

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur 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 :Energétique

Thème

**Etude expérimentale de différents paramètres de
chambre de séchage sur le processus de séchage**

Devant le jury composé de :

Dr :BOUSBIA SALAH
seifeddine

Encadreur

Présenté par :

- CHAOUCHE Bachir
- AROUA Mahmoud
- CHABANI Bachir

2022-2023



Remerciements

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur **Bousbia seif** qui a bien voulu nous diriger durant notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont aussi vers tous les enseignants de notre département qui ont participé à notre formation.



Dédicaces

*Nous avons le grand plaisir de dédier ce modeste travail,
comme un geste de gratitude :*

*A celle qui m'a enfanté dans la douleur et la joie,
mes symboles d'amour : Mes très chères mères*

*A celui qui nous chères et nous apprécies fort son soutien
continu tout le long de mes études:*

Mes très cher pères

A mes frères et soeurs ainsi que toute ma famille.

A la fin je dédie ce mémoire à A mes amis

*Aroua Mahmoud ** Chaouche Bachir*

Chabani Bachir

Table de matière

Table de matière

Titre	Page
Remerciement	
Dédicace	
Liste des figure	
Nomenclature	
Introduction générale	2
Chapitre I: Généralités sur le Séchage et le séchoir solaire	
Introduction	5
I.1. Généralités sur le séchage	5
I.1.1. Définition	5
I.1.2. but de séchage	5
I.1.3. Domaines d'utilisations	5
I.1.4. Les modes de séchage	6
I.1.5. Principe de séchage	7
I.1.6. Cinétique de séchage	7
I.1.7. Description d'un séchoir solaire	9
I.1.8.Types de séchoirs solaires	9
I.1.9.Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage	17
Conclusion	17
Chapitre II: Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS	
Introduction	19
II.1. Modélisation numérique (CFD) du prototype	20
II.2. Présentation de la CFD et du logiciel de travail	20
II.2.1.Définition au CFD	20
II.2.2.Applications du CFD	20
II.2.3 ANSYS Fluent	21
II.3. Conception et Processus De Travail	22
II.3.1. La première interface	22
II-3.2- La géométrie de la chambre de séchage	23
II-3-3.le protocole de travail	23
II.3.4. saisie les données	24

Table de matière

II.4. Résultats et Simulation	25
II.4.1. Résultats de mesure de premier jour	25
II.4.2. Résultats de la deuxième jour	31
Conclusion	38
Chapitre III: Etude expérimentale: mesure et résultats	
Introduction	40
III.1. Description et principe du séchoir solaire étudier	40
III.1. 1.La chambre de séchage	41
III.2. Instruments de mesure	41
III.2. 1. Mesure du rayonnement solaire	41
III.2. 2. Mesure des températures	42
III.2.3.Mesure de la vitesse et de l'humidité de l'air	43
III.2.4. Mesure de la perte de masse	43
III.3.principe de travail	43
III.4. Résultats et Discussion	48
III.4.1. Résultats dans le premier jour	48
III.4.2. Résultats de la deuxième jour	52
III.4.3. Résultats de la troisième jour	57
Conclusion	63
Conclusion générale	65
Référence bibliographique	67
Résumé	69

Liste Des Figures

Liste des figures

	Chapitre I : Généralités sur le Séchage et le séchoir solaire	
I.1	Périodes du séchage	8
I.2	Illustration d'un séchoir solaire	9
I.3	Les séchoirs solaires indirects	10
I.4	Les séchoirs solaires directs	12
I.5	Les séchoirs solaires mixtes	14
I.6	Les séchoirs solaires hybrides	16
	Chapitre II: Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS	
II.1	Vue schématique de l'analyse dans le logiciel	22
II.2	La première interface du programme ANSYS	22
II.3	La géométrie de la salle de séchage	23
II.4	Processus du travail	24
II.5	saisie les information de l'expérience	25
II.6	la distribution la 1 ^{er} température de chambre pendant le vitesse 1	26
II.7	la distribution la 2 ^{ème} température de chambre pendant le vitesse 1	27
II.8	la 1 ^{er} vitesse de l'air dans la chambre quand le vitesse 1	28
II.9	la 2 ^{ème} vitesse de l'air dans la chambre quand le vitesse 2	29
II.10	le 1 ^{er} pression dans la chambre pendant le vitesse 1	30
II.11	la 2 ^{ème} pression de la chambre pendant vitesse 1	31
II.12	la 1 ^{er} température de la chambre pendant vitesse 2	32
II.13	la 2 ^{ème} température de la chambre pendant le vitesse 2	33
II.14	la 1 ^{er} vitesse de la chambre pendant le vitesse 2	34
II.15	la 2 ^{ème} vitesse de la chambre pendant le vitesse 2	35
II.16	le 1 ^{er} pression de la chambre pendant le vitesse 2	36
II.17	la 2 ^{ème} pression de la chambre pendant le vitesse 2	37
	Chapitre III: Etude expérimentale: mesure et résultats	
III.1	schéma de fonctionnement séchoir solaire	40
III.2	Instruments de mesure	41
III.3	Solarimètre à affichage numérique	42
III.4	Thermomètre	42
III.5	anémomètre	43
III.6	Balance numérique	43
III.7	respirateur de séchoir avec variateur de vitesse d'air	44
III.8	chambre de séchage	44
III.9	vue extérieur de chambre de séchage	45
III.10	capteur solaire et chambre de séchage	45
III.11	chambre de séchage pendant le travail	46
III.12	pièce utilisable	46
III.13	l'échantillon de pomme de terre	46
III.14	chambre au final d'expérience	47
III.15	volume final de l'échantillon	47
III.16	Variation de la radiation solaire en fonction du temps de séchage	48
III.17	Variation de vitesse du vent en fonction du temps	49
III.18	Variation de température ambiante en fonction du temps	50
III.19	Variation de température de capteur solaire en fonction du temps	50
III.20	Variation de chambre de séchage en fonction du temps	51

Liste Des Figures

III.21	Variation des température (ambiante et chambre et capteur solaire) en fonction du temps	52
III.22	Variation de la radiation solaire en fonction du temps de séchage	53
III.23	Variation de vitesse du vent en fonction du temps	53
III.24	Variation de température ambiante en fonction du temps	54
III.25	Variation de température de capteur solaire en fonction du temps	55
III.26	Variation de chambre de séchage en fonction du temps	55
III.27	Variation des températures (ambiante et de chambre et capteur solaire) en fonction du temps	56
III.28	Variation de la radiation solaire en fonction du temps de séchage	57
III.29	Variation de vitesse du vent en fonction du temps	58
III.30	Variation de température ambiante en fonction du temps	58
III.31	Variation de température de capteur solaire en fonction du temps	59
III.32	Variation de chambre de séchage en fonction du temps	60
III.33	Variation de masse d'échantillon en fonction du temps	60
III.34	Variation de température des pierres en fonction du temps	61
III. 35	Variation des températures (ambiante et de chambre plus capteur solaire et le pierre) en fonction du temps	62

LISTE DE SYMBOLES

Nomenclature

A	La surface de séchage (m^2)
L	Longitude
Λ	Altitude
Φ	l'altitude
Ω	l'azimuth
H	Hauteur du soleil La déclinaison
ω	Angle horaire
S_0	Constante solaire
$\lambda_c :$	conductivité thermique $W/(m.K)$
H	humidité absolue
H_r	L'humidité relative
Ψ	degré de saturation
X	Teneur en eau a base sèche $kg_{eau} / Kg_{(MS)}$
X_r	Teneur en eau du produit à base humide $kg_{eau} / Kg_{(Mh)}$
A_w	L'activité de l'eau dans le produit
$P_{vp}:$	Pression de vapeur d'eau a la surface du produit,(Pa)
V_s	Vitesse de séchage
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.(kg)
Q	La quantité de chaleur transférée par unité de temps (W)
A	coefficient d'échange par convection ($W / m^2 \cdot K$).
T	Température (k,c)
E	émissivité du produit à traiter et émissivité de l'émetteur
I_d	. Rayonnement direct [w/m^2]
I_f	Rayonnement diffuse [w/m^2]
I_G	Rayonnement Globale [w/m^2]
I_R	Rayonnement réfléchi [w/m^2]
R_s	rayon du soleil (km)
D_{ST}	distance terre-soleil (km)

V	Vitesse (m/s)
t	<i>le temps</i> (s)
P	<i>Poids volumique</i> (g/m ³)
E	<i>Epaisseur</i> (mm)
$-dx/dt$	Vitesse de séchage du produit : (Kg/Kgs. _h)

Introduction générale

Introduction Générale

De nombreux scientifiques ont étudié la modélisation du séchage solaire des produits agriculture Il existe également des études de simulation sur les séchoirs solaires (directs, indirects) et le comportement de divers légumes et fruits, caractérisé par une cinétique de séchage. Pour utilisation gratuite d'énergie renouvelable et non polluante comme principale source fournie par le soleil, ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été faites pour développer séchage solaire principalement pour la conservation des produits agricoles et forestiers.

Le séchage est l'un des processus les plus anciens dans une unité de maintien de résistance à la traction nourriture. C'est une technologie qui implique le transfert simultané de chaleur et de masse entre le produit et l'air ambiant.

