

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergies renouvelables

Thème

**Etude du cinétique de séchages solaire : Gas d'application
pour les produits agro-alimentaire de sud-est du l'Algérie**

Encadreur:

LAOUINI Abdeldjalil.

Présenté par :

-Beggat mouafak hassane

-Dahbi imed

-Chedala ahmed

2020-2021

Dédicaces

À mes chers parents

À qui je dois ce que je suis, à ma mère.

À mon père qui est typique.

Que Dieu les protège pour une longue vie et en bonne santé.

À mes frères.

À mes sœurs.

À mes oncles, tantes et grands-parents.

A mes amis, en particulier les amis de la piste de l'école.

À tous mes amis de mon enfance et de mon école et

Collectionneurs.

Pour tous mes professeurs de l'école primaire à l'Université.

Pour ceux qui croient en moi

Je dédie cet humble travail.

REMERCIEMENT

Je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du mémoire de maîtrise en génie mécanique du département des énergies renouvelables de l'Université Al-Shahid Hama Lakhdar d'Al-oude, où l'expérience a été menée dans l'espace extra-atmosphérique des énergies renouvelables.

Tout d'abord, nous tenons à remercier le **Dr Abdel-Jalil Laouni** pour son encadrement de ce travail.

Nous remercions également tous les professeurs de mécanique et le chef du département pour la qualité de l'enseignement appliqué et expérimental au cours des dernières années

Nous remercions M. Murad Khamsa
pour son aide dans l'installation
et la préparation de l'expérience.

List du figures

Figure1 :Spectres de lumière tombant sur la Terre	2
Figure 2:Répartition spectrale du rayonnement solaire.....	4
Figure 3:Différents composants de rayonnement	5
Figure 4:Un exemple de comment chauffer l'eau avec l'énergie solaire.	7
Figure 5:Services de panneaux solaires.....	8
Figure 6:Représentation schématique d'un solide humide	11
Figure 7:Caractérisation d'un solide humide	12
Figure 8:Hygroscopicité de divers produits.....	14
Figure 9:Isothermes de désorption-adsorption [Yves Jannot, 2008]	16
Figure10:Différentes zones d'une isotherme de sorption [Yves Jannot, 2008]....	17
Figure 11:Courbe de séchage $M=f(t)$	18
Figure :12Courbe de séchage $-dM/dt = f(t)$	18
Figure: 13Courbe de séchage $-dM/dt = f(t)$	18
Figure 15:Pomme de terre	25
Figure 16: poivron rouge	26
Figure 17: Tomate	27
Figure 18: Ananas	28
Figure 19: Pois cassé	29
Figure 20: L'oignon	31
Figure 21: banane	32
Figure 22: schéma descriptive Séchoir solaire parabolique	33
Figure 28: Le réflecteur	34
Figure 23: ventilateur	34
Figure 24: récepteur Les palmes	35
Figure 25: récepteur granit.....	35
Figure 26: récepteur fer	36
Figure 27: Chambre de séchage	36
Figure 28: PYR-1307	37
Figure 29: thermocouples	38
Figure 30: BTM-4208SD.....	38
Figure 31: AM-4205A.....	38
Figure 32: CP214	39

Figure 33:101-0BS	39
Figure 34: Échantillons de pommes de terre	40
Figure 35: Échantillons de pommes de terre à l'intérieur du séchoir	40
Figure 36: Les pommes de terre sont prêtes à sécher	41
Figure 37: Poivron rouge prêt à être séché	42
Figure 38 :La variation de teneur en eau en fonction de temps (de piment rouge)	43
Figure 39: Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire en fonction de temps	44
Figure 40 :Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage en fonction de temps.....	45
Figure 41:La vitesse de séchage en fonction de teneur en eau	47
Figure 42: La variation de teneur en eau en fonction de temps (Pommes de terre)	48
Figure 43 :Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage en fonction de temps	50
Figure 44 La vitesse de séchage en fonction de teneur en eau	52

indice

Introduction générale	
symboles	
Chapitre I : étude bibliographique	1
I-parti 1 : gisement solaire	1
I.1.1-L'énergiesolaire:	1
I.1.2-Le soleil :	1
I.1.3-Caractéristiques du soleil (Analyse-des-pertes-thermiques) :	2
I.1.4-Facteurs affectant le rayonnement solaire tombant à la surface de la Terre:	2
a. L'effet de l'atmosphère:	2
b. La distance entre la terre et le soleil:	3
c. L'angle d'incidence du rayonnement solaire:	3
d. La durée du jour et la rotation de la terre:	3
I.1.5-Le rayonnement solaire :	3
•Rayonnement direct :	5
•Rayonnement diffus :	5
•L'albédo ou Réfléchi :	5
•Rayonnement global :.....	5
I.1.6-Mea surement of Solar radiation:	5
I.1.7-Les formes d'énergie solaire :	6
•Le solaire passif	6
•Le solaire actif	7
•L'électricité solaire :.....	8

Conduction:	Error! Bookmark not defined.
Convection :	10
Radiation :	10
II parti2:les modes et les cinétique de séchage	11
I.2.1-Introduction	11
I.2.2-Séchage	11
I.2.3- Solide humide	12
1. Caractérisation des solides humides	12
2.Hygroscopicité et non hygroscopicité.....	12
3. Teneur en eau.....	14
I.2.4Isotherme de désorption	15
I.2.5Cinétique de séchage	17
1.Courbe de séchage	17
2.Vitesse de séchage	20
3.Mode de séchage.....	20
I.2.6Modèle de séchage	21
I.2.7Conclusion	23
Chapitre II :les produits a séché	24
II.1- Introduction	24
II.2- Les produits à séché	24
II.1.1-Pomme de terre:	24
Définition.....	24
Propriétés.....	25
II.2.2-poivron rouge :	25
Définition.....	25
Propriétés.....	26

II.2.3-Tomate :	26
Définition.....	26
Propriétés	27
II.2.4-Ananas:	28
Définition.....	28
Propriétés.....	28
II.2.5-Pois cassé:	28
Définition.....	29
Propriétés.....	30
II.2.6-onion:	30
Définition.....	30
Propriétés.....	31
II.2.8-banane	31
Définition.....	31
Propriétés	32
Chapitre III: matériel et Méthodes de préparation de produit	33
III.1 -Séchoir solaire assister par concentrateur parabolique	33
1. L'installation Séchoir solaire parabolique	33
III.2-Instrumentations de mesure	37
1.Mesure du rayonnement.....	37
2.Mesure de la température ambiante.....	37
3.Mesure Vitesse du vent	38
4.Mesure le poids.....	38
III.3-Préparation du produit	39
1.four:.....	39
2.Pomme de terre :.....	39

3.menthe:	41
4.poivron rouge:	41
ChapitreVI.Les Résultats et discussions:	43
VI.1-Introduction :	43
VI.2-De piment rouge	43
1. La variation de teneur en eau en fonction de temps.....	43
2 Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire	44
3 Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage	45
4 La vitesse de séchage	47
VI.3.Pommes de terre	48
1. La variation de teneur en eau en fonction de temps.....	48
2 Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire	49
3 Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage	50
4 La vitesse de séchage	52
VI.4.Conclusions	52
Conclusion générale	56

Symboles

h_p : Constante de Planck [$\frac{J}{s}$].

C : vitesse de la lumière dans le vide [$\frac{m}{s}$].

ν : Fréquence [$\frac{1}{s}$].

λ : Longueur d'onde [m].

Mh exprimée en kg d'eau/kg de produit

p_v : pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit (Pa)

p_s : pression partielle de vapeur saturante à la surface du produit (Pa)

D : coefficient de diffusion de l'eau dans le produit ; il est fonction de sa teneur en eau (m^2/s)

M : teneur en eau du produit en base sèche (kg d'eau/ kg de matière sèche)

t : temps (s)

K_g : coefficient de transfert global de matière (s/m)

m_s : masse de matière sèche de produit à sécher (kg)

P_s : pression de vapeur d'eau à la température T de surface du produit (Pa)

P_w : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)

Φ_m : flux de matière (kg/m²s)

De : diffusivité de l'eau dans le produit à sécher (m²/s)

C : concentration volumique de l'eau (kg eau/m³)

m_{prs} : masse du produit à sécher (kg)

S_{fpr} : surface d'échange à travers laquelle s'opère le transfert de vapeur d'eau (m²)

$P_{Sat}(T_{pr})$: pression de vapeur d'eau saturante à la température T_{pr} de la surface du produit pendant la phase de séchage à vitesse constante (Pa)

Introduction générale

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments, où un pourcentage d'eau est éliminé pour préserver les aliments de la détérioration due aux bactéries. Les anciens Égyptiens l'utilisaient il y a plus de 4000 ans et avec le temps, certains matériaux ont été ajoutés pour aider à accélérer le séchage et la conservation de la matière séchée davantage et il a été utilisé en Algérie dans le passé appliqué à plusieurs produits agricoles et certains types de viande de plusieurs manières différentes.

Mais bien que le séchage ait donné une solution, mais après une période d'utilisation, plusieurs défauts sont apparus lors du séchage à l'air libre, par exemple des insectes et des animaux ... ils sabotaient et mangeaient une très grande quantité de matières séchées, et séchaient également en plein air prend beaucoup de temps Très, cependant, il ne fournit pas un pourcentage élevé de séchage, ce qui donne une garantie de conserver les aliments pendant une période plus longue. Cela demande également beaucoup d'efforts et de travail. Par exemple, une des anciennes méthodes du séchage est le séchage sur des pierres de silex, où le matériau à sécher est placé sur le silex et sa position doit être changée à chaque fois pour ne pas être endommagée et cela nécessite un certain nombre de main-d'œuvre et donc un coût plus élevé sans produit de haute qualité, car le produit change de couleur en raison de l'air direct et de la lumière du soleil.

Les inconvénients du séchage à l'air libre au fil du temps ont été une grande motivation pour la mise en place de séchoirs énergétiques fonctionnant à l'électricité, au gaz et au fioul car ces sècheurs peuvent fournir des produits séchés de qualité et le taux de séchage requis, mais ces séchoirs nécessitent beaucoup d'énergie, par exemple les séchoirs électriques consomment excessivement d'électricité, ce qui les rend très coûteux à acheter et à exploiter, car il existe un grand nombre de régions éloignées qui ne disposent pas de suffisamment d'électricité ou de gaz, et donc tout le monde ne peut pas le faire. sécher avec ce type de séchoir, et les sources d'énergie de ces séchoirs ne sont pas permanentes, avec la main-d'œuvre requise pour fabriquer ces appareils.

En raison des défauts de séchage à l'air libre et de séchage énergétique, les scientifiques ont eu recours à un nouveau type de séchage relativement exempt des défauts des types de séchage dans le passé, et ce type de séchage est le séchage solaire car il donne de la qualité et économise du temps et moins de coûts et est disponible dans la plupart des saisons et dans chaque endroit et ne nécessite pas une main-d'œuvre importante et est respectueux de l'environnement.

Parmi les produits agricoles qui ont été utilisés pour le séchage solaire se trouvent les pommes de terre, les tomates et les oignons car ils contiennent de grandes proportions d'eau et c'est ce qui accélère leur détérioration, d'autant plus qu'ils sont produits très gros et c'est ce qui motive les agriculteurs de les stocker après séchage pour les vendre à des saisons absentes et le séchage solaire a donné des résultats très significatifs qui ont motivé le développement et la mise en œuvre de plusieurs études expérimentales dans ce domaine.

Dans ce travail, nous avons créé une étude expérimentale à l'Université Al-Shahid Hama Lakhdar, et ce travail contient:

- 1- étude bibliographique
- 2- les produits a séché
- 3-materiel et Méthodes de préparation de produit
- 4-resultat

Chapitre I : étude bibliographique

I-parti 1 : gisement solaire

I.1.1- L'énergie solaire :

L'énergie solaire présente un certain nombre d'avantages par rapport aux formes d'énergie conventionnelles. C'est: durable, local, gratuit et propre. L'énergie solaire est utilisable pratiquement partout sur la planète. Il ne vous reste plus qu'à le prendre et à en faire bon usage.[1]

I.1.2-Le soleil :

Les applications solaires, telles que le dimensionnement de l'équipement de conversion, nécessitent une connaissance du champ solaire pour une région spécifique. La mesure directe avec des instruments de mesure est le moyen le plus précis. Le soleil est une étoile pseudo-sphérique de 1 391 000 [km] de diamètre. C'est à une distance de 149 598,106 [km] de la terre en moyenne. Il est principalement composé de matières gazeuses, principalement d'hydrogène et d'hélium, et c'est là que les réactions de fusion nucléaire permanentes ont lieu. L'hydrogène a une proportion de 73,46 pour cent, tandis que l'hélium a un pourcentage de 24,85 pour cent. Le reste est composé de composants plus légers. 3.83 watts de puissance rayonnée 1026 [w], qui produit un rayonnement électromagnétique qui se déplace à une vitesse de 217 km / s. Sa température à cœur atteint 15,1. La température chute de 106 [° k] à environ 5770 [° k] lorsqu'elle se déplace vers l'extérieur. (**Figure 1**) .[1]

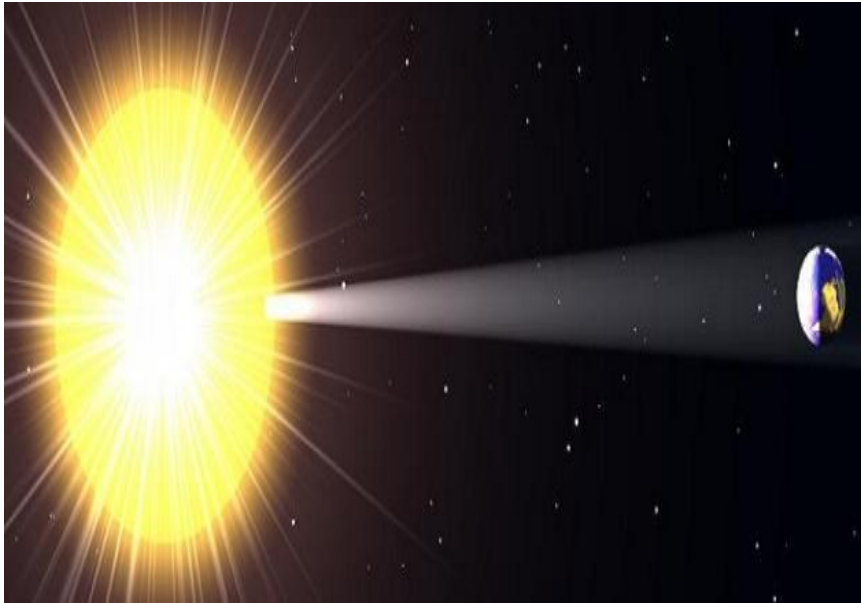


Fig1 :Spectres de lumière tombant sur la Terre

I.1.3-Caractéristiques du soleil (Analyse-des-pertes-thermiques) :

Le soleil est l'étoile solitaire de notre système solaire, et c'est aussi l'étoile la plus proche de nous; sa lumière met environ 8 minutes pour nous atteindre. Proxima de Separation est la deuxième étoile la plus proche. Grâce à cette étoile, le soleil est la seule étoile capable de soutenir la vie sur Terre Au niveau humain, le soleil est essentiel car il est la source de toute vie sur Terre, lui fournissant d'énormes quantités d'énergie qui permet la présence d'eau liquide et la photosynthèse des plantes. Les phénomènes climatiques et météorologiques sont également causés par le rayonnement solaire.

