur de la masse évaporé de la margine durant les 5 jours est de 10.5 kg ce qui donne une valeur moyenne de 2.1 kg par journée de travail ce qui fait 0.2625 kg par heure. La journée de travail est de 8 heures du matin à 17 heures du soir.

La masse de la margine évaporé par heure était de 0.2625 kg/h pour une surface de 0.8342 m^2 .

Pour une surface de 1 m^2 et sous les conditions de notre opération on aura une masse de margine évaporé égale à 0.3146 kg/h .

Pour une surface de 100 m^2 avec les mêmes conditions de séchage la masse de margine évaporé sera équivalente a 31.46 kg/h .

- 2^{ème} Expérience
- Séchage solaire sous serre de la margine (UMMTO ; Octobre 2018)

1. Variation de la température des différents éléments du séchoir (serre) :

Les températures des différents éléments du modèle sont successivement représentées sur les figures suivantes.

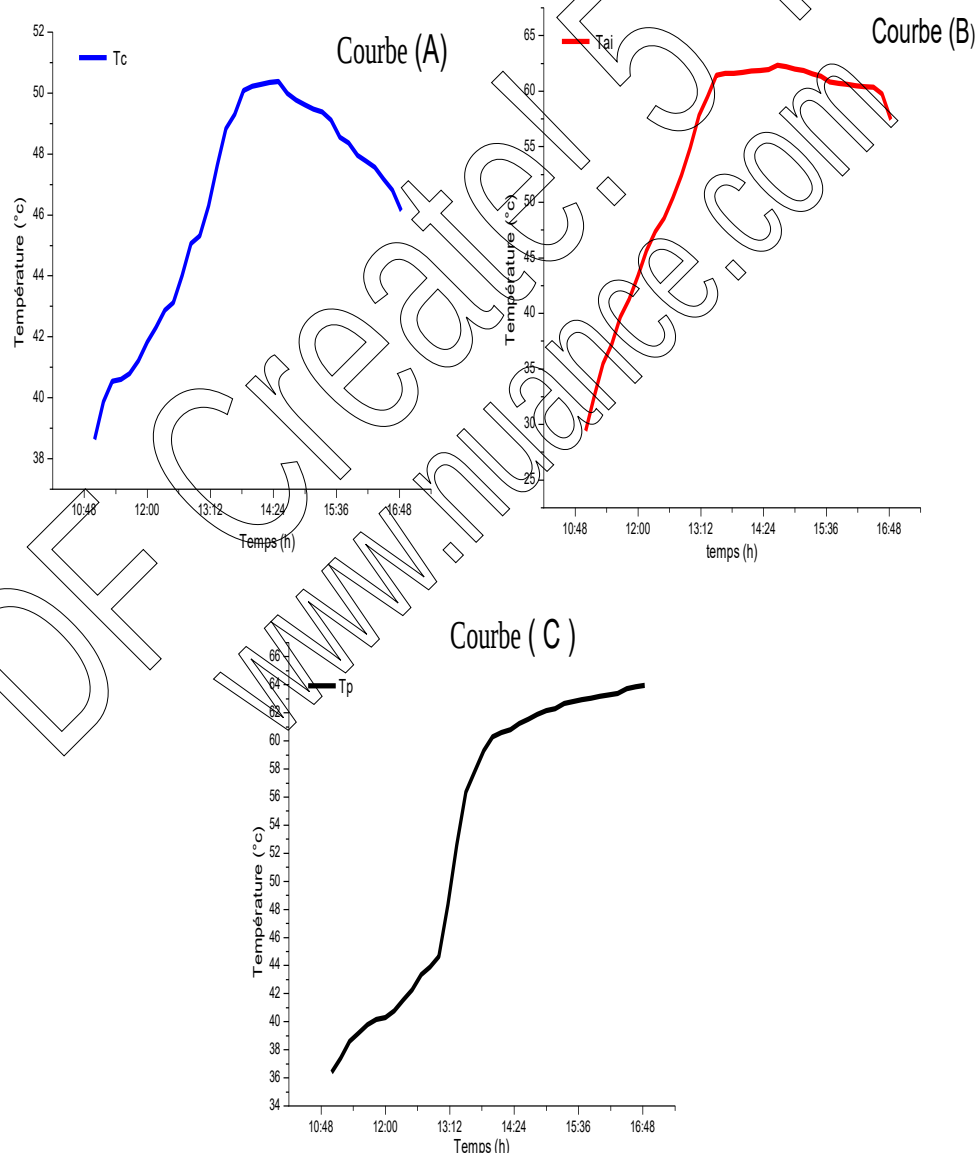


Figure (5.3) : Évolution des températures (T_c, T_{ai}, T_p) de la couverture, de l'air intérieur et du produit (margine) pour la journée du 10 octobre 2018.