Les méthodes de séchage traditionnelles présentent de nombreux inconvénients cela conduit à la détérioration du produit. En développant ces techniques traditionnelles, des équipements spéciaux pour le séchage solaire appelés séchoirs solaires ont été développés.

Il s'est avéré être une solution intéressante pour un usage rural ou industriel. de nombreux modèles ont été développés et de nombreuses études ont été menées pour augmenter son efficacité.

Le but de cette mémoire est de faire un travail expérimental à travers des appareils de mesure disponibles dans des conditions météorologiques locales visant à :

- Conception, construction et fabrication d'une chambre de séchage à isolation thermique avec matière de panneaux sandwich 3.5 cm. Connecté avec collecteur solaire. (séchoir solaire indirect)
- Afin d'étudier l'impact de la variation de la vitesse de l'air dans la chambre sur le processus de séchage, la chambre de séchage est équipée d'un ventilateur à vitesse variable.
- l'étude de conception et des simulations à l'aide du programme ANSYS, avec l'injection des paramètres et mesures expérimentales pour voir l'endroit le plus approprié pour placer l'échantillon de séchage, ce qui nous donne un processus de séchage idéal dans chambre de séchage.
- En plus d'effectuer des tests expérimentaux pour sécher un échantillon d'un produit agricole local.

Introduction générale

Pour bien présenter notre travail, nous l'avons divisé en trois chapitres

- ***La premier chapitre :*** Dans ce chapitre, nous allons faire des notions et généralité sur le séchage et les types des séchoirs solaire.
- ***Le deuxième chapitre :*** Dans ce chapitre, nous allons simuler la chambre de séchage solaire isolante et l'insérer dans le programme ANSYS, et montrer ses résultats dans une coupe transversale de la chambre.
- ***Le troisième chapitre :*** Ce chapitre se concentre sur la conception et réalisation de la chambre du séchoir solaire et obtention des résultats de mesure et affichage sous forme de courbes graphiques en fonction du temps. dans des conditions météorologiques locales.

CHAPITRE I

Généralité sur le séchage et les séchoirs solaires

Chapitre I : Généralité sur le séchage et le séchoirs solaire

Introduction .

L'optimisation de l'opération de séchage doit répondre à deux objectifs essentiels : réduire la consommation d'énergie nécessaire et préserver la qualité biologique du produit séché. Ces considérations ont conduit à de nombreux travaux et ce à divers niveaux du processus, tels que le séchage solaire, le produit et le coût économique. Les modèles de simulation peuvent être utilisés pour concevoir un nouveau prototype de séchoir, améliorer les systèmes de séchage existants ou contrôler l'opération de séchage.

I.1. Définition de le séchage

Le séchage est une opération unitaire consistant à éliminer tout ou partie d'un solvant (l'eau) contenu dans un produit humide (solide ou liquide) par évaporation. Le produit fini est toujours solide. La méthode implique des transferts de chaleur et de masse simultanés entre le produit et l'air environnant [1].

Lors de la transformation et de la conservation, de nombreux produits alimentaires et biologiques subissent effectivement des séchages.

Avant l'étape de commercialisation, c'est souvent une opération de formulation plus que de fabrication qui contrôle en grande partie la qualité du produit.

I.2. but de séchage.

Le but du séchage est de réduire la quantité d'eau dans les produits agroalimentaires jusqu'à une valeur résiduelle, ce qui empêche la croissance de tous les micro-organismes. Avec cette valeur, les produits peuvent être stockés dans des conditions ambiantes..

I.3. Domaines d'utilisations

❖ La plupart des aliments que nous consommons ont été séchés. Le séchage peut être une étape nécessaire à la production d'un produit ou un rôle dans la conservation d'un aliment. Il existe moins de 200 types différents de séchoirs industriels disponibles dans le secteur alimentaire. Des produits agricoles peu hydratés mais nécessitant parfois (selon la météorologie) un séchage supplémentaire pour stabiliser et standardiser avant traitement industriel tels que le maïs, le blé, les autres céréales et les graines oléagineuses.

1. Les produits agricoles, qui sont très hydratés et nécessitent un séchage pour être stabilisés et allégés, comprennent le lait (principalement utilisé pour nourrir les veaux), la luzerne et le maïs planté (utilisé pour nourrir les animaux), les légumes et les aliments assimilés (pomme de terre, carottes, oignons).
2. Les produits de transformation industrielle qui sont séchés pour stabilité et présentation comprennent des extraits de café et de thé, des pâtes alimentaires, de la charcuterie (jambons et saucissons secs), des fromages, des produits pour animaux familiers, du sucre et de l'amidon, etc. [2]
3. Les sous-produits industriels sont principalement destinés aux animaux, tels que les pulpes de sucrerie et le sérum de fromagerie

❖ La fabrication de papier

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

❖ Industrie du bois :

Le bois récemment abattu et scié présente une forte humidité, ce qui rend son utilisation immédiate impossible dans les conditions appropriées car il peut subir des changements de taille et de forme [3]

I. 4. Les modes de séchage

Le séchage par convection implique la mise en contact d'un gaz (généralement de l'air chaud et de faible hygrométrie) dans l'écoulement entourant le corps à sécher. Ce courant gazeux fournit à la fois la chaleur nécessaire pour évaporer le liquide et la vapeur produite. Le gaz se refroidit en même temps qu'il se charge d'humidité entre l'entrée et la sortie du séchoir. Au cours du séchage, la teneur en eau du solide diminue progressivement et sa température augmente. [4].

Il est souvent amené à fournir l'énergie nécessaire pour vaporiser le liquide que l'on veut éliminer afin de favoriser le séchage. Cette énergie est disponible..

I.4.1. Séchage par conduction [5]

Le contact direct entre le produit et une paroi chauffée, plutôt qu'un gaz en mouvement autour du produit à sécher, fournit l'énergie thermique nécessaire au séchage dans ce mode de séchage.

I.4.2. Séchage par convection

Dans l'industrie chimique, c'est le mode de séchage le plus courant, où l'échange thermique se produit par contact direct entre le solide humide et le gaz caloporteur.

I.4.3. Séchage par rayonnement [6]

Le rayonnement est utilisé pour transférer l'énergie nécessaire à l'évaporation dans ce mode de séchage. Ce processus de séchage élimine efficacement l'eau, surtout lorsqu'il s'agit d'un produit non thermosensible.

I.5. Principe de séchage

La première façon de sécher un produit est de le mettre à la température d'ébullition de l'eau, qui se vaporise ensuite. En réalité, ce principe n'est pas le plus utilisé et on préfère généralement fonctionner à des températures plus basses en utilisant l'air comme gaz d'entraînement.

Il existe trois modes de séchage distincts : [7]

I.5.1.Séchage mécanique

Le processus consiste à extraire le liquide à l'aide de techniques mécaniques telles que le pressage, la centrifugation, la compression, la décantation et la filtration.

I.5.2. Séchage chimique

Il s'agit d'une méthode qui implique l'emploi de substances qui détériorent l'eau, telles que le chlorure de calcium.

I.5.3.Séchage thermique

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse qui nécessite au préalable une activation de l'eau par un transfert de chaleur.

I.6. Cinétique pour sécher

Des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps sont utilisées pour étudier la cinétique de séchage des différents produits. Ces courbes sont généralement obtenues pour diverses conditions expérimentales (température, hygrométrie, vitesse d'air asséchant). Elles décrivent comment le produit sèche au fil du temps.

Les courbes de la vitesse de séchage en fonction du temps diffèrent dans tous les travaux de séchage en fonction de la nature du produit Figure (1.1). En général, il est observé que l'aspect du séchage se divise en trois étapes principales.: [8]

- La première phase est une période temporaire.
- La période initiale est caractérisée par une vitesse de séchage constante.
- **Phase II** : période où la vitesse de séchage diminue.

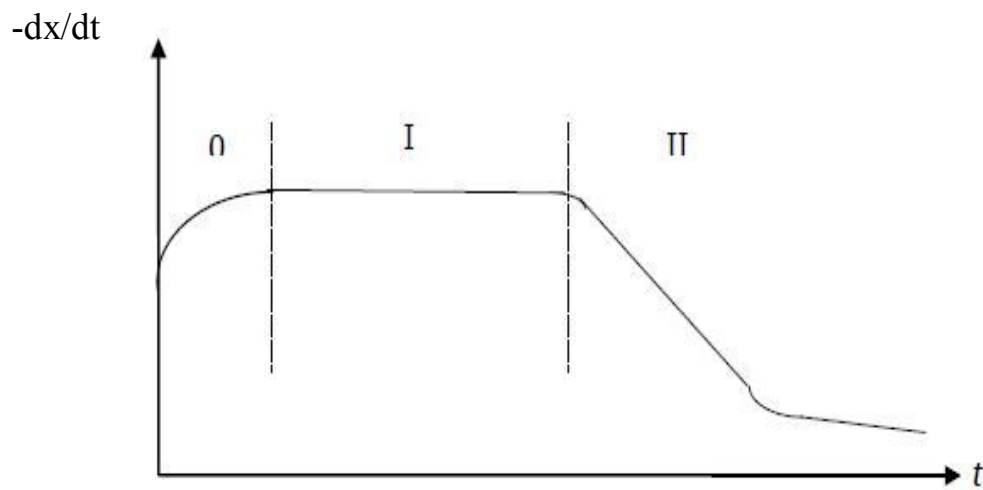


Figure I.1 : Périodes du séchage

Phase 0 : période de mise en température : pendant cette période, l'humidité du produit varie mais pas sensiblement et sa température varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide [9].