I.1.4-Facteurs affectant le rayonnement solaire tombant à la surface de la Terre:

a. L'effet de l'atmosphère:

Le rôle de l'atmosphère dans la modification du rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne la surface de la terre est compliqué. Lorsque les rayons du soleil atteignent la surface de la terre à une distance d'environ 40 kilomètres, une partie de l'énergie est absorbée dans une bande de zone, tandis que le reste est absorbé et diffusé par une couche de poussière plus élevée, qui est régulièrement reconstituée par des éruptions volcaniques ou galactiques. tempête de sable. [2].

b. La distance entre la terre et le soleil:

La distance entre la terre et le soleil à l'aphélie est égale à 152 x 10⁶ kilomètre et à périhélie égale à 146,2 x 10⁶ km. la distance entre la terre et le soleil varie d'une saison à l'autre selon la rotation de la terre autour du soleil. l'énergie du rayonnement est l'augmentation de l'intervalle aphélie à l'intervalle périhélie de 7 pour cent. La différence de distance Terre-Soleil, en revanche, provoque une fluctuation de 3% du flux extraterrestre. [2].

c. L'angle d'incidence du rayonnement solaire:

Lorsque le rayonnement est incident perpendiculairement à la surface de la terre, la terre reçoit le plus de rayonnement. La quantité de rayonnement diminue à mesure que l'angle d'incidence du rayonnement augmente. De plus, lorsque l'épaisseur de l'atmosphère la traverse, la quantité de rayonnement diminue. [2].

d. La durée du jour et la rotation de la terre:

Le monde a tourné autour du soleil en 365,25 jours et autour de lui-même en 24 heures, produisant des variations saisonnières dues à l'angle incliné de la rotation de l'axe terrestre. La quantité de rayonnement reçue par jour varie avec la durée des jours; par conséquent, la planète reçoit plus de rayonnement les longues journées que les courtes journées. [2].

I.1.5-Le rayonnement solaire :

Le soleil nous délivre de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique avec des ce rayonnement. Sur ce graphique, on peut observer que pour 0,3 m, le rayonnement est minimal, tandis que pour la partie visible du rayonnement, l'absorption par l'atmosphère est minimale pour des valeurs comprises entre 0,3 et 0,7 m [1 2].La lumière peut être considérée comme une onde électromagnétique avec une longueur d'onde ou comme des photons, qui sont des corpuscules avec seulement une énergie E reliée par la connexion suivante(**Figure 2**) [1].

$$E = hp \cdot v = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Avec

h_p : Constante de Planck [$\frac{J}{s}$].

C : vitesse de la lumière dans le vide [$\frac{m}{s}$].

ν : Fréquence [$\frac{1}{s}$].

λ : Longueur d'onde[m].

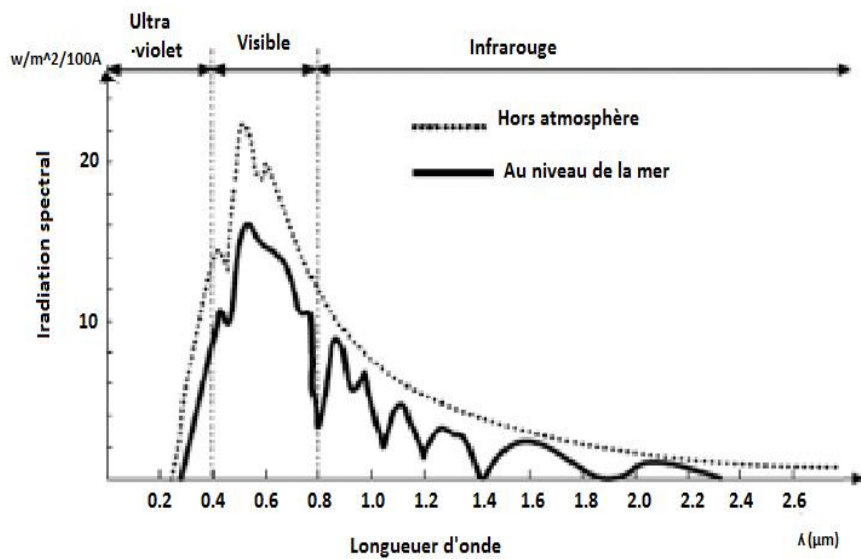


Fig 2: Répartition spectrale du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un type de rayonnement thermique qui se déplace sous forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il produit une irradiation à peu près constante de 1367 w / m^2 , connue sous le nom de constante solaire [1].

Le rayonnement solaire est absorbé et diffusé lorsqu'il se déplace dans l'atmosphère. Il existe différents composants sur le terrain. (**Figure 3**)

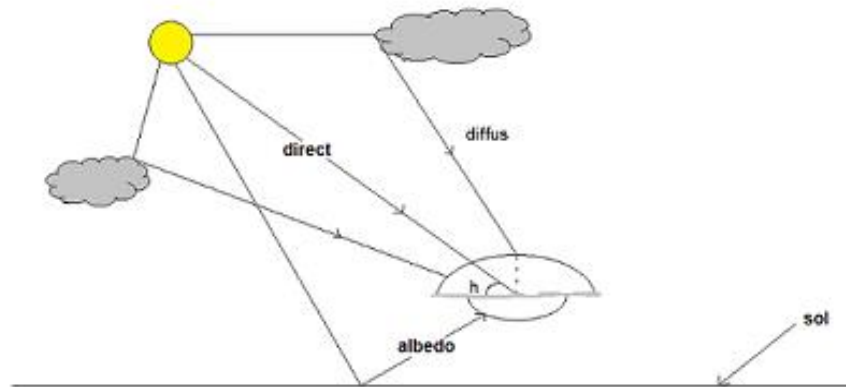


Fig 3: Différents composants de rayonnement

- **Rayonnement direct :**

Le rayonnement obtenu directement du soleil est appelé rayonnement direct. Un "pyrhéliomètre" [1] peut être utilisé pour le mesurer.

- **Rayonnement diffus :**

Un rayonnement diffus émane de tout autour de la voûte céleste [1], à la suite de la diffraction de la lumière par les molécules d'air et de la réfraction par la Terre.

- **L'albédo ou Réfléchi :**

Une obstruction disperse ou reflète un certain pourcentage de rayonnement incident. Le sol et les nuages sont généralement appelés «le sol». Connaître l'albédo nul d'un corps sombre [1].

- **Rayonnement global :**

En conséquence, le rayonnement global du sol est déterminé par la composition et l'épaisseur de l'atmosphère lorsque les rayons lumineux la traversent toute la journée. Il se décompose en deux formes de rayonnement: direct et diffus, et les générateurs solaires utilisent ces deux formes de rayonnement [1].

VI - Mesurement of Solar radiation:

1. Le rayonnement solaire global est mesuré par un instrument appelé (pyromètre). L'instrument a un détecteur thermomobile, constitué de bandes de managanine constantes.

Il a l'avantage d'une sortie de tension facilement mesurable qui est proportionnelle à l'énergie solaire. [2].

2. Le rayonnement solaire diffus est mesuré en utilisant un anneau d'ombrage qui protège ce rayonnement direct et permet uniquement au rayonnement diffus d'atteindre le pyranomètre. [2].

3. Un pyrhéliomètre est utilisé pour mesurer le rayonnement solaire direct. Son capteur est composé de deux bandes métalliques aux extrémités noires. L'un est exposé au soleil, tandis que l'autre est à l'abri du soleil, mais les deux sont connectés par un courant électrique jusqu'à ce que les deux bandes atteignent la même température, à quel point le rayonnement direct est calculé en utilisant la sortie électrique. [2].

I.1.6 - Les formes d'énergie solaire :

Aujourd'hui, nous utilisons trois méthodes et technologies principales pour exploiter l'énergie solaire pour chauffer les maisons, créer de l'eau et produire de l'électricité: l'énergie solaire passive, l'énergie solaire active et l'énergie photovoltaïque. [1].

- **Le solaire passif :**

Le terme «passif» fait référence aux systèmes de captage d'énergie basés sur l'architecture des bâtiments et les matériaux utilisés pour les construire. Le concept de conception solaire passive n'est pas nouveau. Les familles ont peint des réservoirs noirs et les ont exposés au soleil pour chauffer leur eau il y a un siècle. La chaleur a été transportée du métal dans les réservoirs à l'eau, qui a été absorbée par les surfaces noires. Dans les pays chauds, cette pratique est encore utilisée. Les éléments de construction de base d'un bâtiment - murs, toits et fenêtres - sont maintenant utilisés dans l'architecture solaire passive pour contrôler la quantité d'énergie solaire absorbée ou perdue (**Figure 4**) . [1].

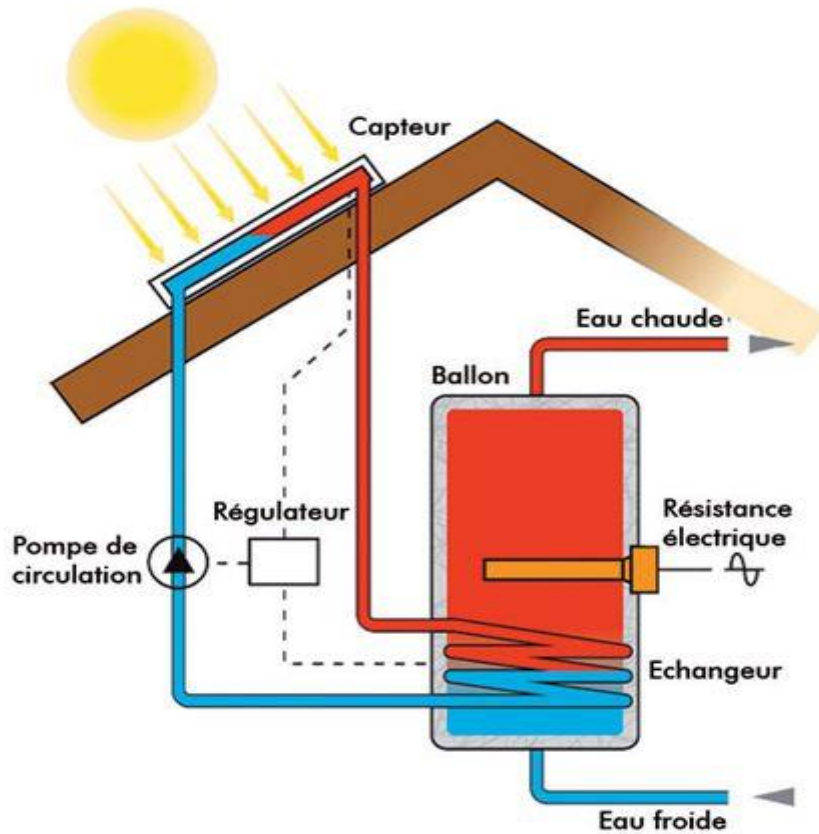


Fig 4:Un exemple de comment chauffer l'eau avec l'énergie solaire.

- **Le solaire actif :**

Les capteurs solaires captent l'énergie solaire et produisent de l'électricité pour alimenter des pompes et des ventilateurs qui font circuler l'eau et l'air chaud, tels que les systèmes de chauffage, dans un système d'énergie solaire active. - l'eau solaire, qui utilise des collecteurs plats vitrés ou sous vide pour chauffer l'eau, les locaux ou pour la ventilation solaire. Un autre exemple est une centrale solaire qui utilise la thermodynamique

(**Figure 5**). [1].

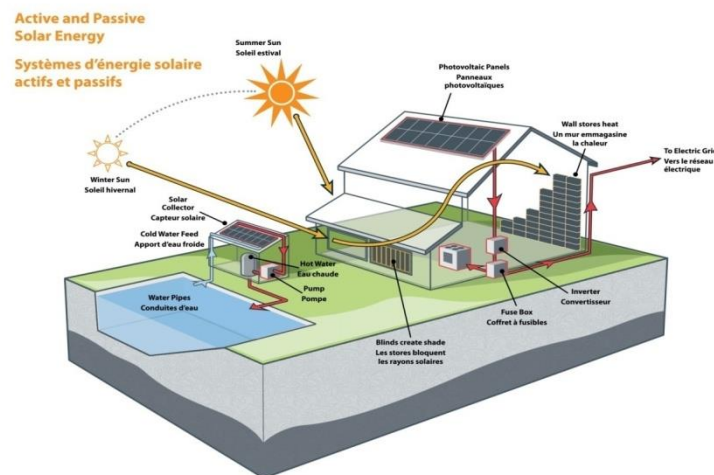


Fig 5: Services de panneaux solaires

- **L'électricité solaire :**

L'énergie solaire est convertie en courant électrique direct grâce au processus photovoltaïque. L'effet fut décrété par le physicien Antoine Becquerel en 1839, mais les vraies cellules photovoltaïques ne furent commercialisées qu'à la fin des années 1950 [1].

1. Le transfert de chaleur:

est le processus du mouvement d'énergie dû à une différence de température. Les calculs qui nous intéressent incluent la détermination des températures finales des matériaux et le temps qu'il faut à ces matériaux pour atteindre ces températures. Cela peut aider à déterminer le niveau d'isolation requis pour garantir que la chaleur d'un système ne soit pas perdue. En règle générale, la perte de chaleur est proportionnelle à un gradient de température (force motrice ou potentiel). [3]

2. chaleur de vaporisation (Energie de liaison) :

La chaleur ou l'énergie de la vaporisation libre de l'eau dépend uniquement de la température à la surface du produit à sécher; cette chaleur est la chaleur de vaporisation de l'eau, qui est fournie par la formule:

$$L_v = 597 - 0,56. (2)$$

Où L_v est mesuré en kilocalories par kilogramme et en degrés Celsius. Lorsqu'un produit absorbe de l'eau, il devient un liquide.