La figure suivante représente la superposition des trois graphes

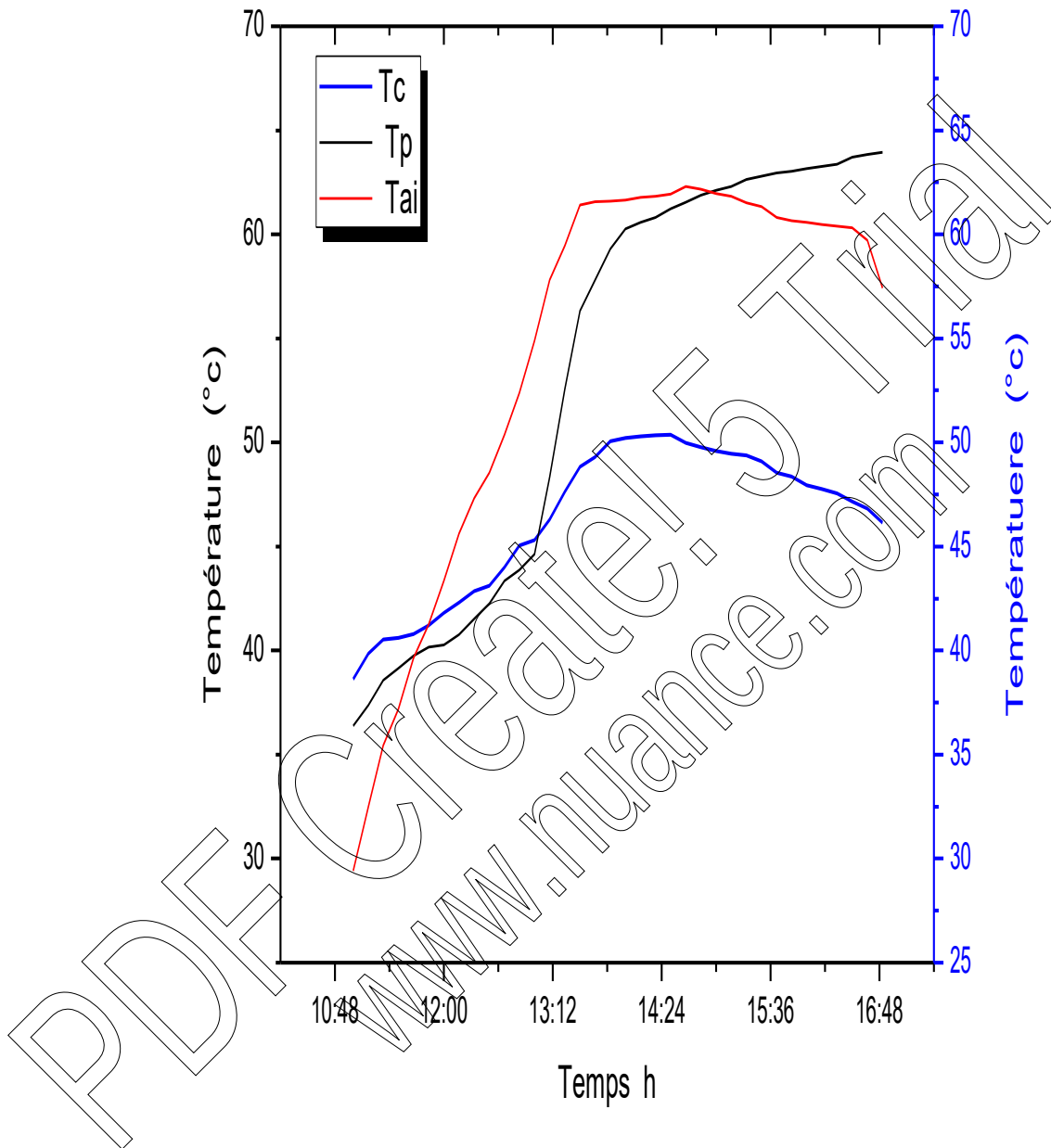


Figure (5.4) : l'évolution de différentes températures de la serre au court du temps de séchage

Évolutions des différentes températures de la serre

Les figures (5.3) et (5. 4) montres que :

-Au départ de l'expérience les valeurs de température (Tc, Tp) sont presque équivalente (solide) tandis que la valeur Tai est inferieur.

Au début de l'expérience on constate l'évolution de la température en fonction du temps les courbes prennent une allure croissante jusqu'à atteindre des valeurs maximales dont les valeurs sont les suivantes :

- $T_c \text{ max} = 50^\circ\text{C}$ à 14h
- $T_{ai} \text{ max} = 62^\circ\text{C}$ à 13h
- $T_p \text{ max} = 65^\circ\text{C}$ à 17h

Au delà des valeurs max on remarque une décroissance des valeurs T_c et T_{ai} tant que la valeur de la température de la margine reste constante.

a -Évolution de la température de La couverture (T_c):

On remarque que la température de la couverture (verre ordinaire) augmente d'une façon permanente au début de l'essai jusqu'à atteindre son maximum (50.38°C) à 13 heure, puis elle diminue faiblement de façon permanente, la valeur prélevée à 17 heure est de 46°C (fin de la journée)

La température de la couverture évolue en fonction de la température extérieure et intérieure de la serre, de l'intensité du rayonnement et aussi du coefficient d'absorptions.

b -Évolution de la température de l'air intérieur (T_{ai}):

On remarque que la température de l'air au début est de 30°C à 11h puis elle augmente de façon permanente jusqu'à atteindre sa valeur maximale de 62°C à 13 heures et 30min puis elle se stabilise à 16h et elle diminue jusqu'à la température de 57°C à 17h.

La température d'air à l'intérieur de la serre évolue en fonction de la température de la couverture, de la température du produit et de l'intensité du rayonnement. Elle joue le rôle d'un transporteur de chaleur soit par convection ou par conduction.

C -Évolution de la température de la surface du produit (T_{sp}) :

Du diagramme, on remarque que la température de la margine au début est de 35°C , la courbe est totalement croissante jusqu'à atteindre la valeur maximale 65°C .

La température de la margine évolue en fonction du rayonnement solaire reçu.

La margine a un taux d'absorption très élevé et elle stocke 80% de l'énergie solaire reçu sur sa surface.

1.2 Variation de l'humidité relative des différents éléments du séchoir serre :

La figure suivante montre l'évolution de l'humidité à l'intérieure de la serre.