Phase I : période de séchage à vitesse constante : pour la plupart des produits, la vitesse de séchage reste à peu près la même. La température du bulbe humide favorise le déplacement de l'humidité vers la surface en état liquide. L'activité de l'eau à la surface du produit est alors égale à 1 et le séchage est appelé isenthalpique.

Phase II : période de séchage à vitesse décroissante :

Le flux de chaleur entrant pour cette période est équivalent au flux d'eau sortant du produit. La diminution de la vitesse de séchage marque cette période. Les contraintes de la migration

de l'eau de l'intérieur du produit vers sa surface entraînent un ralentissement de la vitesse de séchage.

1.7.Caractéristiques d'un séchoir solaire

Le séchoir solaire est un appareil qui utilise les rayons solaires pour sécher les aliments. Il nous permet de sécher tous les fruits, légumes, herbes, poissons et viandes comme un déshydrateur. Souvent en bois, il est équipé d'une plaque de verre pour créer un effet de serre à l'intérieur du séchoir.

Dans le secteur agricole, le séchoir solaire est utilisé pour sécher des légumes, des fruits et des plantes médicinales. En conséquence, la dépendance au séchage au soleil et au séchage industriel est réduite, ce qui permet d'économiser de nombreux fossiles.



Figure I-2: Illustration d'un séchoir solaire

1.8.Types de séchoirs solaires

Plusieurs types de séchoirs solaires sont disponibles en fonction des besoins locaux et de la disponibilité.

Les séchoirs solaires sont généralement classés en fonction de leur mode de chauffage ou de fonctionnement.:

- Les séchoirs solaires indirects;
- Les séchoirs solaires directs;
- Les séchoirs solaires mixtes ;

- Les séchoirs solaires hybrides.

I.8.1. Les séchoirs solaires indirects

Le séchoir direct est souvent plus simple que ce type de séchoir. Il se compose de deux parties : un collecteur qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et une chambre de séchage qui contient le produit. L'air pénètre dans le collecteur et augmente sa température. L'air chaud monte dans la chambre de séchage par convection naturelle. La durée de séchage varie considérablement en fonction des conditions climatiques. [10].

Avantages:

- Le produit n'est pas exposé au soleil directement. Il maintient mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (en particulier les vitamines A et C). [11].

Inconvénients:

- Un coût considérable.
- La rapidité du séchage varie considérablement en fonction de la conception du séchoir et des conditions climatiques.

Les matériaux en polyéthylène sont fragiles et nécessitent :

- Conception et construction nécessitant un expert
- * Formation du personnel requise.
- Formation nécessaire du personnel.

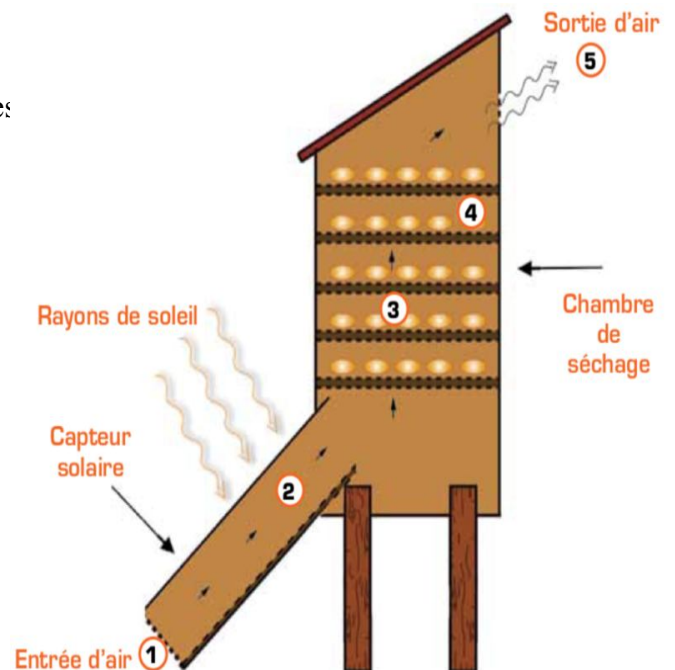


Figure I.3: Les séchoirs solaires indirects

I.8.2.Les séchoirs solaires directs

Les fruits et légumes sont généralement séchés directement sur le sol, le long des routes, sur des nattes, des rochers plats et sur les toits des maisons. Les aliments sont exposés à la poussière, aux insectes et aux intempéries. Ces systèmes peuvent être améliorés grâce à quelques techniques simples, faciles à mettre en œuvre et qui, dans de nombreux cas, suffisent à augmenter significativement la qualité des produits : figure (I.4.A, B) [12].

Les séchoirs solaires directs sont conçus pour laisser le rayonnement solaire pénétrer directement dans l'armoire de séchage, où il est converti en chaleur par le produit de séchage et les différentes parois qu'il rencontre.. [13]

Les séchoirs solaires directs se composent d'un caisson de forme variable qui couvre le rayonnement solaire en utilisant du verre ou du film plastique. À l'intérieur du caisson, il y a des claies entre lesquelles l'air circule principalement par convection naturelle. La figure (I.4.C.D.) montre que certains modèles de séchoirs sont faciles à construire et peu coûteux car on peut utiliser des matériaux locaux.

Cependant, malgré leur simplicité, ils ont des inconvénients tels que leur faible capacité, leur faible rendement et leur séchage irrégulier et non uniforme en raison d'une convection naturelle non contrôlée. potentielle détérioration du rayonnement solaire en raison de réactions photochimiques ou de surchauffes superficielles, etc. Il n'y a que quelques séchoirs à convection forcée utilisés pour sécher les fruits, qui sont disposés en une seule couche sur des étagères horizontales à l'intérieur d'un séchoir-capteur qui ressemble à une boîte parallélépipédique (I.4.E) avec une vitre sur la face supérieure qui laisse passer le rayonnement solaire et un plan noir isolé à l'arrière pour éviter les pertes thermiques.. [14]

Le séchoir à coquillages est un autre type de séchoir solaire. Il est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle est peinte en noir et les trous dans la tôle inférieure et supérieure permettent la circulation de l'air.

L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques: figure (I.4.F). [15]

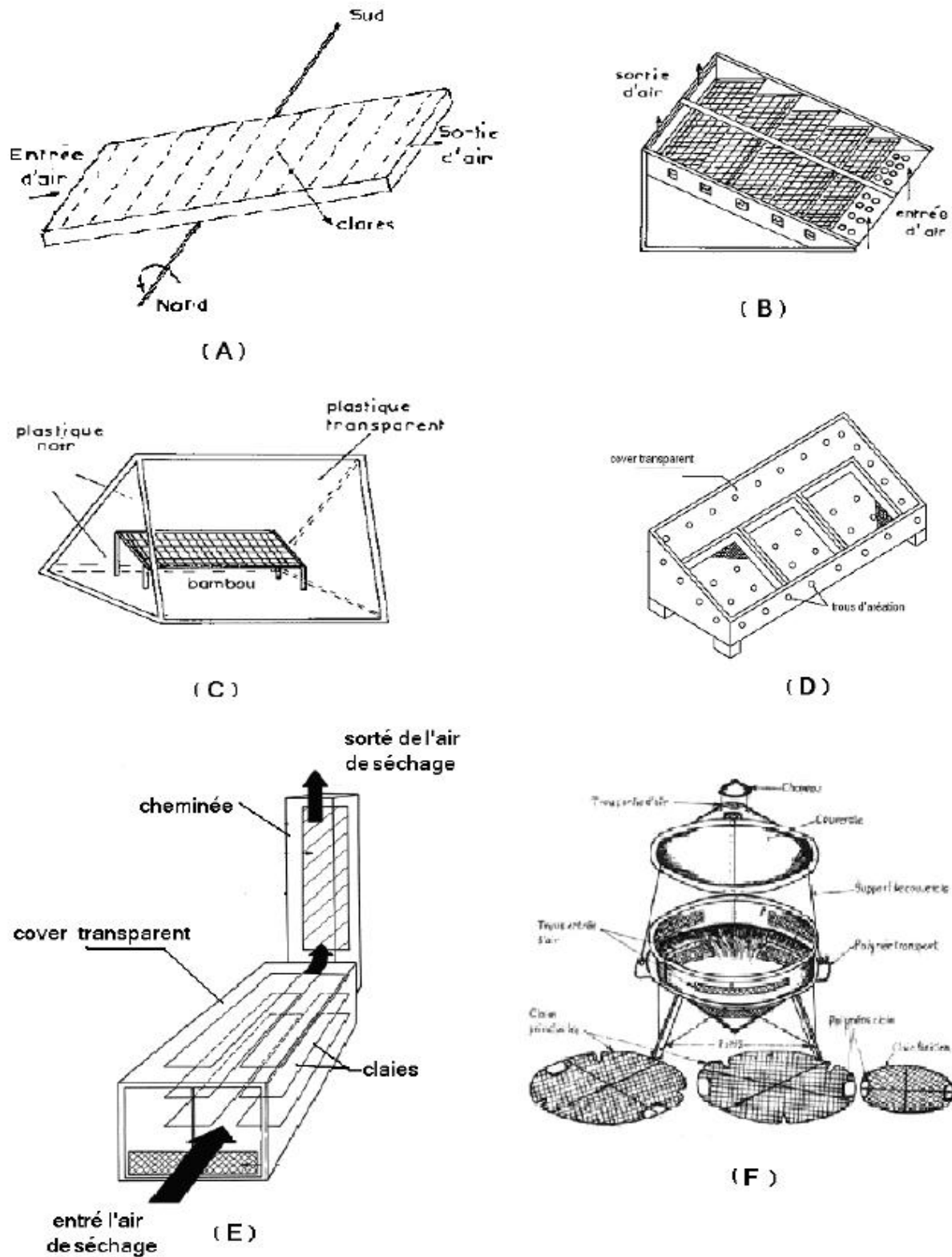


Figure I.4: Les séchoirs solaires directs

Avantages:

- Mieux protégé contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie que le séchage traditionnel
- Pas besoin de main-d'œuvre qualifiée • De nombreuses possibilités de conception.