Les molécules d'eau sont liées à la matière avec une énergie donnée inférieure à un seuil d'hydratation particulier (équivalent à la limite entre l'eau «libre» et l'eau osmotique). Lorsque l'eau osmotique absorbée est mélangée chimiquement, la liaison devient encore plus importante. Il est important de donner de l'énergie thermique supplémentaire pour évaporer cette eau lors du séchage. Dans ces circonstances, $L = L_a + L_v$ (3) représente la chaleur totale de vaporisation de l'eau produite. Du fait que la dessiccation s'arrête à un point connu sous le nom d'équilibre et que la chaleur de vaporisation est celle de l'eau dite "libre", la chaleur de liaison de l'eau (L_a) est ignorée lors du séchage. [4]

3.Méthodes de transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur peut être réalisé par conduction, convection ou rayonnement :

Conduction :

La conduction est le transfert de chaleur qui se produit lorsque deux objets entrent en contact étroit sans bouger. Un gradient de température à l'intérieur d'un matériau permet à l'énergie de circuler d'une zone à une autre. Ces gradients peuvent se produire dans les solides, les liquides et les gaz tant que les phases fluides ne se déplacent pas, c'est-à-dire si les fluides ne sont pas bien mélangés. La différence de température diminuerait avec le temps, se rapprochant de l'équilibre thermique (même température). S'il n'y a pas de mouvement en vrac, la conduction se produit dans un solide, un liquide ou un gaz.

On peut voir la conduction au bout d'une tige métallique placée dans un feu qui chauffe d'un bout à l'autre, du café chaud s'échauffant à travers la tasse, ou de la crème glacée refroidissant le bol dans lequel il est placé. rayons ultraviolets, passant à travers la lumière visible qui tombe entre eux, et la quantité d'énergie transportée par le rayonnement dépend de la nature de la surface émettrice et de sa température. Un exemple de transfert de chaleur radiative est le chauffage d'une maison avec un poêle ouvert. Briques chaudes, La chaleur est irradiée directement vers les articles de la pièce par le charbon de bois et le feu, et l'air absorbe très peu de chaleur. [3]

Convection :

Le transfert de chaleur provoqué par le mouvement en vrac des fluides est appelé convection. En conséquence, la convection n'affecte que le transfert de chaleur dans un fluide ou entre un solide et un fluide, pas dans un solide. Le mouvement des molécules dans le fluide permet ce transfert de chaleur. La convection est un concept qui peut faire référence à la fois au transfert de masse et au transfert de chaleur. Si le terme «convection» est utilisé, il se réfère généralement au transfert de chaleur. [3]

Radiation :

Comme l'énergie thermique est convertie par le mouvement des charges d'électrons et de protons dans un matériau, le rayonnement est le transfert d'énergie à travers les ondes électromagnétiques. Lorsqu'un corps rayonne, le rayonnement est émis depuis toute sa profondeur, pas seulement la surface. Un gradient de température n'est pas nécessaire pour le rayonnement. une personne qui se trouve à une distance sécuritaire du Un individu près d'un feu est chauffé par le feu, pas par l'air qui l'entoure, mais il peut encore [3]

4 -Transfert de masse et les différentes étapes de séchage d'un produit humide:

Seule l'eau, l'un des liquides les plus régulièrement évaporés, sera décrite dans le paragraphe suivant. Cependant, les mécanismes qui seront exposés s'appliquent également à d'autres solvants (séchage des peintures par exemple). [4]

5.Transport d'humidité des parties profondes du produit vers sa surface:

La plupart des corps séchés peuvent être imaginés comme constitués d'une matrice continue, probablement interrompue localement, dans le cas d'un solide, par des pores visibles. viennent au premier plan sur la surface de celui-ci. L'humidité peut être trouvée sur la surface extérieure du produit, dans les pores ou même à l'intérieur de la substance (figure 6) La vaporisation de l'eau nécessite un apport d'énergie au produit séché à partir d'une source externe. L'eau migre vers l'atmosphère environnante en même temps. La vitesse à laquelle ce matériau est transféré change au fil du temps. Elle dépend non

seulement des conditions atmosphériques (température, humidité relative et vitesse des gaz en contact avec le produit), mais également de l'existence du solide et de l'eau. [4]

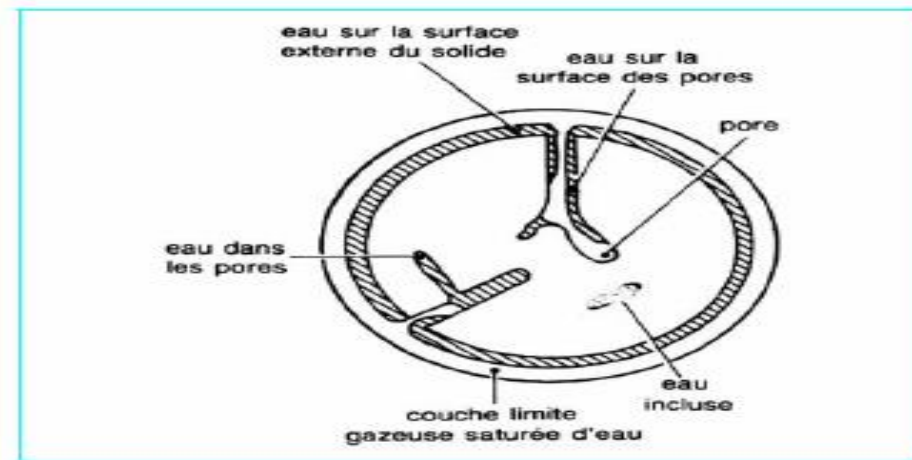


Fig 6:Représentation schématique d'un solide humide

I.parti 2 :les modes et les cinétique de séchage

II.2.1-Introduction

Le séchage est décrit comme une opération qui élimine tout ou partie de l'eau présente dans un matériau. C'est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments. Cette section contient quelques rappels sur les concepts de séchage ainsi qu'une présentation des principaux modèles de séchage.

II.2.2 Séchage

Le séchage thermique par convection est un procédé unitaire qui cherche à extraire l'eau présente dans un produit par évaporation, dans le cas du séchage thermique, pour en faire un produit à faible teneur en eau résiduelle. Il repose sur deux phénomènes:

- en raison du différentiel de température entre le produit et l'air, transfert de chaleur de l'air vers le produit
- un mouvement d'eau du sein du produit à sa surface. Les mécanismes de diffusion répondent à cette transition. La courbe de séchage représente le changement de la teneur en eau du produit au fil du temps. [5]

II.2.3 Solide humide

1. Caractérisation des solides humides

Water takes three types in capillo-porous bodies (Figure 7) :

- free water is kept in the material's framework by Van Der Waals style bonds.
- bound water: it is adsorbent to the material's structure.
- water vapor: it fills areas where liquid water isn't present.

La surface externe d'un solide humidifié est récupérée par un film d'eau flottant librement qui y adhère sous l'action de forces superficielles au bord du film. L'air à proximité est saturé de vapeur d'eau. Cela signifie que la pression partielle de l'eau vaporisée est égale à la pression saturée de l'eau vaporisée. L'eau libre remplit les pores et les capillaires d'un solide humide. Les forces d'adhésion de l'eau à la structure du produit sont liées à des phénomènes de capillarité complexes, dont la résistance augmente à mesure que les dimensions des pores rétrécissent. [5]

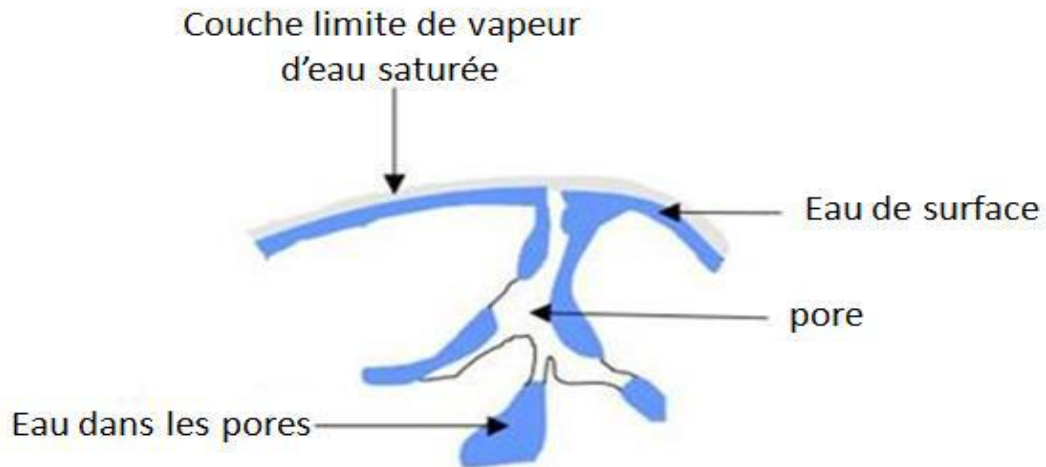


Fig 7:Caractérisation d'un solide humide

2.Hygroscopicité et non hygroscopicité

• Hygroscopicité

Capacité d'un corps à absorber la vapeur d'eau de l'air par adsorption ou absorption. La courbe de séchage indique une première période de séchage à vitesse constante suivie

d'une phase de séchage à vitesse décroissante. Un équilibre se forme entre le transfert de vapeur d'eau entre le produit et l'air de séchage et le transfert de chaleur vers le produit lors de la première étape de séchage. Le film d'eau libre qui recouvre le produit disparaît progressivement jusqu'à ce qu'il est annulé pendant le deuxième processus de séchage. La vitesse de séchage est déterminée par les propriétés des capillaires et la diffusion de l'eau des matériaux.

• **Non Hygroscopicité**

Il existe une teneur en eau limite pour une température et une humidité relative de l'air données, connue sous le nom de teneur en eau d'équilibre du produit avec l'air.

Les corps hygroscopiques ont un comportement similaire aux matériaux non hygroscopiques. Ils ne peuvent cependant pas être complètement séchés. La courbe de séchage indique des zones délimitées par un front d'évaporation lors du processus de séchage final. La zone saturée hygroscopique entre le front d'évaporation et la surface du produit est en équilibre avec de l'air dont la pression partielle de vapeur d'eau est inférieure à la pression de vapeur saturée à la même température que la vapeur d'eau. La teneur en eau est élevée dans la région saturée, située près de la surface du produit.

Un film d'eau adhère au produit et les pores sont suffisamment larges pour permettre une diffusion rapide de l'eau des pores à la surface du produit. L'eau a la pression de vapeur la plus élevée à une température donnée.

Les solides poreux, les gels et les matériaux déshydratés ont une hygroscopicité élevée, tandis que les solides comme l'amiante ont une hygroscopicité très faible (figure 8).

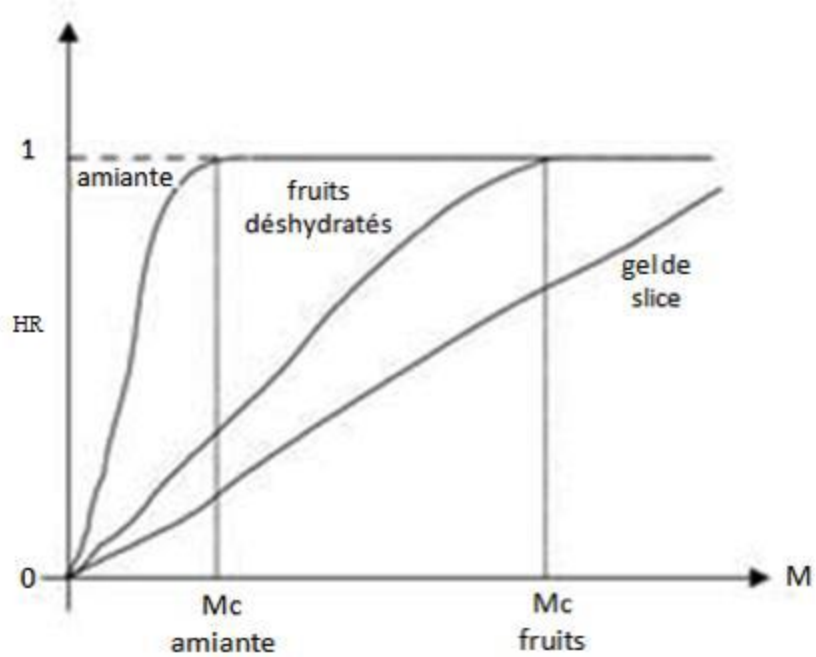


Fig 8:Hygroscopicité de divers produits

La quantité d'eau contenue dans une marchandise et la quantité d'activité de l'eau qu'elle possède sont deux facteurs qui la définissent. Le comportement de l'eau vous informe sur la stabilité physique, électronique, chimique et microbiologique d'un produit.

3. Teneur en eau

La teneur en eau d'un produit peut être exprimée en base sèche (M) ou en base humide (Mh) pour décrire son évolution au cours du séchage.

-La teneur en eau (base sèche) est calculée comme suit:

$$M = \frac{me}{ms} \dots\dots\dots 1$$

M exprimé en kilogrammes d'eau par kilogramme de matière sèche

Teneur en eau (base humide):

$$M_h = \frac{me}{m} \dots\dots\dots 2$$

M_h exprimée en kg d'eau/kg de produit

Lorsque les expressions (1) et (2) sont combinées, le résultat est:

$$M = \frac{M_h}{1-M_h} \text{ et } M_h = \frac{M}{1+M}$$

4-Activité de l'eau

L'activité de l'eau d'un produit est définie, pour une température donnée, par:

$$a_w = \frac{p_v}{p_s}$$

avec

p_v : pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit (Pa)

p_s : pression partielle de vapeur saturante à la surface du produit (Pa)

La valeur d'activité de l'eau varie de 0 (produit sec) à 1 (produit humide) (eau libre).

Le comportement de l'eau est égal à l'humidité relative d'équilibre de l'air (HRE) si la substance est en équilibre hygroscopique avec l'air ambiant:

$$a_w = \frac{p_v}{p_s} = \frac{\text{HRE}(\%)}{100} \text{ HRE: humidité relative à l'équilibre de l'air (\%)}$$

L'activité de l'eau d'un produit alimentaire doit être inférieure à 0,6 pour être transformé.