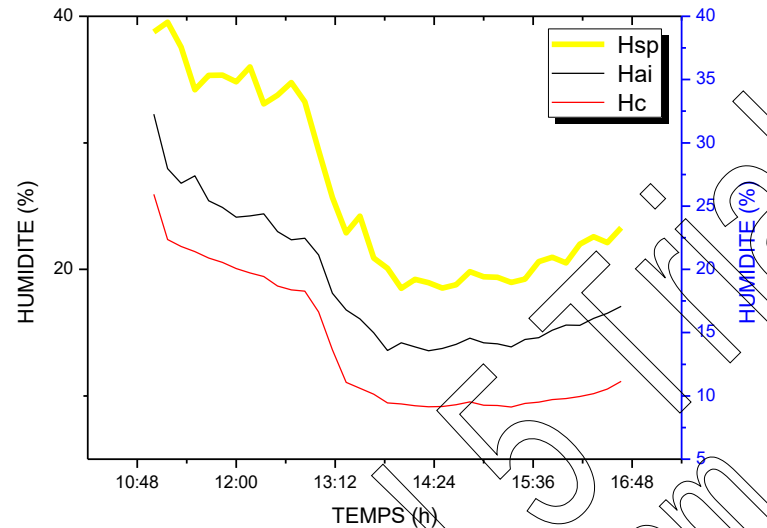


Figure (5.5) : Évolution des Humidités relatives (H_c , H_{ai} , H_{sp}) de la couverture, de l'air intérieur, et de la surface du produit (margine) pour la journée du 10 octobre 2018.

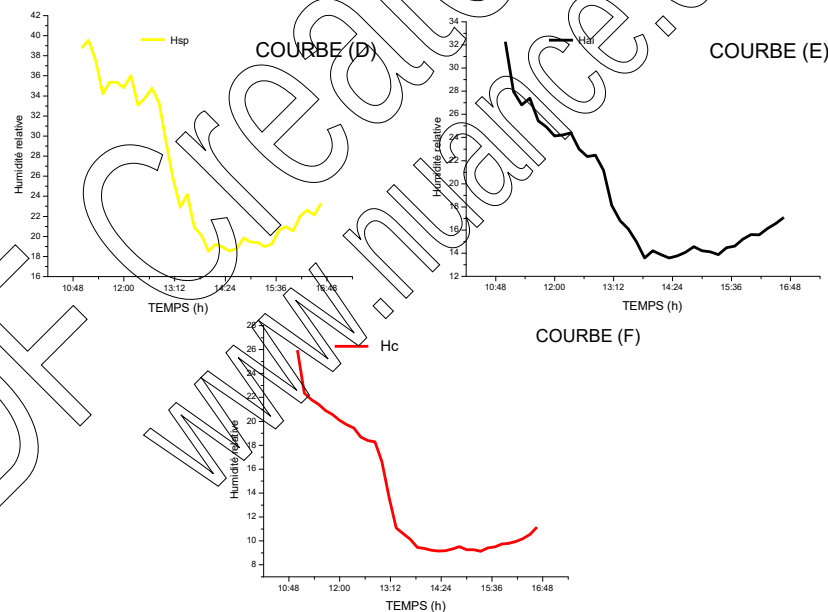


Figure (5.6) : l'évolution de différentes Humidités relatives de la serre au court du temps de séchage

La figure (5.5) et la figure (5.6) montrent que

- Évolution des 03 Humidités relatives

Dans le début de l'expérience les courbes de l'humidité (H_c , H_{sp} et H_{ai}) montrent que les valeurs sont maximales de 39 % pour H_p , 32% pour H_{air} et 26 % H_c .

Puis on remarque que les courbes sont décroissantes jusqu' à atteindre les valeurs minimales à 14h de $H_p=18\%$, $H_{ai}=14\%$ $H_c=9\%$.

On remarque que les courbe sont peu croissante ; quasiment stable jusqu' à 15h30 et de 15h30 à 17h elles prennent une légère pente de +5% pour les 3 humidités.

L'humidité relative varie en fonction de la température à l'intérieur de la serre chaque fois que la température augment l'humidité diminue.

Également on constate qu' à chaque fois qu' on s'éloigne du produit à sécher l'humidité diminue.

1.3 -Bilan thermique (Equation de bilan de le serre)

Le nombre de Biot (Bi)

Le nombre de Biot est un nombre sans dimension utilisé dans les calculs de transfert thermique en phase transitoire.

Il compare les résistances au transfert thermique à l'intérieur et à la surface d'un corps.

On le définit de la manière suivante

$$Bi = \frac{h \times e}{\lambda_b}$$

avec :

- ***h*** - coefficient d'échange convectif
- ***e*** – Epaisseur
- **λ_b** - conductivité thermique du corps

La longueur caractéristique est habituellement définie par le rapport du volume du corps et de la surface de corps

Une valeur du nombre de Biot supérieure à 1 signifie que la conduction de la chaleur à l'intérieur du corps est plus lente qu'à sa surface, et que les gradients de température sont non négligeables au sein du corps.