Inconvénients:

- L'exposition au soleil détériore la qualité, entraîne la perte de vitamine A et C, le flétrissement et la décoloration. [16]
- * Les matériaux en polyéthylène sont fragiles et nécessitent une rotation régulière.
- Une température relativement élevée dans le séchoir contribue à la destruction des nutriments en exposant le séchoir au soleil. [17]
- Une faible circulation de l'air augmente le risque de moisissure et limite la vitesse de séchage.

I.8.3.Les séchoirs solaires mixtes

Ces séchoirs combinent des appareils de séchage direct et indirect. Le rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire produisent la chaleur nécessaire pour le séchage dans ce type de séchoir.

Un séchoir mixte à circulation naturelle (figure 1.5.A) a les mêmes composants structuraux qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage et cheminée), mais les parois sont équipées de plaques de verre, ce qui signifie que le rayonnement solaire pénètre directement dans le produit comme dans un séchoir intégral [18].

Un capteur à air recouvert d'une plaque de verre est utilisé dans une autre conception (figure 1.5.B). Le compartiment de séchage avec des claies superposées, Les murs sont recouverts de contreplaqué et la surface supérieure est recouverte de verre. La cheminée solaire a une forme cylindrique et est construite avec des feuilles galvanisées avec un capot en métal pour la protéger de la pluie [19]

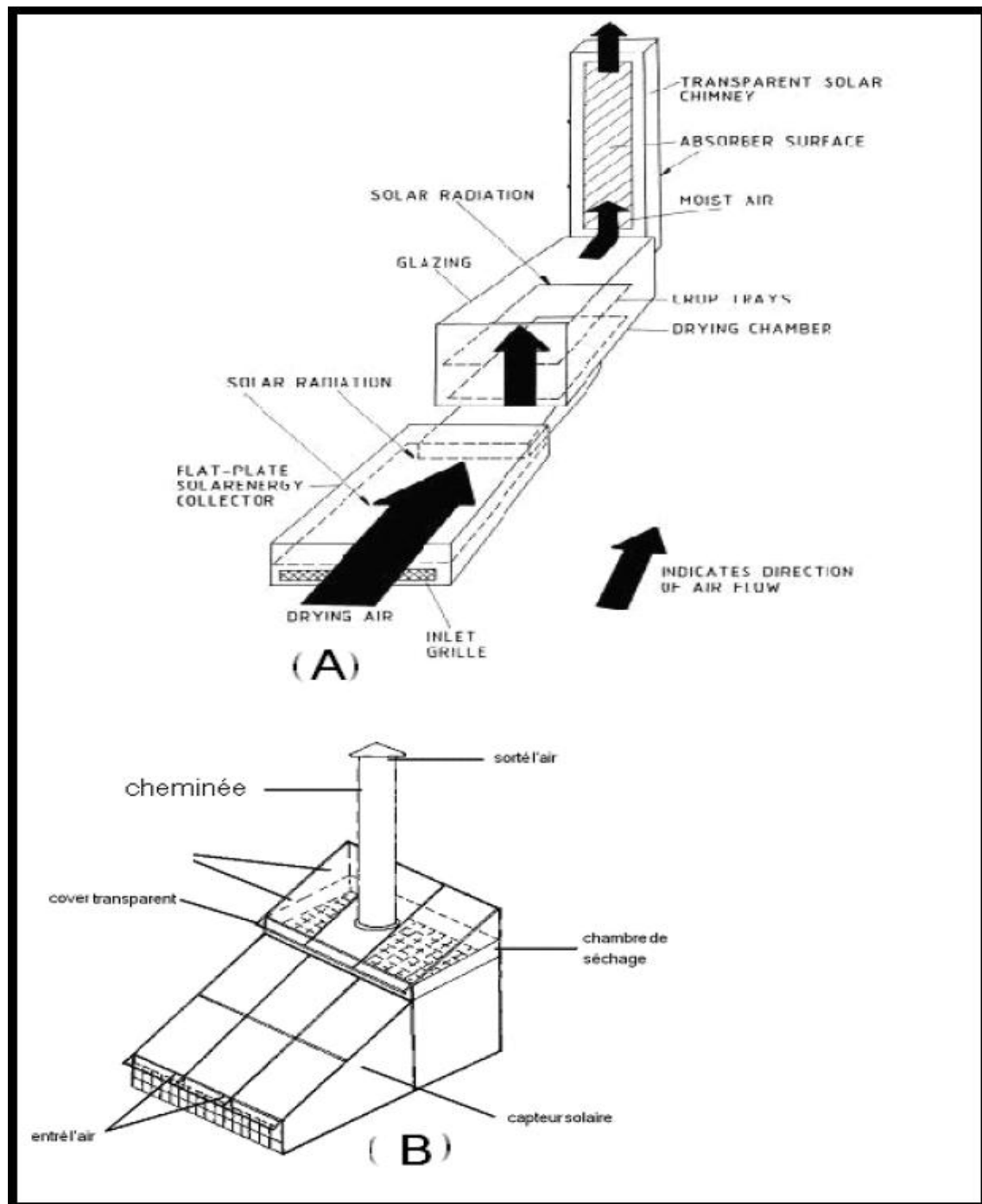


Figure I.5: Les séchoirs solaires mixtes

Avantages:

- En comparaison avec d'autres types de séchoirs solaires, la production est significativement plus élevée.. [20]

Inconvénients:

- En comparaison avec d'autres types de séchoirs solaires, la production est significativement plus élevée.. [20]

I.8.4.Les séchoirs hybrides

Malgré les progrès techniques, le processus de séchage est difficile à contrôler. Les conditions météorologiques restent dépendantes du producteur. En cas de pluie ou de temps nuageux, les séchoirs ne fonctionnent plus correctement..

La durée de séchage est souvent supérieure à une journée. Les produits encore humides sont vulnérables aux attaques microbiennes car le matériel ne fonctionne pas la nuit..

Afin de remédier à ces problèmes, les études se sont concentrées sur des séchoirs hybrides qui utilisent des sources d'énergie supplémentaires telles que le fuel, l'électricité, le bois, le gaz et les sous-produits végétaux.

Deux endroits du séchoir peuvent fournir de l'énergie supplémentaire [21]

- Un brûleur à gaz, une résistance électrique ou un feu de bois maintiennent la température du séchoir constante. L'énergie solaire devient alors secondaire. Elle ne sert qu'à préchauffer l'air : illustration (1.6.A).

- * Les ventilateurs électriques augmentent la circulation de l'air. Grâce à une meilleure ventilation, le séchoir a une plus grande capacité d'évaporation que l'énergie solaire. figure(1.6.B).