La moisissure ne peut pas se développer en dessous de ce niveau.

II.2.4-Isotherme de désorption

Les isothermes de désorption et d'adsorption décrivent l'évolution de la teneur en eau d'un produit en fonction de l'humidité relative de l'air dans lequel il est placé à une température donnée.

- Les isothermes d'adsorption sont calculés à partir d'un produit sec hydraté dans le temps.
- Les isothermes de désorption sont obtenus en déshydratant une substance humide au cours du temps.

Le profil des isothermes de sorption et de désorption pour les produits agricoles est similaire (figure 9). Cependant, en raison de l'hystérésis, les valeurs de la teneur en eau d'équilibre M_{eq} lors de l'adsorption varient de celles lors de la désorption pour la même valeur de fonctionnement en eau. En effet, l'équilibre lors de la désorption se forme pour des a_w inférieurs à ceux obtenus lors de l'adsorption pour une teneur en eau donnée. Pour un a_w inférieur à ceux obtenus lors de l'adsorption, il se crée. L'hystérésis est une condition qui n'apparaît que lorsque a_w est supérieur à 0,2.

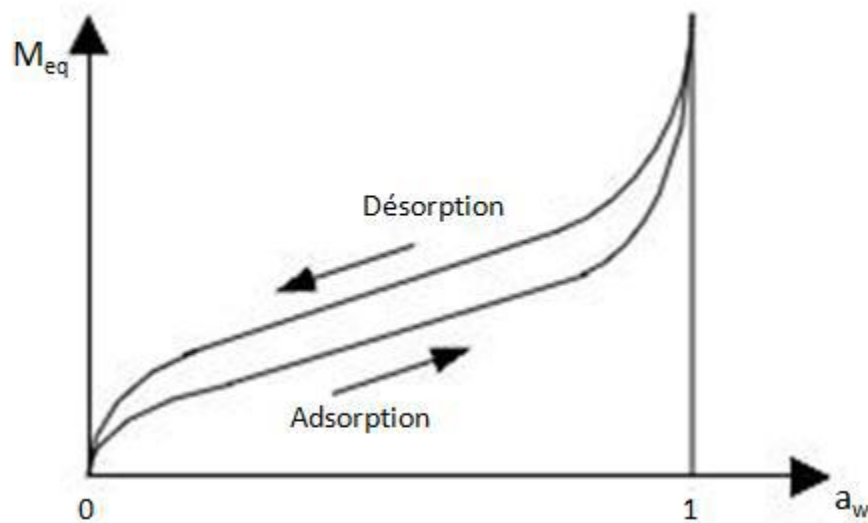


Fig 9: Isothermes de désorption-adsorption [Yves Jannot, 2008]

Les isothermes d'adsorption et de désorption ont généralement trois régions (figure 10). [Lomauro et al. 1985, Andrade et coll. 2001] Chaque zone correspond à une méthode de liaison de l'eau au produit.

- Zone 1 (0 a_w 0,2): Dans cette zone, les forces de style Van der Waals appliquent une monocouche d'eau sur les pores du produit. Il se réfère à la présence d'eau liée sous la forme d'une monocouche moléculaire attachée à la structure du produit. Lorsque tous les pores sont saturés d'eau, le processus passe à la région suivante.
- Zone 2 (0,2 a_w 0,6): Cette zone représente l'adsorption de la molécule d'eau sur la monocouche d'eau libre. L'isotherme a une forme linéaire.

- La zone 3 ($a_w > 0,6$) fait référence à la présence d'eau libre. Dans les pores de la substance, l'eau est présente à l'état liquide.

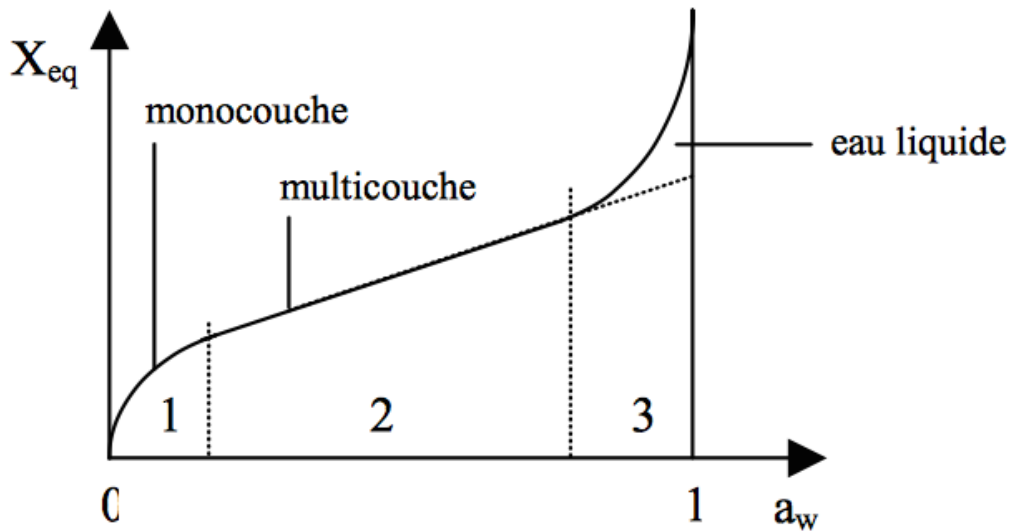


Fig10: Différentes zones d'une isotherme de sorption [Yves Jannot, 2008]

II.2.5- Cinétique de séchage

[Daguenet 1985] Each product has its own drying kinetics. There is no single model of drying kinetics due to the complexity of the processes involved in drying and the diversity of the products. Experiments are often used to decide the drying kinetics for each product.

1. Courbe de séchage

L'évolution de la teneur en eau du produit au cours du temps est décrite par des courbes de séchage. Sur la (figure 11), une courbe expérimentale illustrant la perte de poids d'un produit en fonction du temps est représentée :

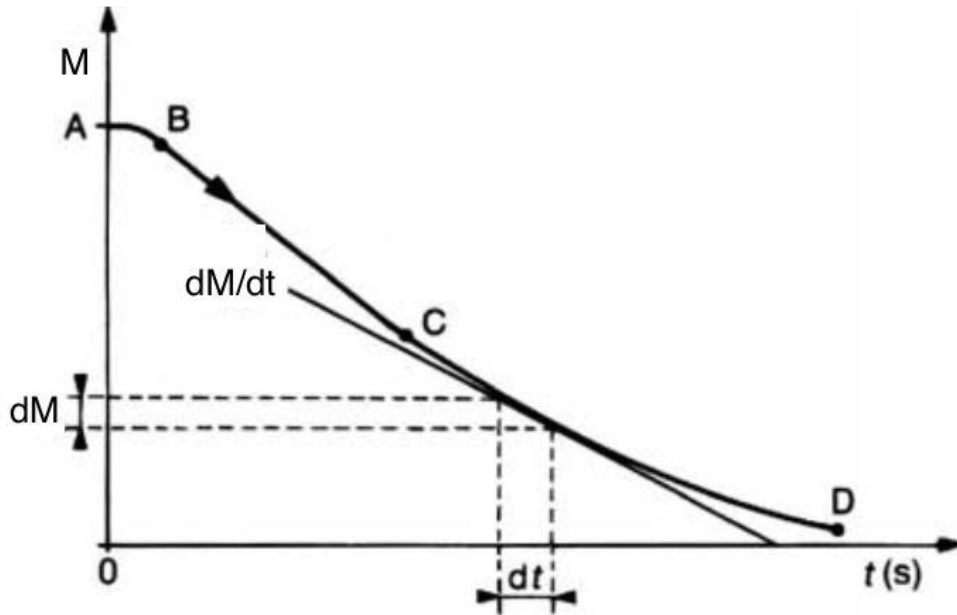


Fig 11: Courbe de séchage $M=f(t)$

La courbe de la figure I-5 peut être transformée et interprétée par les courbes des figures 6 et 7:

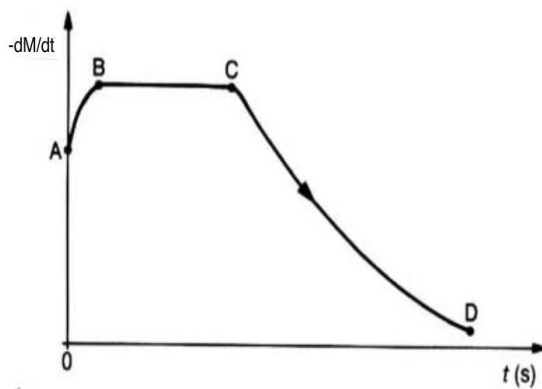


Figure 13 Courbe de séchage $-dM/dt = f(t)$

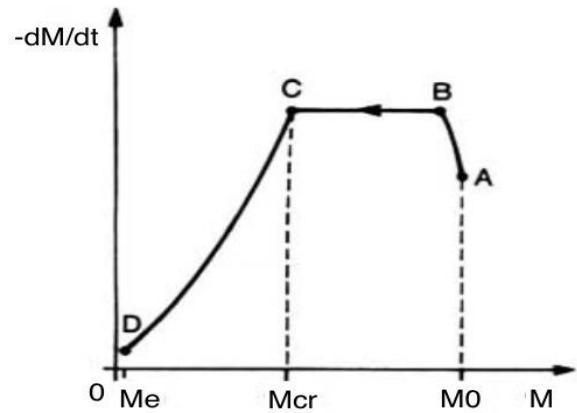


Figure 12 Courbe de séchage $-dM/dt = f(t)$

Les figures 12 et 13 illustrent trois phases distinctes:

- un procédé dans lequel le produit à sécher est chauffé (AB),
- Le processus dans lequel la vitesse de séchage reste constante (BC),
- un processus dans lequel la vitesse de séchage ralentit (CD).

• **Phase de mise en température du produit à sécher (AB) :**

Pendant cette phase, la quantité de chaleur apportée au produit contribue à faire passer sa température de surface à celle de l'évaporation de l'eau libre. La période de préchauffage est généralement courte par rapport au temps de séchage global et n'apparaît que si l'écart de température entre l'air et celui du produit est important

• **Phase à vitesse de séchage constante (BC) :**

.Au cours de ce processus, la surface du produit est saturée d'eau. Les lois de diffusion contrôlent la diffusion de l'eau libre du sein du produit vers sa surface. Ce processus est comparable à l'évaporation liquide, où le taux d'évaporation est uniquement déterminé par des facteurs externes tels que l'humidité, la température sèche et la vitesse de l'air. La nature de la substance, en revanche, n'a aucun effet, mais sa viscosité a un effet sur le débit d'eau évaporée \dot{m}_e , comme décrit par [Daguenet 1985]:

$$\dot{m}_{e=} - m_{prs} \frac{dM}{dt} = k_m S_{fpr} (p_{sat}(T_{Pr}) - P_v(T_{fs}))$$

avec :

m_{prs} : masse du produit à sécher (kg)

S_{fpr} : surface d'échange à travers laquelle s'opère le transfert de vapeur d'eau (m²)

$P_{Sat}(T_{pr})$: pression de vapeur d'eau saturante à la température T_{pr} de la surface du produit pendant la phase de séchage à vitesse constante (Pa)

$P_v(T_{fs})$: pression partielle de vapeur d'eau dans l'air à la température T_{fs} (Pa)

K_m : coefficient global de transfert de matière (s/m)

Tant que le taux de transfert d'eau du sein du produit à sa surface est plus rapide que le taux moyen d'évaporation, cette étape peut être observée. Avec la teneur en eau du produit, la durée de ce processus diminue.

• **Phase à vitesse de séchage décroissante (CD) :**

La difficulté de la migration de l'eau de l'intérieur du produit vers sa surface entraîne un ralentissement de la vitesse de séchage. Au cours de ce processus, le transfert d'eau du

sein du produit à sa surface est insuffisant pour maintenir intact le film d'eau du produit. En conséquence, la pression de vapeur de l'eau à la surface du produit diminue. La différence entre cette pression et la pression de vapeur d'eau de l'air de séchage diminue, abaissant la vitesse de séchage.

Au cours de ce processus, la migration de l'eau du sein du produit vers sa surface suit la deuxième loi de Fick:

$$\vec{\Phi}_m = -D_e \vec{\text{grad } C}$$

nous avons :

Φ_m : flux de matière (kg/m²s)

D_e : diffusivité de l'eau dans le produit à sécher (m²/s)

C : concentration volumique de l'eau (kg eau/m³)

2. Vitesse de séchage

À partir des courbes de séchage, la vitesse de séchage peut être calculée. La définition suivante a été utilisée par Krisher [Krisher et Kröll, 1963] pour décrire cette quantité:

avec:

M : teneur en eau en base sèche (kg d'eau/kg de matière sèche)

K_g : coefficient de transfert global de matière (s/m)

m_s : masse de matière sèche de produit à sécher (kg)

P_s : pression de vapeur d'eau à la température T de surface du produit (Pa)

P_w : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)

3. Mode de séchage

La répartition des produits à sécher conduit à deux modèles de séchage :

- **Séchage en couche épaisse**

Ceci est vrai pour le séchage des fourrages et céréales (céréales, café, etc.) soumis à convection forcée ou naturelle. Un courant d'air chaud traverse des produits qui ont été

assimilés à un milieu poreux. Les équations de transfert de chaleur et de masse dans un milieu poreux humide sont utilisées pour modéliser le séchage.

- **Séchage en couche mince**

Les produits à sécher forment une couche de quelques centimètres d'épaisseur, et l'air de séchage circule parallèlement ou perpendiculairement aux produits à sécher, en convection forcée ou naturelle. En général, les équations de transfert de chaleur sont dérivées des bilans thermique et massique définis au niveau du produit et de l'air de séchage.

II.2.6-Modèle de séchage

Les courbes de séchage sont modélisées en déterminant une équation de séchage caractéristique de la forme: $MR = f. (t)$. Des relations empiriques ou semi-empiriques entre la teneur réduite en eau du produit (MR) et le temps sont utilisées pour modéliser les courbes de cinétique de séchage (t). Des constantes dérivées de courbes de séchage expérimentales sont utilisées pour établir ces relations. Le tableau 2 montre quelques modèles de cinétique pour le séchage dans une petite zone.

Les modèles empiriques, les modèles diffusifs et les modèles dérivés des bilans de chaleur et de masse pendant le séchage sont les trois types de modèles de séchage.