Si le nombre de Biot d'un système est petit devant 1 (on utilisera souvent $Bi < 0,1$), cela signifie que la résistance interne est négligeable, et donc que la température peut être considérée comme uniforme à l'intérieur du corps.

Corps thermiquement minces

Si le nombre de Biot d'un corps est faible ($Bi < 0,1$), on dit qu'il est thermiquement mince.

C'est la résistance superficielle qui limite l'écoulement de la chaleur. On peut alors utiliser l'approximation de la température uniforme pour étudier l'évolution dans le temps de la température.

- Pour la surface extérieure de la couverture :

$$A.N \ Bi = \frac{9.24 \times 0.005}{1.1} = 0.042$$

$$Bi = 0.042$$

- Pour la surface intérieure de la couverture :

$$A.N \ Bi = \frac{17.1 \times 0.005}{1.1} = 0.077$$

$$Bi = 0.077$$

Dans les deux cas de figure, on a la valeur du nombre de Biot ($bi < 0.1$) (pour les deux faces intérieure et extérieure de la couverture), chose qui nous a permis de prendre une température moyenne de la couverture.

1.3. a - Bilan thermique sur la couverture :

$$C_c \times \frac{dT_c}{dt} = R_g \times \alpha_c (1 + \tau_c \times \rho_p) S_c + \sigma \times \epsilon_c (T_V^4 - T_c^4) S_c + \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{1}{\epsilon_p} - 1} (T_p^4 - T_c^4) S_p + h_{ci} (T_{ai} - T_c) S_c + h_{ce} (T_{ae} - T_c) S_c$$

$$C_c = m_c \times cp_c \quad m_c = (\rho_c \times s_c \times e_s)$$

AN:

$$m_c = 2530 \times 0.005 \times 700$$

$$m_c = 8.3616 \text{ Kg}$$

$$C_c = m_c \times cp_c$$

$$C_c = 8.3616 \times 700$$

$$C_c = 5853.12 \text{ J/k}$$

$$5853.12 \frac{dT_c}{dt} = 503.285 \times 0.08 (1 + 0.92 \times 0.2) 0.661 + 5.67 \times 10^{-8} \times 0.88 (295.47^4 - 312.59^4) 0.661 +$$

$$\frac{5.67 \times 10^{-8}}{\frac{1}{0.88} + \frac{1}{0.9} - 1} (326.48^4 - 312.59^4) 0.8342 + 17.1(33 - 39.59) 0.661 + 9.24(46.78 - 39.59) 0.661$$

$$\frac{dT_c}{dt} = 1.055 \times 10^{-3} \text{ K/s}$$

1.3. b -Bilan thermique sur l'air intérieur :

$$\rho \times V \times C_{p_{ai}} \times \frac{dT_{ai}}{dt} = h_{pi} \times S_p \times (T_p - T_{ai}) + h_{ci} \times S_c \times (T_c - T_{ai}) - \rho \times Q \times C_{p_{at}} (T_{ai} - T_{ae})$$

AN:

$$1.098 \times 0.5981 \times 1005 \times \frac{dT_{ai}}{dt} = 9.03 \times 0.8342 \times (53.48 - 46.78) + 9.24 \times 0.661 \times (39.59 - 46.78) + 1.098 \times 0.047 \times 1005(33 - 46.678)$$

$$\frac{dT_{ai}}{dt} = -0.1071 \text{ K/s}$$

1.3. c-Bilan thermique sur le produit à sécher :

$$m \times C_{p_p} \times \frac{dT_p}{dt} = h_{pi} \times S_p \times (T_{ai} - T_p) + R_g \times S_p \times \alpha_p \times \tau_c +$$

$$\frac{\sigma \times S_p}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} (T_c^4 - T_p^4) - \dot{m} \times L_v$$

AN:

$$23.3 \times 2510 \times \frac{dT_p}{dt} = 9.03 \times 0.8342 \times (46.78 - 53.48) + 503.285 \times 0.8342 \times 0.8 \times 0.92 + \frac{0.8342 \times 5.67 \times 10^{-8}}{\frac{1}{0.88} + \frac{1}{0.9} - 1} (312.59^4 - 326.48^4) - 4 \times 10^{-5} \times 2373.4 \times 10^3$$

$$\frac{dT_p}{dt} = 94.8374 \text{ K/s}$$

Des résultats obtenus on constate que le verre et l'air possèdent un faible stockage de la chaleur contrairement à la margine qui possède une valeur importante par rapport au verre et l'air.