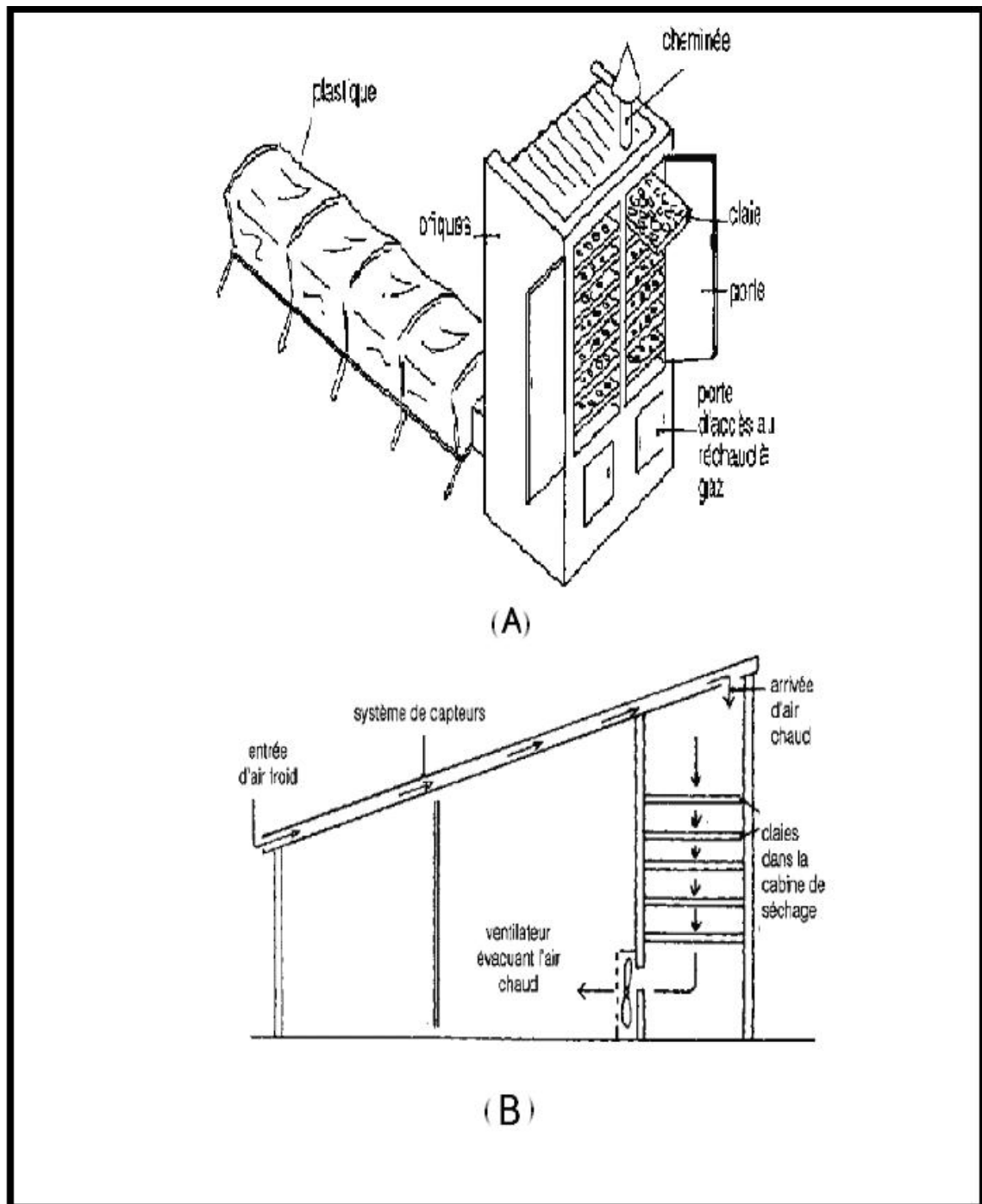


Figure I.6: Les séchoirs solaires hybrides

Avantages

- Libération du climat.
- Mieux gérer le séchage.
- Une augmentation significative de la productivité par rapport au séchoir solaire car le matériau peut fonctionner la nuit ou pendant la saison des pluies si nécessaire..

Inconvénients

- Coûts élevés de production et d'investissement.
- Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, gaz et pièces de rechange.
- Personnel qualifié pour la maintenance..

I.9.Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage

Il existe plusieurs facteurs qui sont influencés par les conditions de l'air

I.9.1.L'impact de la température de l'air

La vitesse de séchage est fortement influencée par la température de l'air asséchant. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît à la température de l'air, qui est d'autant plus importante que la température de l'air élevée. Les conductivités de l'eau dans le produit deviennent donc cruciales.[21].

I.9.2.Influence de la vitesse de l'air :

La vitesse de l'air a un impact significatif sur la cinétique de séchage, en particulier au début de l'opération. Cependant, l'influence de la vitesse de séchage de l'air est très faible pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par le transport interne de l'eau. [21].

I.9.3. Influence de l'humidité de l'air:

la teneur en eau de l'air a un impact significatif sur le comportement des cinétiques de séchage de certains produits; il semble que cette influence soit plus importante au début du séchage et diminue avec l'augmentation de la température de l'air. [21].

Conclusion

Dans le premier chapitre, nous avons examiné le séchage solaire, qui est l'une des utilisations les plus efficaces des énergies renouvelables, car il utilise une variété de méthodes et d'outils..

CHAPITRE II

***Conception et simulations des
paramètres à l'aide d'ANSYS***

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS

Introduction :

Dans ce chapitre, une simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel ANSYS Workbench spécialement conçu pour la dynamique des fluides computationnelle (CFD). CFD Computational Fluid Dynamics (ou en français : Dynamique des Fluides Numériques) est un ensemble de méthodes numériques permettant d'obtenir une solution approchée aux problèmes de dynamique des fluides et de transfert de chaleur. Équations de la mécanique des fluides sur cette équation par des méthodes numériques. Cela permet de faire moins d'hypothèses et une approche analytique qui permet de résoudre des problèmes relativement complexes. Aussi, beaucoup moins cher que l'approche expérimentale. D'autre part, il est limité à l'ordre des méthodes numériques utilisées, et cela signifie le modèle computationnel et exact. Les efforts et les progrès des méthodes numériques, en particulier dans les CFD depuis lors, sont révélateurs de son intérêt. Le CFD précédent définit et évalue mieux le problème.

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continues à un problème discret repose sur les méthodes classiques d'analyse numérique. Il existe trois façons principales de formuler un problème continu sous forme discrète, la méthode des différences finies, les éléments finis et les tailles finies. La méthode utilisée par le code "FLUENT" est la méthode des grandeurs finies. Le poste de travail utilisé pour cette simulation est un PC (Windows 10) avec un microprocesseur Intel Core™ I5 à 2,30 GHz et 4,0 Go de RAM. La détermination des équations présentées dans le chapitre précédent qui rend compte du phénomène de transfert convectif de chaleur et d'air, permet de transformer ces équations différentielles en un système d'équations algébriques. Plusieurs méthodes sont actuellement utilisées pour l'estimation, telles que : la méthode des tailles finies, des différences finies et des éléments finis, et dans cette étude, nous avons utilisé l'icône de la mécanique des fluides (Fluent), lors de l'entrée, elle parcourt quatre étapes pour atteindre la finale résultat: [22]

Ils sont les suivants :

- * Géométrie.
- *Maillage.
- *Configuration.
- *Solution.

*Résultat.

II.1. Modélisation numérique (CFD) du prototype

La modélisation CFD d'un modèle de séchoir permet d'éliminer les coûts financiers liés au développement de modèles non valables et à leur validation expérimentale. Dans cette optique nous allons procéder à une analyse CFD du séchoir afin de pouvoir juger de la nécessité ou pas d'apporter des modifications au niveau du prototype conçu. une vue de côté du séchoir modélisé en 3D, comme on peut le remarquer sur cette figure, le séchoir peut être sectionné en trois parties dont :

- * Une qui correspond au capteur à air en entier
- * Une deuxième qui va de l'orifice d'emboîtement du capteur dans la cabine au diffuseur d'air logé dans la cabine
- * Et une troisième qui va du diffuseur d'air à la porte de la cabine

II.2. Présentation de la CFD et du logiciel de travail

II.2.1.Définition au CFD

La mécanique des fluides numériques, généralement abrégée en CFD (Computation Fluid Dynamics), est une branche de la mécanique des fluides qui utilise des modélisations mathématiques et des algorithmes de simulations numériques pour analyser et résoudre des problèmes impliquant des écoulements de fluides [23]. Des ordinateurs sont utilisés pour effectuer les calculs nécessaires pour simuler l'interaction du fluide avec des surfaces définies par des conditions aux limites. Elle fournit une prédiction qualitative et parfois quantitative des écoulements de fluides aux moyens de :

- * modélisations mathématiques (équations aux dérivées partielles) ;
- * méthodes numériques (discrétisations et techniques de résolution)
- * outils logiciels (solveurs, utilitaires de pré et de post-traitement).

II.2.2.Applications du CFD

La CFD est utilisée de nos jours dans presque tous les domaines : Aérospatiale, Architecture, Automobile, Biomédical, Procédés chimiques, Combustion, Électronique, Electricité, Informatique, Mécanique, Métallurgie, Chauffage, Ventilation et Refroidissement, Nucléaire etc [23].