1.Modèles empiriques

Ces modèles, dérivés d'expériences, sont propres au produit et aux conditions de test (tableau I-2). En conséquence, leurs applications sont limitées. La méthode analytique étant dépendante de la spécificité du produit à sécher et des conditions expérimentales de séchage [Simal et al. 2005], ce n'est pas très utile.

2.Modèles diffusifs

Ils sont basés sur la loi de Fick.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla(-D\nabla M)$$

avec

D : coefficient de diffusion de l'eau dans le produit ; il est fonction de sa teneur en eau (m²/s)

M : teneur en eau du produit en base sèche (kg d'eau/ kg de matière sèche)

t : temps (s)

Lewis (1921) a proposé un modèle de diffusion basé sur la loi de similitude de Newton:

$$\frac{dM}{dt} = -K(M - M_e)$$

L'intégration de cette équation conduit à l'expression suivante :

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt)$$

3. Courbe caractéristique de séchage (CCS)

Van Meel a proposé l'idée de la courbe de séchage caractéristique (CCS) en 1958 [Van Meel 1958]. Il est basé sur des résultats expérimentaux utilisés pour modéliser la vitesse de séchage. Le concept de la courbe caractéristique de séchage est de condenser toutes les données expérimentales dans un format facilement compréhensible. Le procédé consiste à tracer le rapport entre la vitesse de séchage ($-dM / dt$) et la vitesse du premier pas ($-dM / dt$) en fonction de la teneur en eau réduite (MR)

$$\frac{-\frac{dM}{dT}}{\left(-\frac{dM}{dT}\right)} = f(MR)$$

avec MR :

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_0 - M_e}$$

La teneur en eau à l'équilibre correspond à la valeur de la teneur en eau du produit pour laquelle il est en équilibre dans un milieu fluide maintenu à une température et une hygrométrie données.

La première phase peut être déterminée théoriquement ou déduite de la courbe expérimentale

II.2.7- Conclusion

Le séchage convectif fait appel à deux phénomènes importants : le transfert de chaleur de l'air vers le produit et le transfert de l'eau du sein du produit vers sa surface. La complexité du processus de séchage nécessite l'utilisation de modèles souvent empiriques basés sur la courbe de séchage obtenue expérimentalement.

La modélisation du séchage peut être décrite par les modèles de séchage et la courbe caractéristique de séchage (CCS) qui exploite les résultats expérimentaux et permet d'étudier le comportement du produit dans un séchoir. La CCS est très utilisée pour la modélisation et la simulation du fonctionnement des séchoirs.

Chapitre II : les produits à séché

II.1- Introduction

Les nutriments sont des substances contenant des extraits nécessaires au corps humain. Le corps humain étant incapable de fabriquer ces produits, le corps les décompose et les consomme par le sang, qui les transporte ensuite vers les cellules du corps. - l'aliment sert un objectif distinct, et ils travaillent tous ensemble pour vous garder en bonne santé.

II.2-Les produits à séché

II.2.1-Pomme de terre:

Définition

L'histoire de la pomme de terre a commencé il y a 8000 ans dans les régions montagneuses de la côte ouest de l'Amérique du Sud (Chili et Pérou) et est cultivée dans des zones d'altitude d'environ 2000 et 3500, et les peuples de ces régions (Andes) dépendaient autrefois de la pomme de terre. pour leur nourriture comme principale source de nourriture, avant que les Européens ne découvrent les Amériques, à la fin du XVe siècle après JC (Homes et al., 1985). Burton (1989) a mentionné qu'il est possible que la pomme de terre soit entrée en Espagne vers l'année 1856 après JC et se soit ensuite répandue dans le reste des pays européens. Il est à noter que la pomme de terre a été introduite en Algérie au XVIe siècle. La culture de la pomme de terre s'est maintenant répandue en Algérie dans les régions du centre (Boumerdes et Bouira) à l'ouest (Mascara, Ain Defla, Ain Temouchent, Mostaganem et Sidi Bel Abbas (Est), Umm El Bouaghi, Guelma et Skikda) dans le sud (ouad souf). Les premiers signes d'une tentative de plantation de pommes de terre dans la vallée ont débuté en 1995-1997 sous la tutelle de la Direction de l'agriculture en coopération avec les instituts spécialisés agriculture. [1] (*Fig 14*)

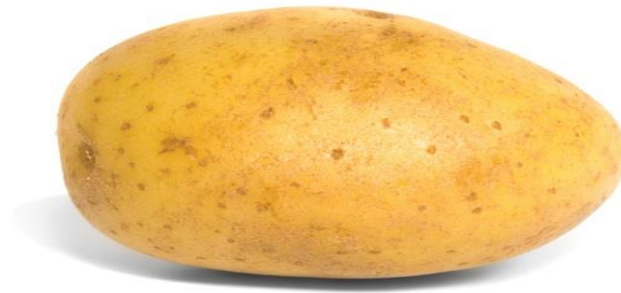


Fig 15:Pomme de terre

Propriétés [2]

Teneur en eau initiale	75 %
Teneur en eau initiale	13%
Température maximale	70
Rapport de séchage	1/7

II.2.2-poivron rouge :

Définition

Dans les pays subtropicaux et tropicaux, un nom comme le piment rouge (*Capsicum annum*L.) N'est pas familier avec le sujet et était autrefois un cours de cuisine obligatoire. C'est un aliment de base de toutes les cuisines en raison de sa haute valeur nutritive. Le piment rouge de Malaisie s'est révélé extrêmement nutritif, avec des niveaux élevés de vitamine C (175 mg / 100 g), de calcium (15 mg / 100 g), de fibres (4,8 pour cent) et de protéines (2,8 pour cent), montre les concentrations de fer (1,8 mg / 100 g), de cendres (0,9 mg / 100 g) et de lipides (0,7 mg / 100 g). Le piment rouge est utilisé non seulement pour améliorer la saveur des aliments, mais aussi parce qu'il a été démontré dans une variété d'études comme étant extrêmement bénéfique pour la santé humaine Le piment rouge est également riche en antioxydants, ainsi qu'en vitamines A et C, en minéraux et en d'autres composés photochimiques, qui sont tous des nutriments

essentiels dans l'alimentation humaine. Il a été confirmé que plusieurs variétés de piment rouge (*Capsicum annuum*) contiennent des nutriments. [3] (*Fig 16*)



Figure 15 poivron rouge

Propriétés [3]

Teneur en eau initiale	80 %
Teneur en eau finale	10%
Température maximale	60
Rapport de séchage	1/8

II.2.3-Tomate :

Définition

La tomate est une plante cultivée dans le but d'obtenir ses fruits juteux lisses et généralement ronds. Le mot tomate est utilisé à la fois pour le fruit et la plante, et les fruits ont un léger goût amer. Il existe plus de 4000 variétés, et le plant de tomate a une forte odeur et il y a de petits poils sur les tiges de la plante, et le plant de tomate se propage pendant la croissance et produit des grappes de petites fleurs jaunes, et les fleurs forment des fruits mûrs à l'intérieur une période de 40 à 75 jours selon la variété. Les tomates sont vertes au début, mais la plupart deviennent rouges, oranges ou jaunes en mûrissant..

Les tomates poussent bien dans des terres fertiles chaudes et bien drainées et dans des zones exposées à la lumière directe du soleil pendant au moins 6 heures par jour. Et les tomates sont l'une des cultures préférées pour la culture dans les jardins familiaux, car elles peuvent être cultivées dans presque tous les types de terres, en plus de donner une grande récolte d'une superficie relativement petite. La plupart des variétés produisent de 4,5 à 7 kg de fruits par plante, et la variété pandruza peut produire des fruits dont le poids peut atteindre plus de 1,4 kg..

Et les botanistes classent les tomates comme un fruit, mais la plupart des gens les considèrent comme des légumes, les tomates fraîches sont mangées sans cuisson ou cuites et sont généralement utilisées dans la fabrication de salades et d'autres plats, et les tomates sont une source majeure de vitamines A et C et certains sels minéraux. [4] (Fig 17)



Figure 18: Tomate

Propriétés [2]

Teneur en eau initiale	96 %
Teneur en eau finale	10%
Température maximale	65
Rapport de séchage	1/10

II.2.4-Ananas :

Définition

L'ananas est un fruit bien connu dans le monde entier. La bromé laine, un mélange d'enzymes que l'on trouve dans les ananas, a été décrite comme un remède contre l'inflammation et l'indigestion par les scientifiques. La bromé laine facilite la digestion des protéines. Cependant, les produits à base d'ananas sont fabriqués en petites quantités dans de nombreux pays développés. L'équilibre entre la production et la consommation alimentaires est le problème le plus pressant de l'humanité. La meilleure façon de réduire le gaspillage alimentaire est de le préserver. Pendant des années, les gens ont séché leurs vêtements [5] (Fig 17)



Figure17: Ananas

Propriétés [5]

Teneur en eau initiale	80 %
Teneur en eau finale	10%
Température maximale	65

II.2.5-Pois cassé:

Définition

Le pois (*Pisum sativum* L.) est l'une des légumineuses les plus cultivées en Inde. Il fait partie de la famille des Fabacées et se classe parmi les dix premières cultures maraîchères. Les pois sont cultivés en Inde pendant les saisons d'hiver et d'été, et chaque gousse de pois contient de nombreuses graines vertes ou jaunes. Le fruit est une gousse standard avec quatre à neuf graines à l'intérieur. Ils ont longtemps été utilisés dans l'alimentation humaine car ils sont une bonne source de protéines, de vitamines, de minéraux et d'autres nutriments, en plus d'être faibles en calories, riches en fibres, et sans cholestérol. La production et la superficie de pois verts en Inde sont estimées à 5,46 millions d'hectares et 5,45 millions de tonnes, respectivement. L'Uttar Pradesh, le Punjab, l'Himachal Pradesh, l'Orissa, le Karnataka et l'Haryana, entre autres, sont les principaux États producteurs de pois. Les pois doivent être mis en conserve, congelés ou séchés pour être disponibles pour une consommation ultérieure en raison de leur nature saisonnière et périssable (Pardeshi et al., 2009; Shukla et al., 2014). Les abondances régionales, ainsi que la périssabilité des pois verts, qui est essentielle dans l'alimentation humaine, la préservation devient une nécessité (Lin et al., 2005). [8] (*Fig 18*)



Figure 18: Pois cassé

Propriétés [7]

Teneur en eau initiale	80 %
Teneur en eau initiale	5%
Température maximale	65
Rapport de séchage	1/7

II.2.6-onion:

Définition

L'oignon (*Allium cepa*) est une plante semi-annuelle cultivée pour ses bulbes et ses feuilles sous irrigation. Selon le cultivar, le cycle végétatif de la culture peut durer de 120 à 160 jours. Lorsque la plante est complètement mature, elle produit des bulbes sphériques ou plats violets ou blancs. Il est extrêmement probable que certaines des formes les plus anciennes d'oignons aient été cultivées en Égypte depuis 2700 avant JC. Ils sont originaires d'Asie centrale. (Van der Meer, 1986; Takhholm, 1954) En Inde, les oignons sont également une ancienne culture . Les oignons ont été introduits en Europe centrale et septentrionale par les Romains. Les oignons ont été introduits pour la première fois en Russie au XIIe siècle, mais ils n'ont été introduits sur le continent américain qu'en 1492. (Halent, 1990). Les marchands arabes, selon le même récit, seront responsables de l'arrivée de l'oignon en Afrique noire. De grandes régions d'*Allium cepa* se trouvent désormais pratiquement partout sur la planète. Les agriculteurs subissent des pertes importantes en raison de la disponibilité de la récolte, ce qui les conduit à la sécher, à la stocker et à la vendre pendant les autres saisons lorsque la récolte est rare. [9] (*Fig 19*)



Figure 19: L'oignon

Propriétés [7]

Teneur en eau initiale	80 %
Teneur en eau initiale	4%
Température maximale	55
Rapport de séchage	1/10

II.2.7-banane**Définition**

La banane est le fruit ou la baie produit par la fleur du bananier. Les bananes sont des fruits stériles qui ont été domestiqués. Les graines ne se trouvent que dans les fruits des bananes sauvages et dans quelques types locaux. Les bananes sont généralement de couleur jaune avec des taches brunes lorsqu'elles sont mûres et vertes lorsqu'elles ne le sont pas. Les bananes sont un aliment de base dans plusieurs régions du monde. (*Fig 20*)



Figure 19: banane

Propriétés [2]

Teneur en eau initiale	70 %
Teneur en eau finale	15%
Température maximale	70
Rapport de séchage	1/6

Chapitre III: matériel et Méthodes de préparation de produit

III.1-Séchoir solaire assister par concentrateur parabolique

III.1.1-L'installation Séchoir solaire parabolique

Ce type de séchoir se compose principalement d'un réflecteur solaire concave circulaire qui contient un récepteur dans lequel les rayons se rassemblent et un tube qui relie le collecteur à la salle de séchage comme le montre la (Fig 21)

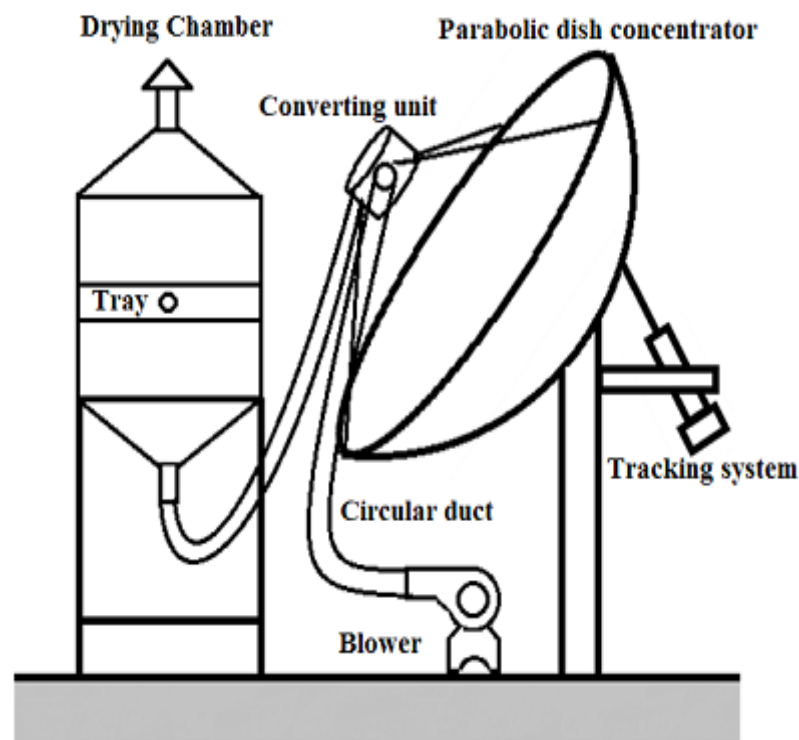


Figure 21: schéma descriptive Séchoir solaire parabolique

III.1.2- Ingrédients Séchoir solaire parabolique

1.Capteur solaire

Le capteur solaire parabolique est un miroir qui focalise les rayons du soleil sur un point de convergence appelé point focal, situé dans le récepteur et qui ressemble à des antennes paraboliques figure 22. Pour profiter pleinement de la lumière du soleil, la parabole s'oppose au mouvement. La température dans le foyer peut atteindre 960 ° C, mais les produits séchés n'ont pas besoin de températures élevées pour produire des résultats optimaux. [1]



Figure 22: Le réflecteur

2. ventilateur

C'est une pièce qui permet un flux d'air forcé du poêle vers la salle de séchage Rapidement 2.5 m/s figure 23.