1.3. d- Bilan massique- Débit d'eau évaporée :

La vitesse de séchage ($-\frac{d\bar{X}}{dt}$)

$$Q = M_s \times \left(-\frac{dX}{dt}\right) \times L_v$$

$$\frac{dm}{dt} = M_s \times \left(-\frac{dX}{dt}\right)$$

$$\left(-\frac{dX}{dt}\right)_1 = \frac{S_p}{M_s \times L_v} \left[R_g \times \alpha_p \times \tau_c + h_{CP} \times (T_{ai} - T_h) - \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} \times (T_h^4 - T_c^4) \right]$$

$$0.047 = 3.3368 \times \left(-\frac{dX}{dt}\right) \times 2373.410^3$$

$$\left(-\frac{dX}{dt}\right) = 5.9356 \times 10^{-5} \text{ k/s}$$

$$\frac{dm}{dt} = 3.3368 \times \left(-\frac{dX}{dt}\right)$$

$$\frac{dm}{dt} = 1.9806 \times 10^{-8} \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \left(-\frac{dX}{dt}\right)_1 &= \frac{0.8342}{3.3368 \times 2373.4 \times 10^3} \left[503.285 \times 0.8 \times 0.2 + 11.485 \times (46.78 - 26) \right. \\ &\quad \left. - \frac{5.67 \times 10^{-8}}{\frac{1}{0.88} + \frac{1}{0.9} - 1} \times (299^4 - 312.59^4) \right] \\ \left(-\frac{dX}{dt}\right)_1 &= 3.775 \times 10^{-5} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Résultats de l'évaporation du séchage solaire sous serre de la margine (Bastos ; octobre 2018)

La valeur de la masse évaporé de la margine pendant cette journée est de 0.864 kg par jour.

La masse de la margine évaporé par heure était de 0.144 kg/h pour une surface de 0.8342 m²

Pour une surface de 1 m² et sous les conditions de notre opération on aura une masse de margine évaporé qui est égale 0.172 kg/h.

Donc pour une surface de 100m² avec les mêmes conditions de séchage la masse de margine évaporé sera équivalente à 17.2 kg/h.

- 3^{eme} Expérience : Séchage dans l'étuve

La température de séchage est de 105 °C. La masse initiale de la margine est de 725.8 g.

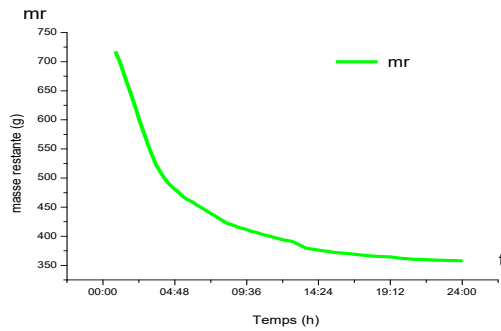


Figure (5.7): Évolution de la masse de la margine durant le temps de séchage

De la courbe on remarque que :

- Le premier quart d'heure la masse de la margine ne change pas par rapport à la masse initial (725.8g) ceci est dû au chauffage de la margine.
- Par la suite on remarque une chute constante de la masse de la margine jusqu'à la 14^{ème} heure et 30 minute de séchage (368g) ceci est dû à la perte de la masse évaporé.
- A la fin entre la 14h30 min et la 20^{ème} heure on observe que la courbe se stabilise, c'est la période de la fin de séchage.