Les simulations numériques des écoulements de fluides permettent par exemple:

- Aux architectes de concevoir des environnements de vie confortables et sûrs ;
- Aux ingénieurs chimistes de maximiser le rendement de leurs équipements
- Aux ingénieurs pétroliers d'élaborer des stratégies optimales de récupération du pétrole

- Aux chirurgiens de soigner les maladies artérielles (hémodynamique) ;
- Aux météorologues de faire des prévisions météorologiques et de catastrophes naturelles
- Aux experts en sécurité de réduire les risques sanitaires liés aux radiations et autres dangers
- Aux organisations militaires de développer des armes et d'estimer leurs dégâts

II.2.3 ANSYS Fluent

Notre étude CFD sera faite à l'aide de l'outil ANSYS Fluent (version académique 2020) de l'éditeur de logiciels ANSYS. ANSYS Fluent est un outil de simulation CFD qui utilise des modèles de mathématiques appliqués pour générer des simulations d'écoulement pour l'estimation du transfert de masse, de chaleur et de quantité de mouvement. Une analyse CFD implique des considérations incluant température, vitesse et débit massique. Il donne des résultats qui permettent aux chercheurs d'optimiser une conception et ses performances globales. D'une manière générale, le logiciel d'analyse CFD permet d'économiser en temps et en argent dans des observations expérimentales pour la validation des performances d'un modèle. Pour résoudre tout phénomène physique à l'aide du logiciel ANSYS Fluents, les étapes suivantes sont à suivre

- La conception de la géométrie (le domaine de calcul) au moyen de tout logiciel de CAO ou du DesignModeler de ANSYS
- La génération du maillage qui est la subdivision du domaine en un certain nombre de sous-domaines plus petits (cellules). La précision des solutions CFD et leur temps de calcul sont régis par la qualité du maillage [24]. Une bonne qualité de maillage repose sur la minimisation des éléments présentant des distorsions (skewness en anglais), et sur une bonne résolution (maillage fin) dans les régions présentant un fort gradient (couches limites, ondes de choc, etc) [25].
- Définition des propriétés des matériaux et des conditions aux limites du domaine de chaque composante du système à étudier
- Clarification des équations de conservation à appliquer à chaque cellule du maillage généré.
- Et enfin une illustration graphique des résultats obtenus qui peuvent être suivis d'un post traitement

Toutes ces étapes se résument dans le logiciel ANSYS Fluent suivant la Figure II.1 ci-dessous

:

Project Schematic

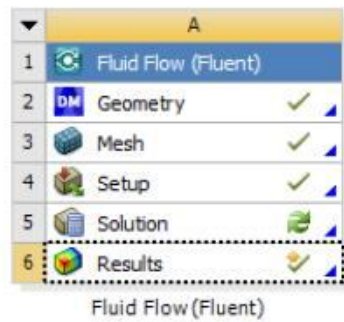


Figure II.1: Vue schématique de l'analyse dans le logiciel

II.3. Conception et Processus De Travail

II.3.1. La première interface

La première interface du programme ANSYS, où il y a des façons de travailler jusqu'au bout, et ça part de : *Géométrie. *Maillage. *Configuration. *Résultat.

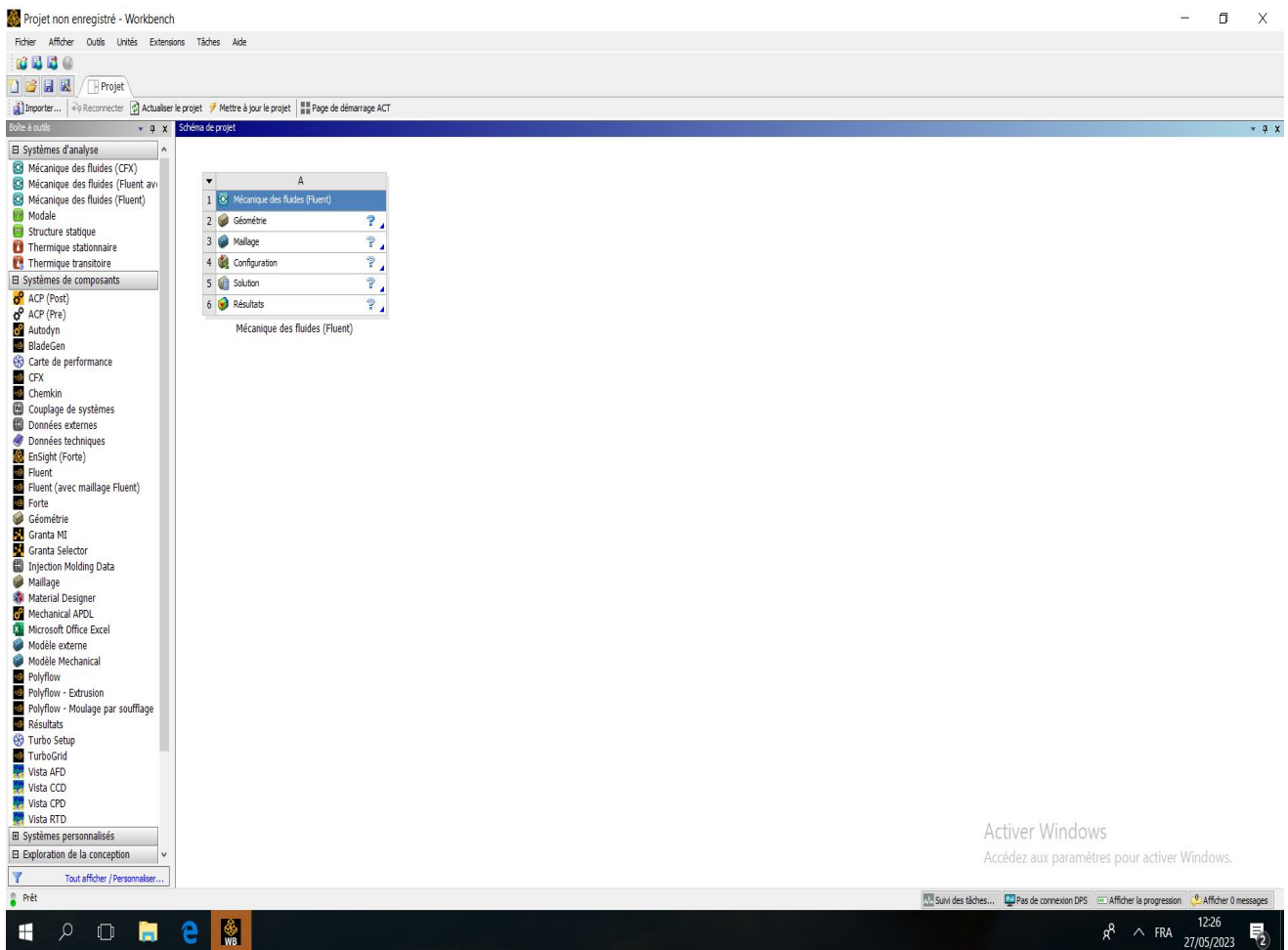


Figure II.2 : La première interface du programme ANSYS

II-3.2- La géométrie de la chambre de séchage

La deuxième étape consiste à entrer dans un géomètre et à dessiner la forme géométrique de la salle de séchage, 80 cm de haut, 50 cm de long, 50 cm de large, et sa superficie totale est de 200 000 cm².

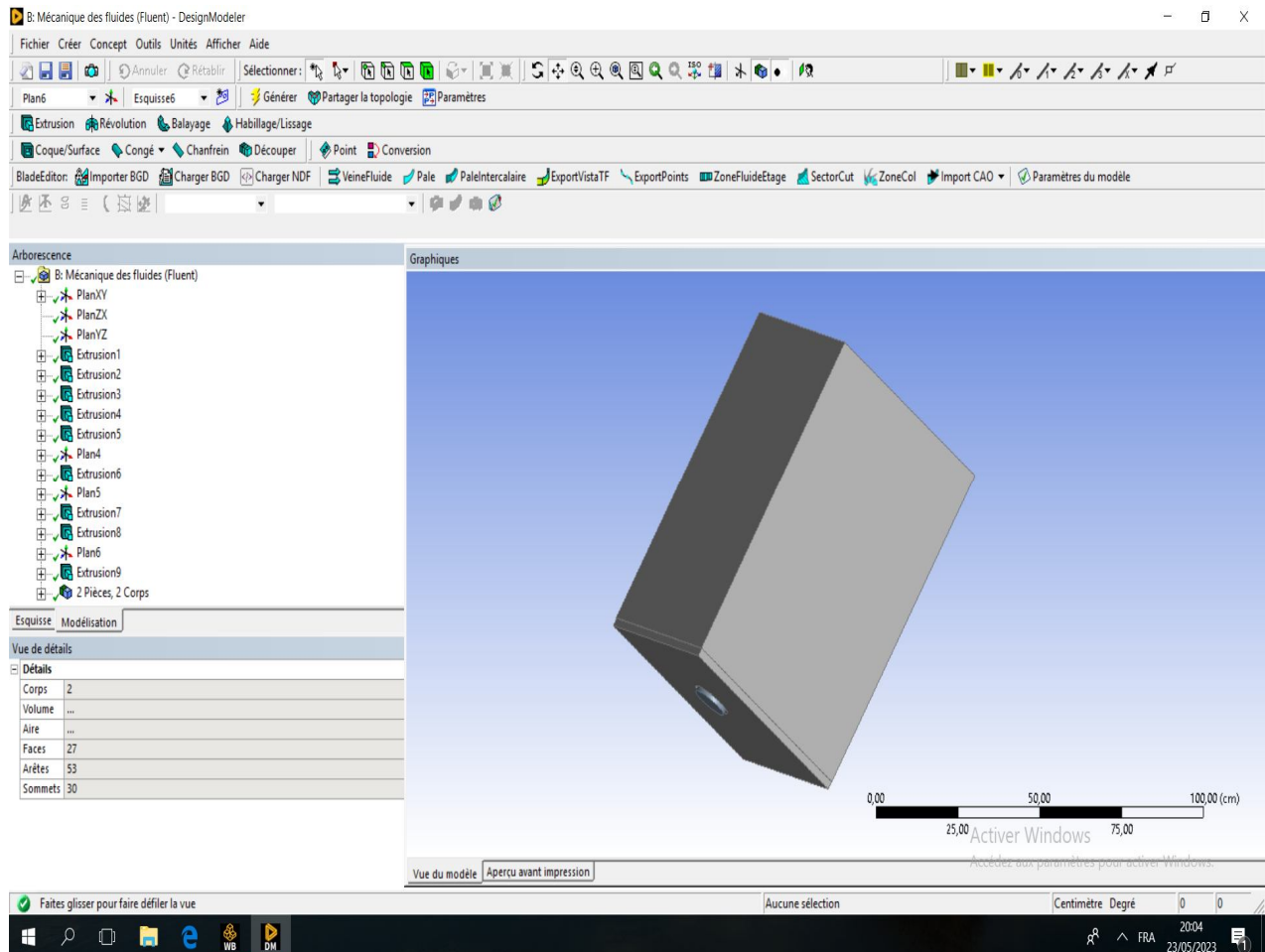


Figure II-3 : La géométrie de la salle de séchage

II-3.3.le protocole de travail

La troisième étape consiste à entrer dans le maillage, où nous effectuons un processus non général, et nous plaçons des étiquettes telles que l'endroit où l'air entre et l'endroit où l'air sort de la salle de séchage, en nommant le mur de la pièce, puis le quitter pour passer à l'étape suivante.