Figure 20: ventilateur

3. Le récepteur

Le métal récepteur doit avoir une bonne conductivité, nous avons donc choisi le fer avec une conductivité thermique de 80 watts par kilomètre carré, qui est un tube d'un diamètre extérieur de 17 cm et d'une longueur de 15 cm, et de deux trous, un pour l'air et le autre pour l'air chaud. Nous avons utilisé trois types de récepteurs différents. D'après nos observations[1]:

a. Un avenir avec des palmes, c'est-à-dire complètement fermé avec un vide à l'intérieur. figure 24



Figure 24: récepteur Les palmes

b. L'avenir a été équipé d'un remplissage de pierre de mer. Figure 25



Figure 25: récepteur granit

c. L'avenir était bourré de petits bouts de fil de fer. figure 26



Figure 26: récepteur fer

4. Chambre de séchage

La chambre de séchage est une armoire dans laquelle les articles sont stockés et séchés. Il est en contreplaqué de 50 cm³ (Fig.27). L'air humide récupéré des aliments séchés est éjecté par une cheminée au bout de cette pièce. [1]



Figure 27: Chambre de séchage

2-Instrumentations de mesure

III.2.1-Mesure du rayonnement

Pendant les processus de séchage, le rayonnement solaire incident sur le condensateur à plaques équivalent a été suivi toutes les demi-heures à l'aide d'un thermomètre. (model: PYR-1307 solar power meter, accuracy $\pm 1 \text{ W/m}^2$), placed near the solar dryer on a clear . fig28



Figure 28: PYR-1307

III.2.2-Mesure de la température ambiante

champ non ombragé. Des thermocouples de type K (figure 29) (modèle BTM-4208SD(figure 30), précision de $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) ont été positionnés à divers endroits du système de séchage, à savoir l'unité de conversion, l'entrée et la sortie de la chambre de séchage, et à l'extérieur du système de séchage pour température ambiante. La température de séchage à l'air dans le sécheur réalisé a été choisie afin de maintenir la température à l'intérieur de la chambre de séchage entre $40 \text{ }^\circ\text{C}$ et $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Les sorties du pyranomètre et des thermocouples de type K ont été connectées à un système d'acquisition de données (BTM-4208SD) pour une surveillance continue.



Figure 29: thermocouples



Figure 21: BTM-4208SD

III.2.3-Mesure Vitesse du vent

La vitesse de l'air a été mesurée pour les échantillons dans la chambre de séchage en utilisant un anémomètre (modèle AM-4205A, précision: $\pm 0,2$ m / s). (figure 31)



Figure 31: AM-4205A

III.2.4-Mesure le poids

Une balance numérique (CP214, OHAUS, précision $\pm 0,1$ mg) a été placée près de la chambre de séchage. Il permet de déterminer le poids d'un échantillon en fonction du temps à prélever. (figure32)



Figure 32: CP214

3-Préparation du produit

III.3.1-four:

Une étuve de séchage est un appareil qui contient une chambre dont la température peut dépasser 300 ° C. Il permet de sécher l'échantillon en permanence pour connaître le pourcentage d'eau qu'il contient. (figure 12)



Figure33:101-0BS

III.3.2-Pomme de terre :

a.Préparation du produit pour vérifier le pourcentage d'eau qu'il contient:

* Laver les pommes de terre pour enlever la poussière et le sable sur leur surface.

- * Épluchez les pommes de terre et coupez-les dans un mouvement circulaire.
- * Mettre des morceaux de poids égal dans 6 pots. Fig34

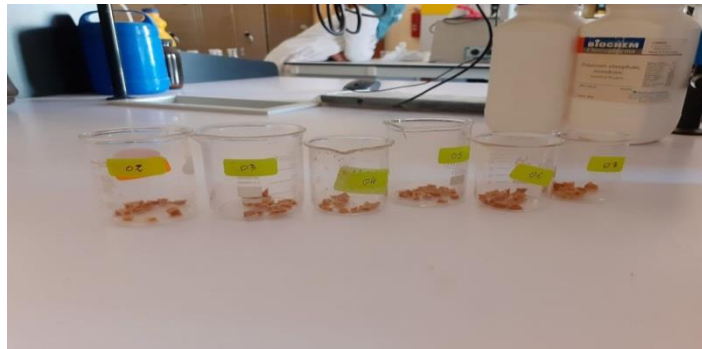


Figure 34: Échantillons de pommes de terre

- * Mettez les pots au four sous la température de 105 C pendant 24 heures.fig35



Figure 35: Échantillons de pommes de terre à l'intérieur du séchoir

b.Préparation du produit pour le séchage:

- * Après avoir préparé les pommes de terre, nous mettons un poids de 300 g et un poids de 40 g comme échantillon pour étude à l'intérieur de la salle de séchage ou à l'extérieur selon l'étude d'utilisation. (figure 36)



Figure 36: Les pommes de terre sont prêtes à sécher

III.3.3-menthe:

a.Préparation du produit pour vérifier le pourcentage d'eau qu'il contient:

* La menthe est placée sous forme de petites brindilles avec ses feuilles.

b. Préparation du produit pour le séchage:

Nous mettons un poids de 10 g comme échantillon pour étude et un poids de 30 g comme échantillon total.

III.3.4-poivron rouge:

a.Préparation du produit pour vérifier le pourcentage d'eau qu'il contient:

* Couper le poivron en deux avec le brin

b.Préparation du produit pour le séchage:

*Après préparation, nous mettons un poids de 30 g comme échantillon et un poids de 300 g pour l'étude. Fig37



Figure 37: Poivron rouge prêt à être séché

VI. Les Résultats et discussions :

VI.1-Introduction :

Dans ce chapitre nous parlerons à quelque résultats concernant par discussion les courbes suivants: (pour le séchage de chaque produit)

La variation de teneur en eau en fonction de temps.

Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire en fonction de temps pour les journées expérimental de séchage.

Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage.

La vitesse de séchage en fonction de teneur en eau.

VI.2-De piment rouge

1.La variation de teneur en eau en fonction de temps

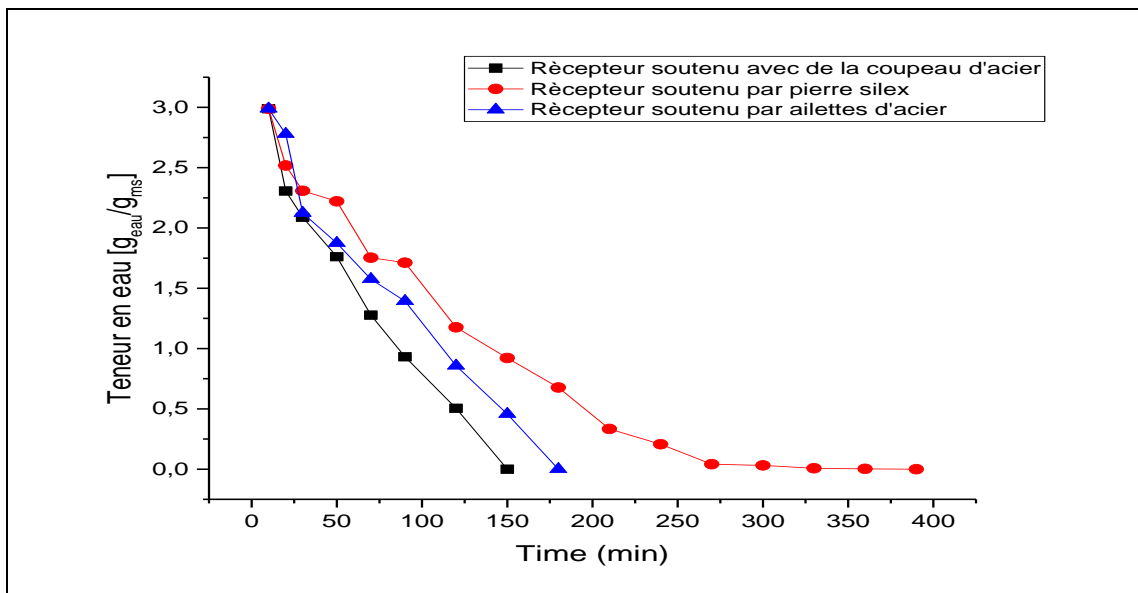


Figure 38 :La variation de teneur en eau en fonction de temps (de piment rouge)

Notre Figure IV.1 représente le pourcentage d'eau dans le poivre de Cayenne et le contenu du récepteur utilisé lors du séchage, on remarque le récepteur qui contient de la coupeau d'acier sécher plus rapidement que celui qui contient des pierres silex et des ailettes d'acier de là nous concluons que de la coupeau d'acier est plus rapide et meilleure que les autres matériaux utilisés.

2. Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire

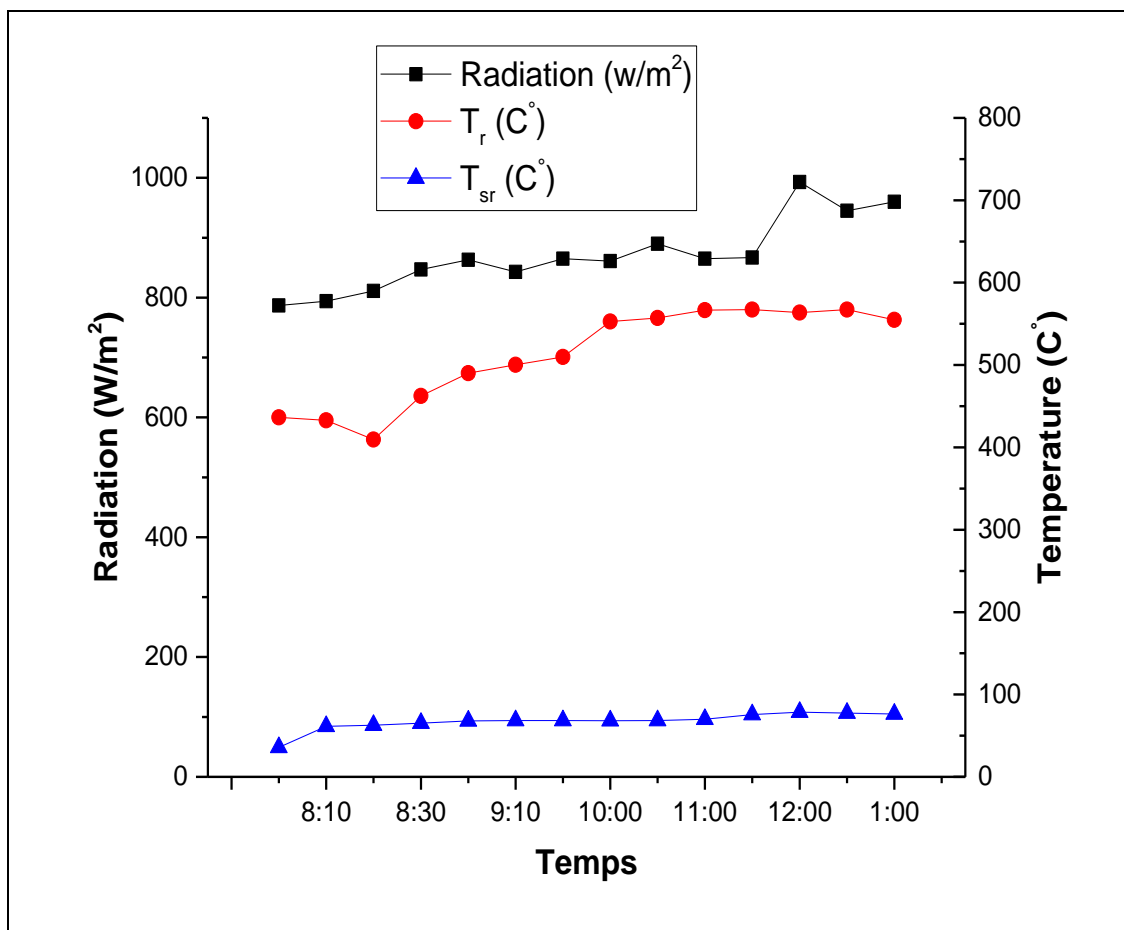


Figure 39: Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire en fonction de temps

L'atmosphère de ce jour était propice à l'expérience car la chaleur polarisée du soleil vers le récepteur était excellente, car elle a donné de bons résultats, car la température du capteur a atteint un maximum de 780 C° et un minimum de 563C°

Le rayonnement solaire avait atteint un maximum de 993 C° et un minimum de 787 C°

La température à la sortie du récepteur était excellente par rapport aux autres jours, atteignant un maximum de 105 C° et un minimum de 49,3C°

3. Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage

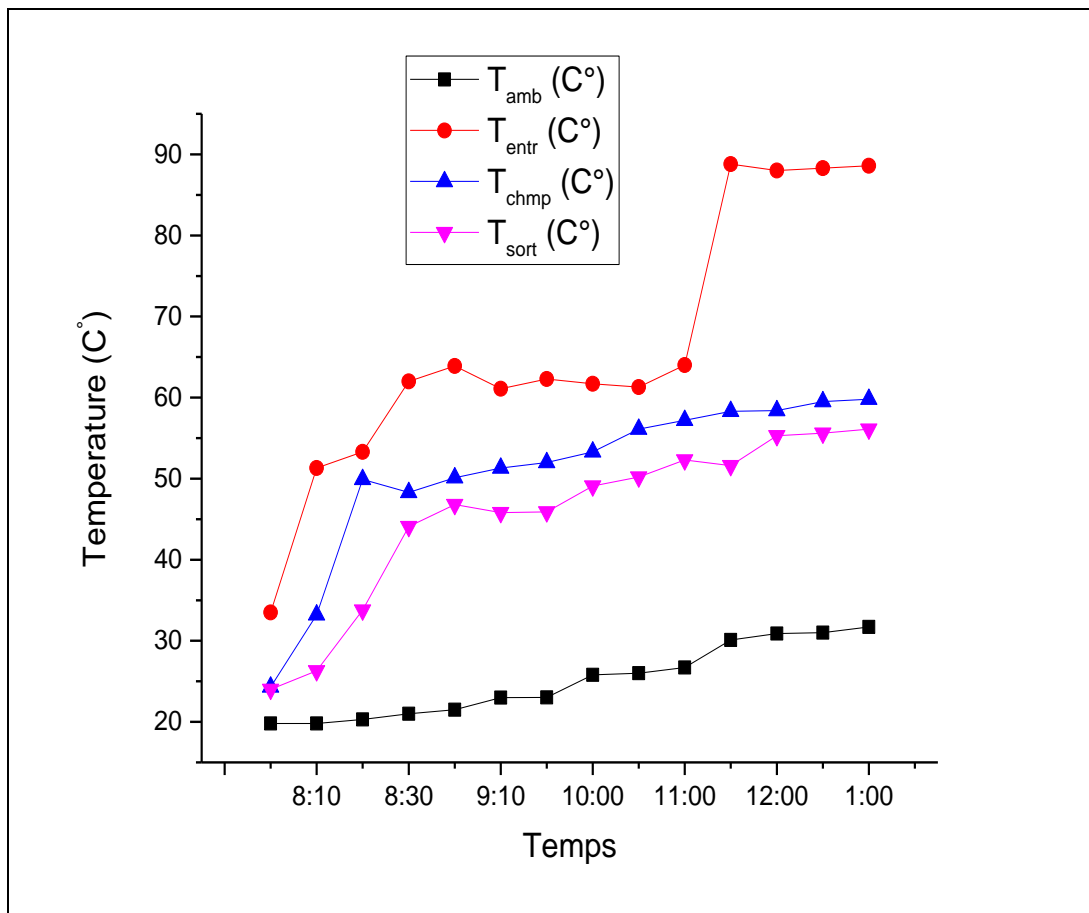


Figure 40 :Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage en fonction de temps

* La température extérieure ou ambiante est constante entre 20 C° et 30 C° pendant la journée de séchage

* Température d'entrée :

(8:00 - 9 :10) température a augmenté de manière significative, car elle a commencé à partir de 35° C et a atteint 65 C°.

(9:10 - 11 :30) la température est presque constante en raison du temps nuageux, car elle est stable entre 60 C° et 65 C°.

(11:30 – 1:00) la température a augmenté après le lever du soleil et s'est stabilisée à 87 C°.

* Température la chambre :

(8:00 – 8:20) la température ambiante a commencé à partir de 25 C° et au moment où elle a atteint 50 C° en 20 minute.

(8:20 – 1:00) la température était constante, entre 50° et 60° valeurs durant cette période de séchage.

*Température sortie :

(8:00 – 8:45) la température a commencé à sortir dans cette période à partir de 25 C° puis a atteint un maximum de 45 C°

(8:45 – 1:00) pendant cette période, la température de sortie entre 45 C° et 52 C° était presque constante, les deux valeurs convergeant.

4. La vitesse de séchage

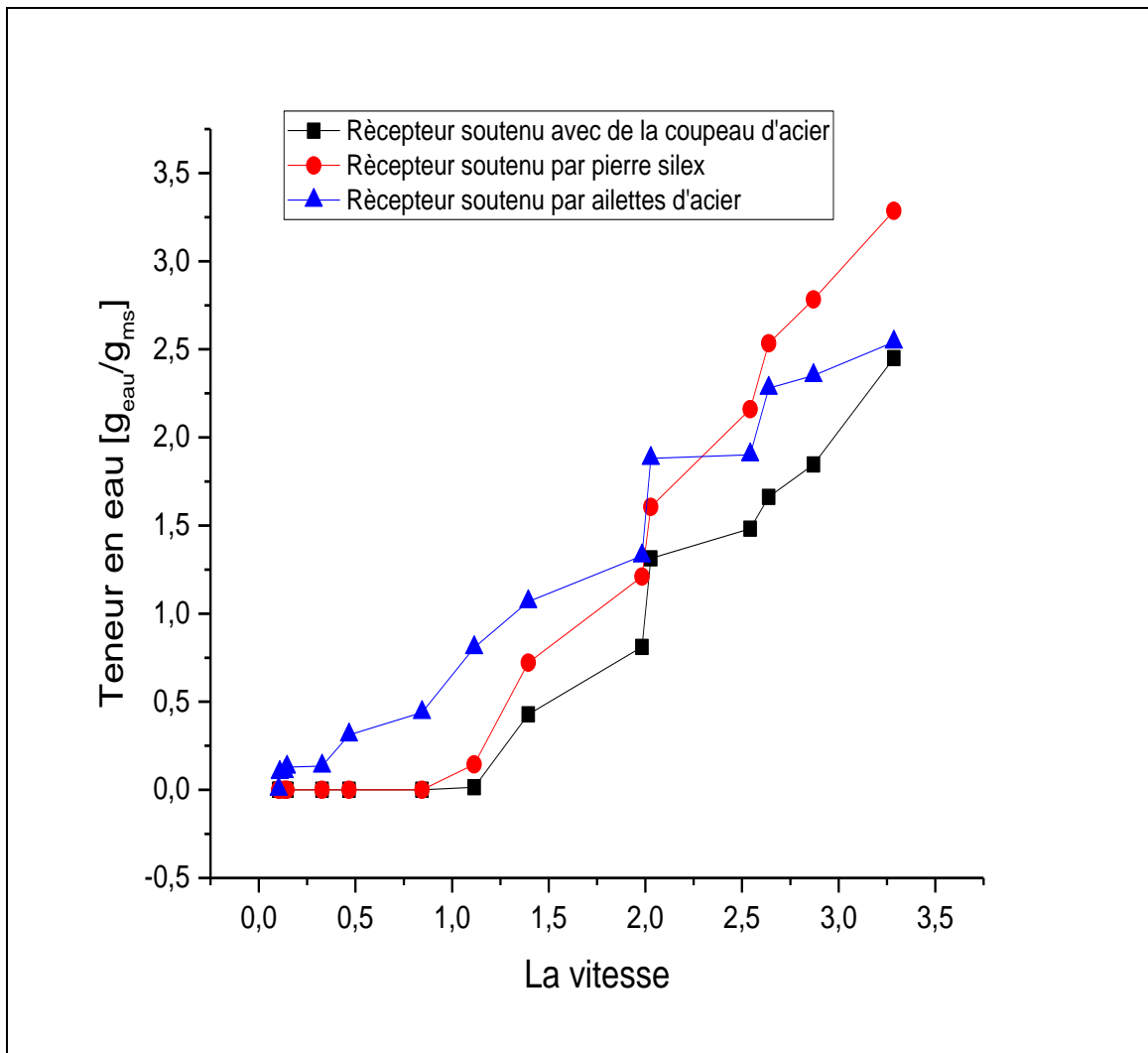


Figure 22: La vitesse de séchage en fonction de teneur en eau

D'après la figure IV.4, on remarque que le séchage le plus rapide est le qui contient Récepteur soutenu avec de la coupeau d'acier par rapport à la teneur en eau, et après ça vient Récepteur soutenu par ailettes d'acier plus rapide que Récepteur soutenu par pierre silex.

Et de là nous concluons que la coupeau d'acier Mieux que les autres matériaux utilisés.

VI .3-Pommes de terre

1. La variation de teneur en eau en fonction de temps

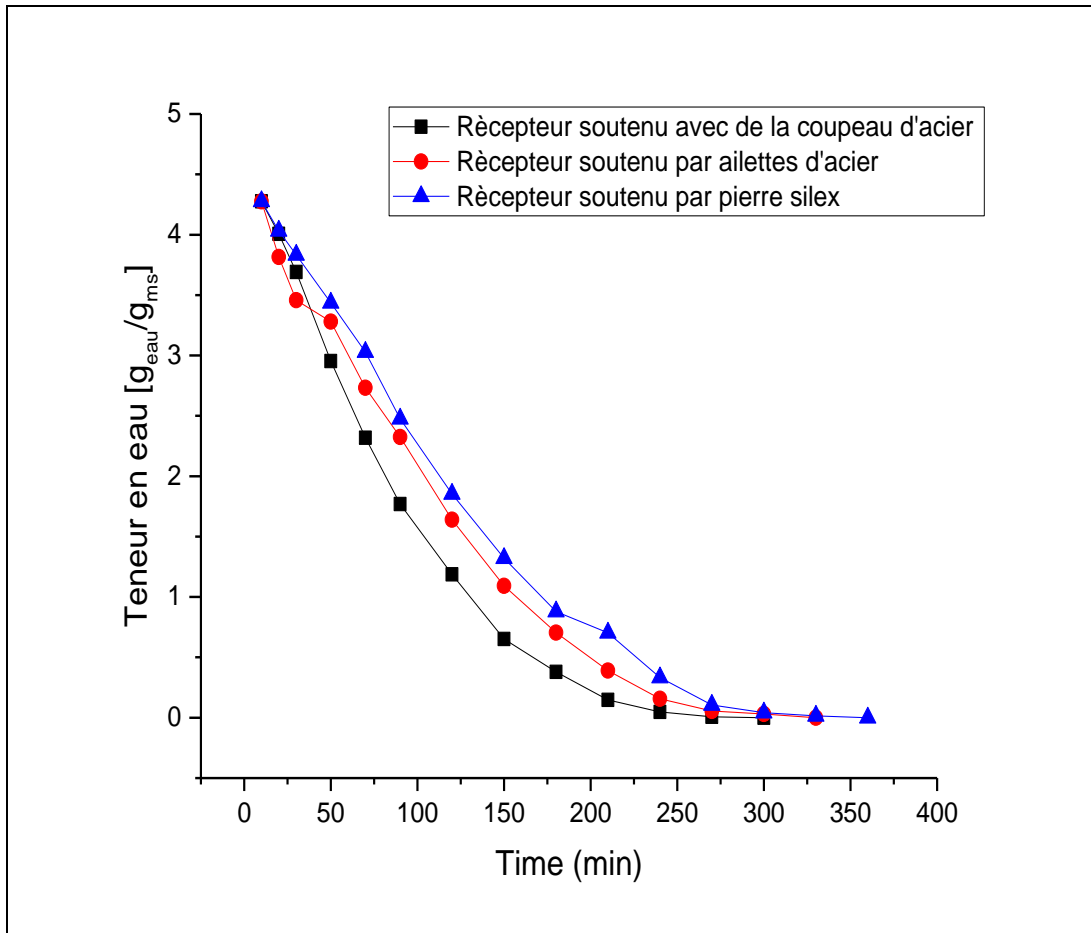
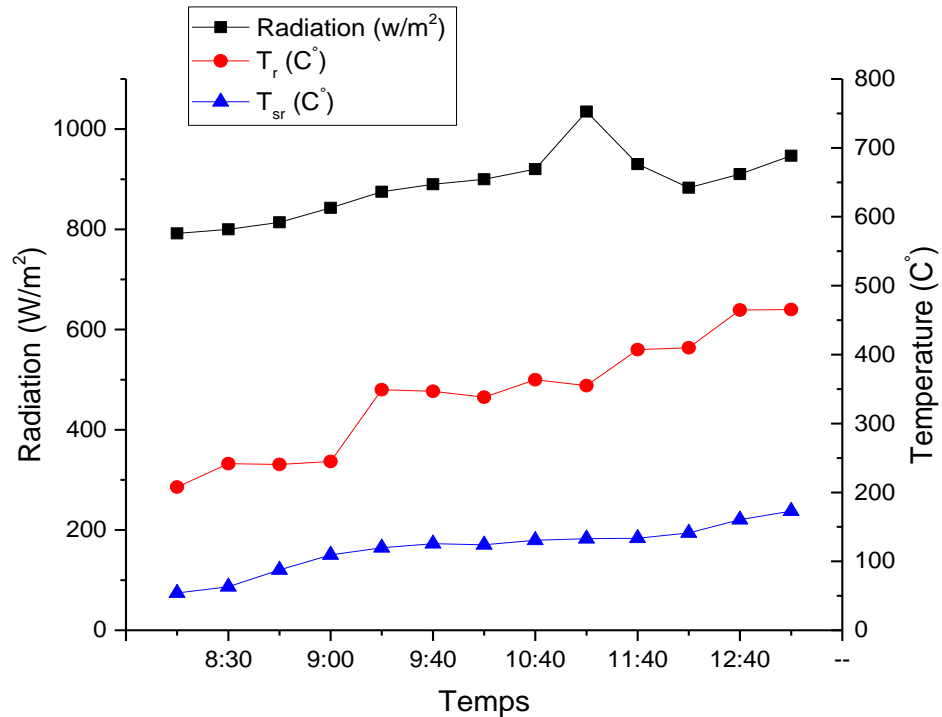


Figure 23: La variation de teneur en eau en fonction de temps (Pommes de terre)

Notre Figure V.1 représente le pourcentage d'eau dans le Pommes de terre et le contenu du récepteur utilisé lors du séchage, on remarque le récepteur qui contient de la coupeau d'acier sécher plus rapidement que celui qui contient des pierres silex et des ailettes d'acier de là nous concluons que de la coupeau d'acier est plus rapide et meilleure que les autres matériaux utilisés.