La masse évaporée (me) :

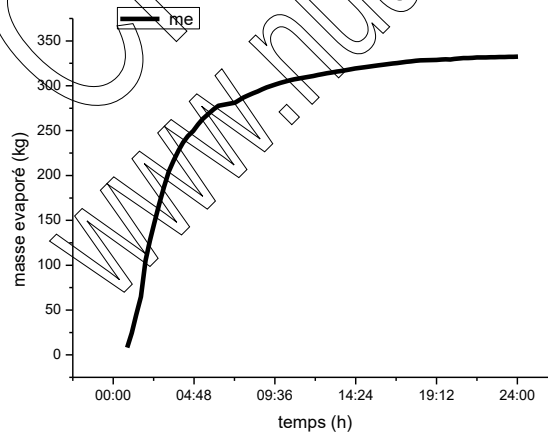


Figure (5.8) : Évolution de la masse évaporée de la margine

De la courbe précédente on remarque

- De zéros heure à 15 minutes : la masse évaporée est très faible ceci est dû à la période de chauffage du produit
- De 15 minute à la 14^{ème} h30m : la masse évaporée est croissante

- A partir de la 14^{ème} h30m : la masse évaporé se stabilise ce qui explique la fin de séchage du produit

Vitesse de séchage

La courbe suivante représente la vitesse de séchage en fonction du temps.

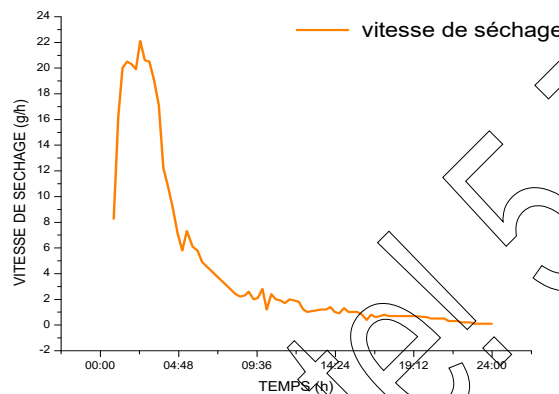


Figure (5.9) : Évolution de la vitesse de séchage la margine

De la courbe de la figure ci-dessus on remarque que :

- A partir du premier quart d'heure (00h15min) à 2h et 15 minutes : la vitesse de séchage augmente de 8,2 g/h jusqu'à une vitesse maximale de 22.1 g/h ce qui signifie l'évaporation de l'eau libre qui se trouve à l'intérieure du récipient.
- De 2 heures et 15 minutes à la 20^{ème} heure : la vitesse de séchage diminue de 22.1g/h jusqu'à 0.4g/h d'une façon permanente, ceci signifie le séchage des eaux adhérent à des surfaces externes du solide.
- De la 20^{ème} heure jusqu' la fin du séchage : la vitesse de séchage se stabilise, ceci est du à la période de fin de séchage.

En comparant les résultats des deux expériences on peut conclure que la vitesse de séchage de l'étuve est plus importante que celle sous l'effet de serre.

A partir des différentes expériences réalisées, on peut conclure que le séchage est plus important dans l'étuve, Ce type de séchage présente un coup non négligeable pour les sociétés de production de l'huile d'olive à l'achat du matériel mais aussi durant son exploitation où la facture électrique sera sans doute très élevée. La solution d'un séchage à effet de serre est moins coûteuse, En contre partie la durée du séchage est plus importante et directement en rapport aux conditions climatiques ou l'énergie est directement exploitée du rayonnement du soleil qui présente une énergie faible pendant la période hivernale. Cette énergie certes est inépuisable, gratuite et non polluante mais nécessite une surface très importante à l'échelle industrielle. Les études à l'avenir peuvent déterminer de nouveaux matériaux de couvertures se rajoutant à la composition de la serre afin d'améliorer la Performance de séchage.