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS

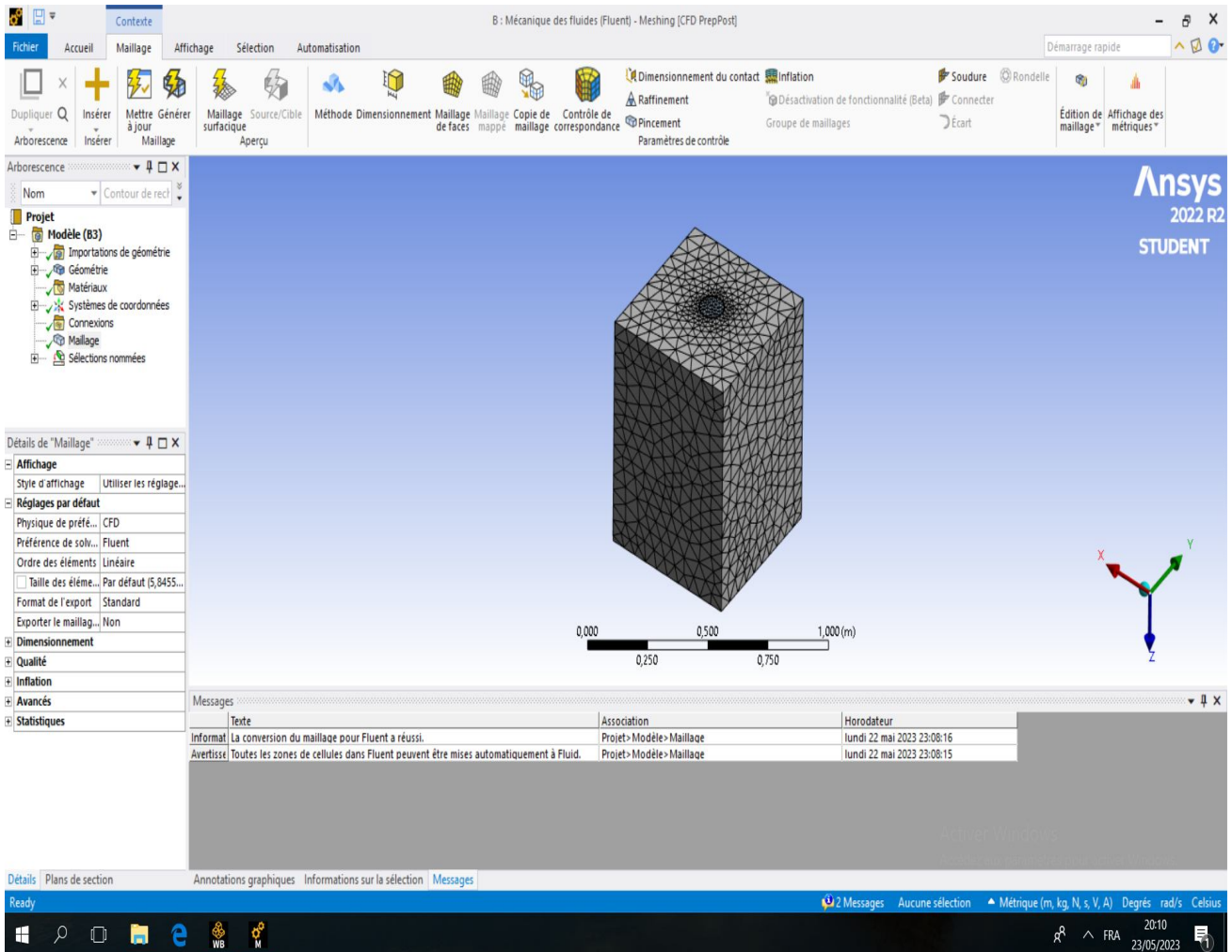


Figure II.4 : Processus du travail

II.3.4. saisie les données

La quatrième étape. Il s'agit d'entrer les informations nécessaires, que nous avons tirées de l'expérience (la température lors de l'entrée dans la chambre et la température lors de la sortie, en plus de la vitesse de l'air entrant et sortant de la chambre de séchage). Deux phases ont été appliquée dans l'expérience, et des simulations y ont été prises, et ce sont le début de l'étude, puis les températures les plus fortes que nous avons obtenues pendant la journée.

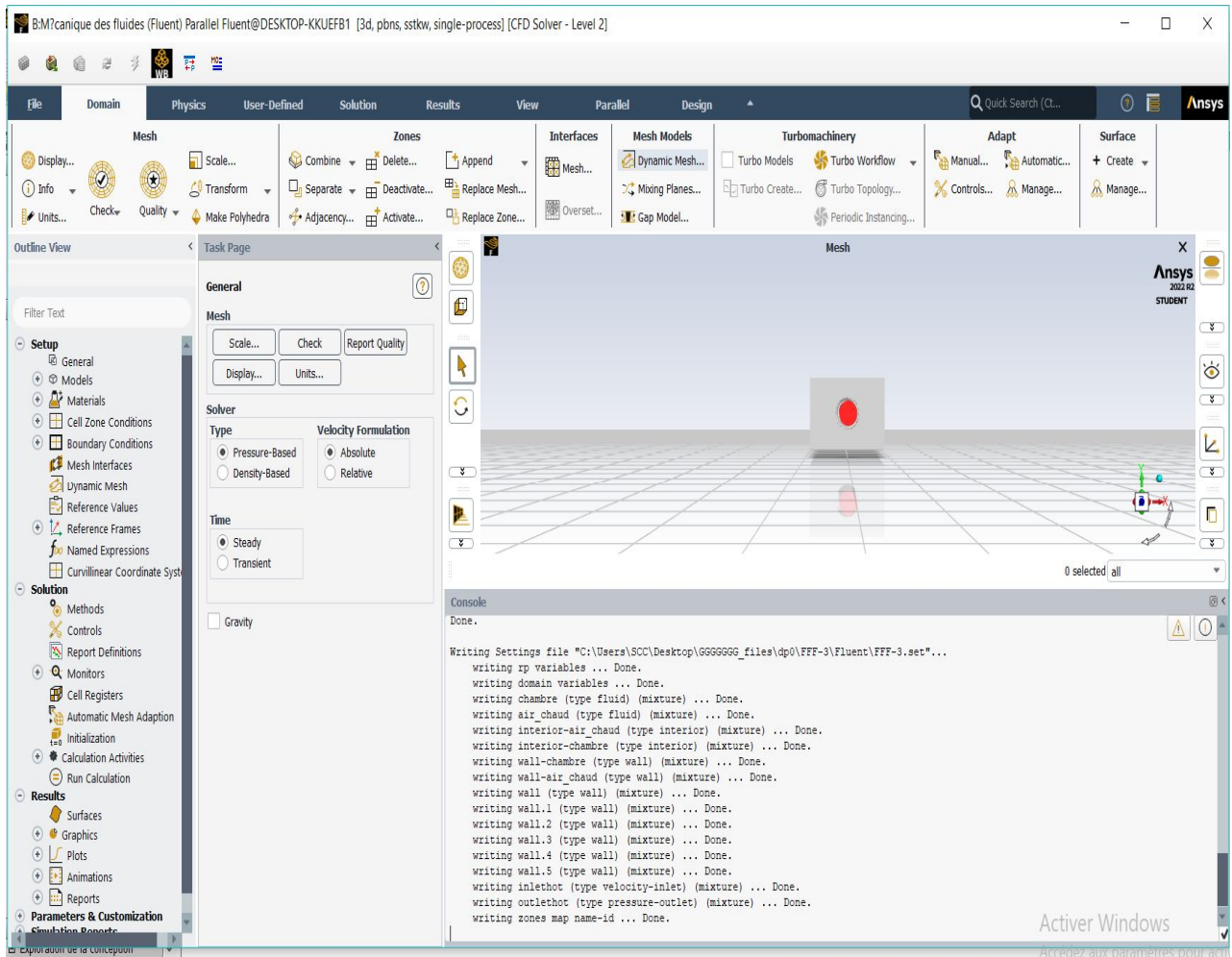


Figure II.5: saisie les information de l'expérience

II.4. Résultats de Simulation

II.4.1. Résultats de mesure de premier jour 17/05/2023

- 1^{ère} paramètre :températures
- à l'heure 08:00.