2. Variation de la température des récepteurs et variation de la radiation solaire



L'atmosphère de ce jour était propice à l'expérience car la chaleur polarisée du soleil vers le récepteur était excellente, car elle a donné de bons résultats, car la température du capteur a atteint un maximum de 620 C° et un minimum de 250 C°

Le rayonnement solaire avait atteint un maximum de 1010 C° et un minimum de 790 C°

La température à la sortie du récepteur était excellente par rapport aux autres jours, atteignant un maximum de 210 C° et un minimum de 70.3C°

3. Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage

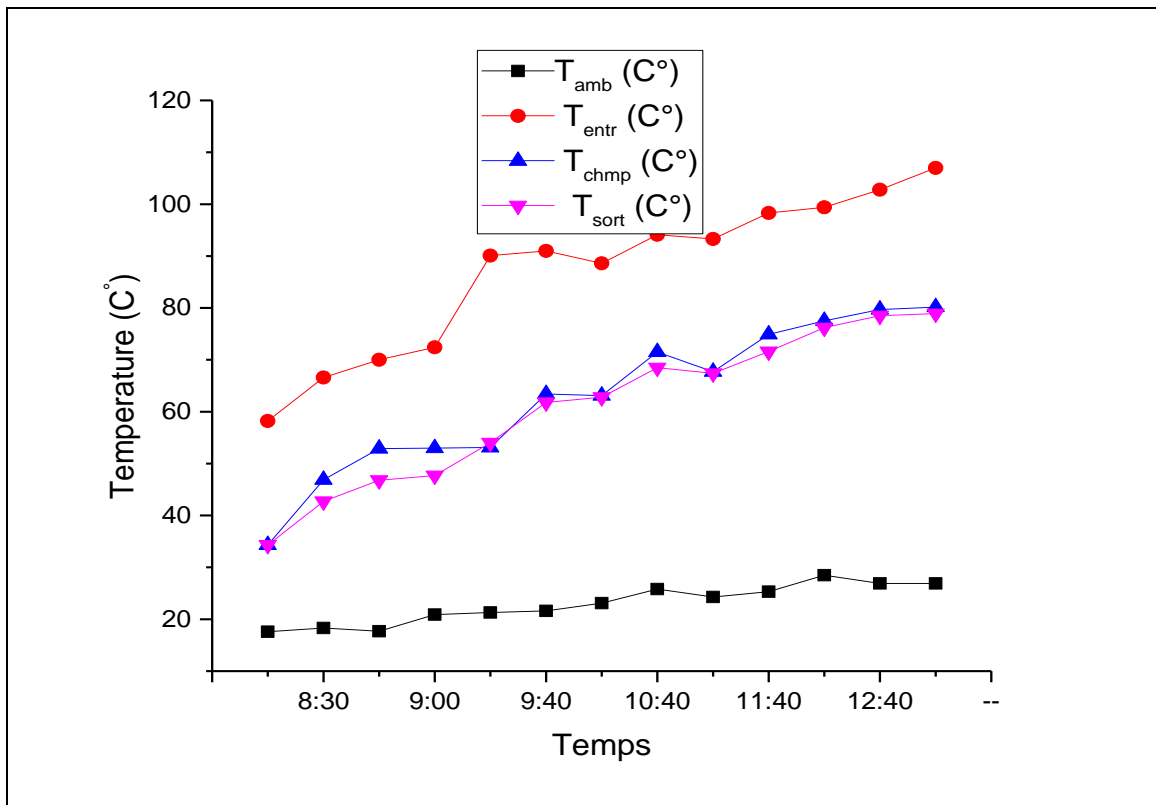


Figure 24 : Variation de la température dans la pièce pendant les jours de séchage en fonction de temps

* La température extérieure ou ambiante est constante entre 18 C° et 25 C° pendant la journée de séchage

* Température d'entrée :

(8:00 – 9:20) température a augmenté de manière significative, car elle a commencé à partir de 58 C° et a atteint 90 C°.

(9:20 – 11:00) la température est presque constante en raison du temps nuageux, car elle est stable entre 90 C° et 98 C°.

(11:00 – 1:00) la température a augmenté après le lever du soleil et s'est stabilisée à 100 C° et 105 C°.

* Température la chambre :

(8:00 – 9:20) la température ambiante a commencé à partir de 30 C° et au moment où elle a atteint 35 C° en 1h et 20 minute.

(9:20 – 10:40) la température augmente de 35 C° à 70 C° degrés pendant cette période.

(10:40 – 11:40) Pendant cette période, la température est tombée à 65 C° en raison du temps nuageux.

(11:40 – 1:00) pendant cette période, il est resté presque constant, entre 70 C° et 75 C° degrés.

*Température sortie :

(8:00 – 9:40) la température de départ augmente pendant cette période, puisqu'elle a commencé à partir de 35 C° et a atteint 60 C°.

(9:40 – 1:00) la température au cours de cette période a continué à augmenter de manière significative, atteignant 74 C° comme maximum, où elle était de 60 C° comme minimum.

4. La vitesse de séchage

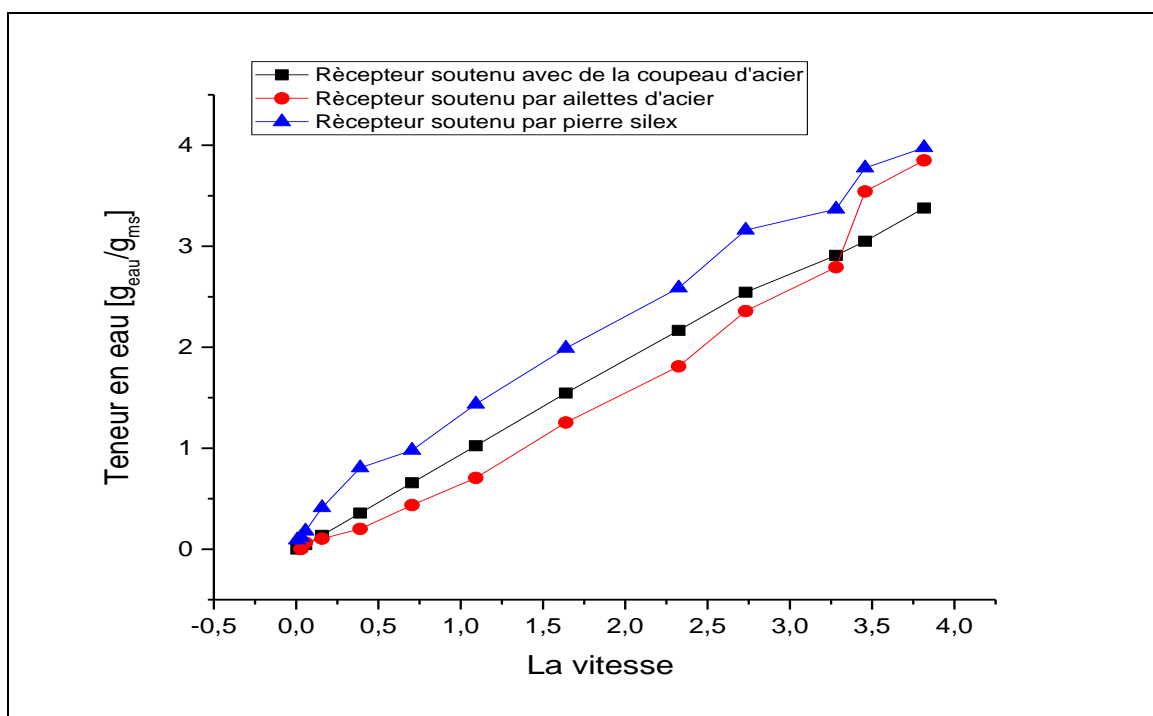


Figure 44 La vitesse de séchage en fonction de teneur en eau

D'après la figure V.4, on remarque que le séchage le plus rapide est le qui contient Récepteur soutenu avec de la coupeau d'acier par rapport à la teneur en eau, et après ça vient Récepteur soutenu par ailettes d'acier plus rapide que Récepteur soutenu par pierre silex.

Et de là nous concluons que la coupeau d'acier Mieux que les autres matériaux utilisés.

VI.4-Conclusions

A travers les résultats précédents nous ne concluons que les Séchoirs solaires parabolique Caractéristiques des séchoirs solaires cylindre -parabolique :

*Séchage rapide.

*Récipient à haute température.

REFERENCES

Chapitre I

[1] BARGUIA.A, BENLAMNOUAR.L, AMOUR.F, "Evaluation e expérimentale des performance des séchoir solaire cylindro-parabolique pour les produits agro-alimentaire ",université d'eloued, master 2020.

[2] Ahmed Mohamed Salih Hamid "Factors affecting the Incident Radiation Sun on the Surface of Earth" February 2010

[3] Kevin Graham Harding ," Heat transfer" 01 December 2020.

[4] "ETUDE D'UN SECHOIR SOLAIRE FONCTIONNANT EN MODE DIRECT ET INDIRECT" 16 /12 /2007

[5] AUMPORN, Orawan. Contribution à l'étude des performances d'un séchoir serre avec stockage de chaleur dans des matériaux à changement de phase. 2017. PhD Thesis. Perpignan

Chapitre II

[1] - BONDARUK, Joanna; MARKOWSKI, Marek; BŁASZCZAK, Wioletta. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of food engineering*, 2007, 81.2: 306-312.

[2]- cet ouvrage a été rédigé par Jean –François Rozis . Ceres (Groupe Energies Renouvelables et Environnement) avec l'appui d'Alain Guinebault (Geres).auteur de la première édition (Le point sur le séchage solaire . Editions du GRET .1986) dont certaines parties sont conservées.

[3] - A. H. Simonne, E. H. Simonne, R. R. Eitenmiller, H. A. Mills, and N. R. Green, "Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell peppers (*Capsicum annuum* L.)," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 10, no. 4, pp. 299–311, 1997.

[4]- Ahmed Djebli , Salah Hanini, Ouassila Badaoui, Mouloud Boumahdi LBMPT, Université Yahia Fares Medea, Street Aïnd'Heb, 26000, Algeria et Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES/Centre de Développement des

Energies Renouvelables, CDER, Bou Ismail 42415, W. Tipaza, Algeria (2019) 164–174.

[5]- Doymaz I. Thin layer drying behaviour of mint leaves. *J Food Eng* 2006;74:370–

[6]- Okos MR, Narsimhan G, Singh RK, Weitnauer AC. Food dehydration. In: Heldman DR, Lund DB, editors. *Handbook of food engineering*. New York: Marcel Dekker; 1992

[7]- PRAKASH, Om; KUMAR, Anil. Historical review and recent trends in solar drying systems. *International journal of green energy*, 2013, 10.7: 690-738.

[6]- Dr Clarisse DAWENDE/COMPAORE, Attaché de recherche au DTA/IRSAT .
Dr Hagrétou SAWADOGO/UNGANI, Maitre de recherche au DTAIRSAT
BURKINA FASO Unité - Progrès – Justice Oerobre 1014

[9]- Lin DL, Lee YC. The development of vacuum cooling technology in Taiwan. *Proceedings of a symposium on research and application of postharvest technology of horticultural crops*. Agricultural Research Institute, COA. Taichung, Taiwan, 2005.

Chapitre III

[1] -LAOUINI, Abdeldjalil, et al. Realization of a Solar Dryer Assisted by a Parabolic Dish Concentrator. In: *Defect and Diffusion Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2021. p. 192-199.

Conclusion générale

L'étude que nous avons menée concerne un séchoir solaire attaché à un collecteur parabolique. Il fonctionne sur la collecte de l'énergie solaire et son envoi à un point où un récepteur est installé à ce stade, le type d'avenir est changé à chaque fois et le même produit agricole est essayé à chaque fois sur un type de complexe. Cela nous a permis de tirer un nombre considérable de conclusions. Il a été constaté que la température de la salle de séchage, le temps de séchage et son pourcentage varient en fonction du type de récepteur, comme:

- À l'avenir, rempli de petites limailles de fer, il a donné les meilleurs résultats en termes de temps de séchage et a enregistré les températures les plus élevées à la surface des capteurs thermiques.
- Le récepteur de type ailette a donné de grandes températures dans la première période, mais n'a pas augmenté comme requis avec la force du rayonnement solaire, et donc le temps de séchage est un peu plus long que la limaille de fer.
- L'avenir plein de pierres de silex a donné des températures plus basses qu'avant, et le taux de séchage est très faible par rapport aux deux types précédents, ce qui a donné le temps de séchage le plus long, mais ce qui a été remarqué est qu'en l'absence de rayonnement solaire, les températures restent constantes, c'est-à-dire qu'elles maintiennent la chaleur, qui n'est pas disponible dans les deux types précédents.

D'un autre côté, il nous est apparu clairement que des températures élevées pouvaient endommager le produit, et c'est ce qui est difficile à contrôler dans ce sécheur, et comme nous avons découvert qu'il existe plusieurs facteurs naturels qui affectent les températures de chaque avenir. et à partir de là:

- Rayonnement solaire, car il peut ne pas être disponible en permanence et ne pas avoir la force requise en toutes saisons.
- Vitesse du vent car elle affecte la température de l'air entrant dans le futur.

- Même la propreté du futur verre joue un très grand rôle, donnant des taux élevés de rayonnement solaire réfléchi, et cela est quelque peu difficile dans les zones désertiques en particulier.

Le type de produit agricole et le pourcentage d'eau qu'il contient jouent un très grand rôle dans le temps de séchage, comme nous l'avons découvert:

- Un produit agricole qui contient plus d'eau prend moins de temps de séchage.
- La composition du produit et de la membrane externe est également liée au temps de séchage.

Enfin, on peut considérer que ces travaux ont donné des résultats avérés sur plus d'un produit agricole et ont contribué à donner un certain nombre de conclusions qui pourraient aider à développer des séchoirs solaires dans le futur.

الملخص :

الدراسة التي أجريناها تتعلق بمجفف شمسي متصل بجهاز تجميع قطع مكافئ. تعمل على تجميع الطاقة الشمسية وإرسالها إلى نقطة حيث يتم تثبيت جهاز الاستقبال في هذه المرحلة ، يتم تغيير نوع المستقبل في كل مرة ونفس الشيء يتم تجربة المنتج الزراعي في كل مرة على نوع من المعقد. هذا سمح لنا لاستخلاص عدد كبير من الاستنتاجات. وجد ان درجة حرارة غرفة التجفيف ووقت التجفيف ونسبته تختلف حسب النوع المتلقي

الكلمات المفتاحية :

دراسة حركية ، غاز التطبيق، المنتجات الغذائية الزراعية، التجفيف الشمسي

Résumé:

L'étude que nous avons menée concerne un séchoir solaire attaché à un collecteur parabolique. Il fonctionne sur la collecte de l'énergie solaire et son envoi à un point où un récepteur est installé à ce stade, le type d'avenir est changé à chaque fois et le meme produit agricole est essayé à chaque fois sur un type de complexe. Cela nous a permis de tirer un nombre considérable de conclusions. Il a été constaté que la température de la salle de séchage, le temps de séchage et son pourcentage varient en fonction du type de récepteur.

les mots clés:

Etude , cinétique de séchages solaire, Gas d'application ,les produits agro-alimentaire