PDF Create! 5
www.nuance.com

Références bibliographiques

- [1] A. Charreau, R. Cavalle, Séchage : Théorie et calculs, Technique de l'ingénieur, J 2480 ,1-23, (1991).
- [2] B. Touati, Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe, Mémoire de Magistère, Centre Universitaire de Bechar, Algérie (2001).
- [3] M. Mogharbi, D. Halassa, Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air, Mémoire de Master, Université de Ouargla, (2006).
- [4] F. Vachet, Séchage dans l'industrie chimique, Technique de l'ingénieur, J 2483, (1-19),(1993).
- [5] J. Castaing-Lavignottes, Air humide : propriétés thermodynamiques, opérations unitaires et technologie associées à son emploi, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, (2003).
- [6] W. L. McCabe, J. C. Smith, et P. Harriott, "Unit operation of chemical engineering ", Hill Book Company (1985).
- [7] D. Schnell ,Technique de séchage, Traduit de l'allemand, GMBH, Eschborn,(1983)
- [8] N. Chalal, Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect, soutenu le 16/12/2007 Université Mentouri- Constantine
- [9] Y. Jannot, Isothermes de sorption : Modèles et détermination, LEPT-ENSAM, (1-5),(2003).
- [10] M. Daguinet, "Les séchoirs solaires : théorie et pratique ", Publication de l'UNESCO, Paris, France (1985).
- [11] A. Mouafki, Modélisation et Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, (2004).
- [12] F. Vachet, Séchage dans l'industrie chimique, Technique de l'ingénieur, J 2483, (1-19),(1993).
- [13] A. Madhlope, S. A. Jones, and J. D. KalengaSaka "A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration ", Renewable Energy, 27 (27 - 37) - (2001).
- [14] P. Dudez, Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés, Edition du Greth, France (1999).
- [15] D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, (2006).

- [16] P. Duzet, Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés, Edition du Greth, France (1999).
- [17] D. R. Pangavhanc, R. L. Sawhcy and P. N. Sarsavadia, "Design, development and performance testing of new natural convection", Energy 27(579-590) (2002).
- [18] A. Haddad, Transfertsthermiques, EditionDar -EI- Djazairia, Alger, (2001).
- [19] B. Eyglunent, "Manuel de thermique : théorie et pratique", Hermes science publication, Paris, France, (1997).
- [20] W. Maake, H. J. Echert, et J. L. Cauchepin, "Manuel technique du froid", Tome I, PYC Edition, Alamand (2001).
- [21] AFEDES, Memosol, mémento d'héliotechnique, Editions Européennes Thermique et Industrie, Paris, 1979.
- [22] Huet R., Celaire R., Bioclimatisme en zone tropicale, La Documentation Française, Paris, 1986.
- [23] Akanbi C.T., Adeyemi R.S., Ojo A., Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices, Journal of food engineering, vol. 73, n°2, pp. 157-163, 2006.
- [24] Bernard R., Menguy G., Schwartz M., Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation, Paris, 1980.
- [25] . Perrin de Brichambaut C., Lamboley G., Le rayonnement au sol et ses mesures, Cahier AFEDES n°1, Editions Européennes Thermique et Industrie, Paris, 1968.
- [26] Chassériaux, Conversion thermique du rayonnement solaire, Dunod, Paris, 1984.
- [27] <http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/servlet/com.jsbsoft.jtf.core.SG> : un ensemble de ressources pédagogiques

Sites Web :

1. <http://www.tecsol.fr/>: Programme de dimensionnement d'un chauffe-eau solaire. sur l'énergie solaire et ses applications dont un programme de calcul de l'ensoleillement solaire
2. <http://www.bpsolar.fr/solaire/index.php> : Fabricant de systèmes photovoltaïques.
- 3 http://www.industrie.gouv.fr/debat_energie/site/pdf/rapport-besson1.pdf : Rapport Besson (Jean) sur l'énergie en France.
4. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>: Site de l'ADEME, agence publique chargée notamment de promouvoir les énergies renouvelables.
5. http://www.systemes-solaires.com/s_accueil.asp : Site de la revue « Systemes solaires » spécialisée dans le domaine des énergies renouvelables.
6. <http://www.fondem.org/>: Site de la Fondation Energies pour le Monde qui réalise des projets d'utilisation des énergies renouvelables dans les pays du Tiers-Monde.