C'est le résultat des simulations pour mesurer le premier jour à l'heure 08:00 et à la température d'entrée $T_1 = 37.2^\circ\text{C}$ et la température de sortie $T_2 = 42.8^\circ\text{C}$ et à la vitesse initiale la vitesse d'entrée d'air est $V_1 1,02 \text{ m/s}$ et la vitesse de sortie d'air est de $1,25 \text{ m/s}$

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS

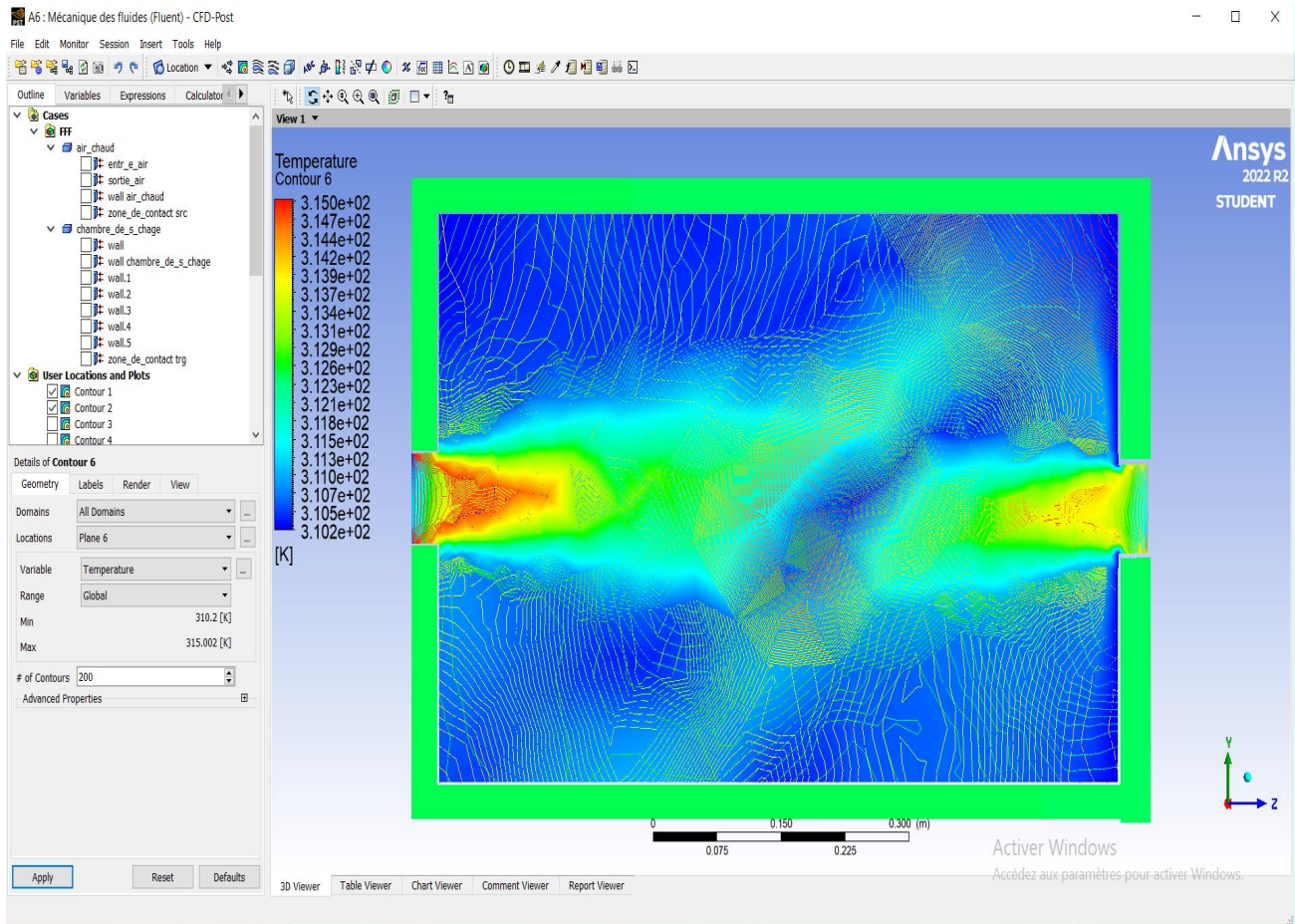


Figure II.6: la distribution la 1^{er} température de chambre pendant le vitesse 1
➤ **à l'heure 12:00.**

Sur cette photo, on voit la simulation du premier jour et la propagation de la chaleur au milieu de la chambre avec la température maximale qui a été mesurée le 17/05/2023 à midi capacité 12h00

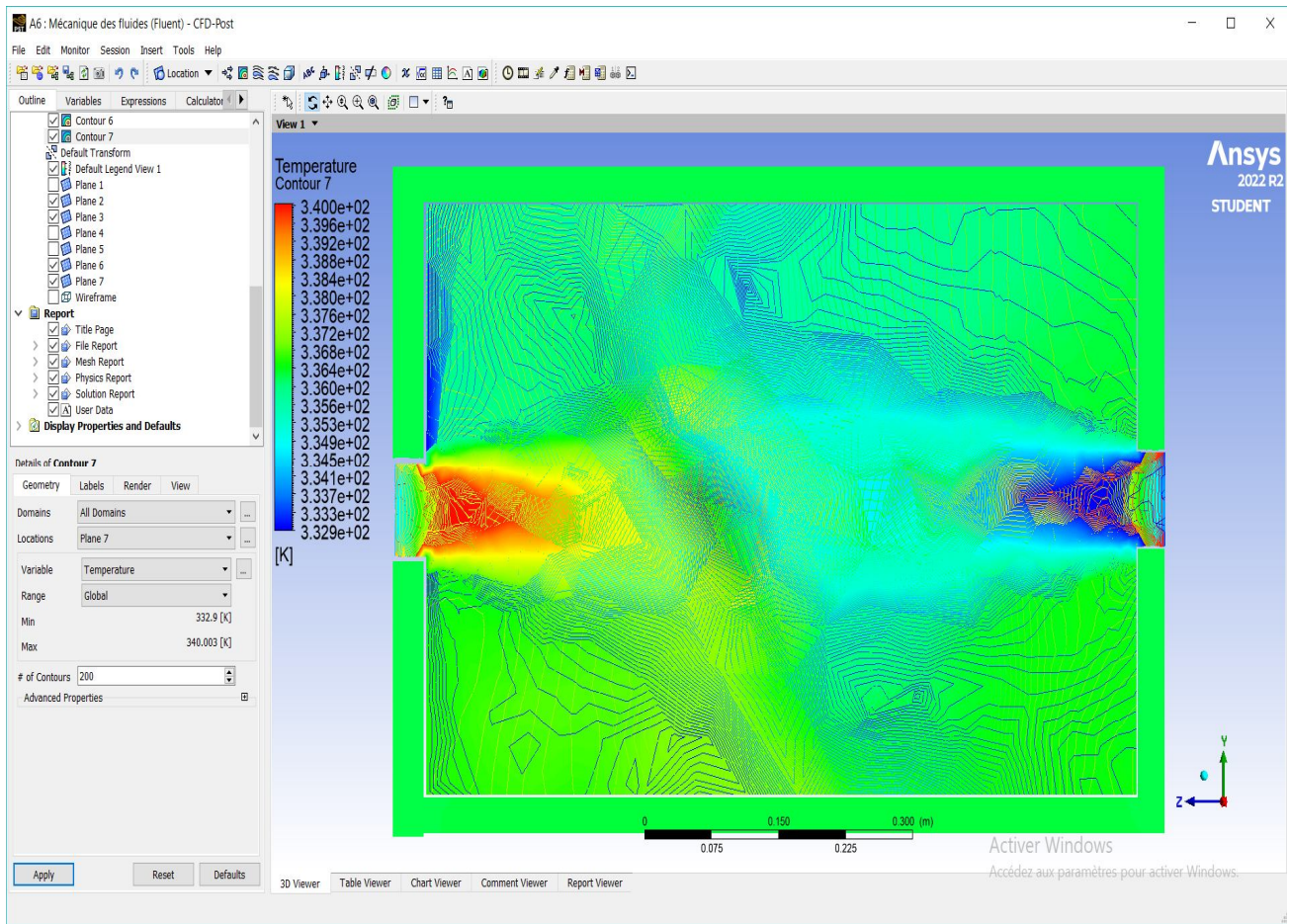


Figure II.7: la distribution la 2^{ème} température de chambre pendant le vitesse 1

➤ 2^{ème} paramètre :vitesse

➤ à l'heure 08:00

Le premier jour,a la suite des simulations, l'air s'est déplacé et sa vitesse à l'intérieur de la chambre de séchage pour mesurer le premier jour à l'heure de 08h00 et à la température d'entrée $T_1 = 37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ et la température de sortie $T_2 = 42,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à la vitesse initiale, la vitesse d'entrée d'air était de $V_{1e} = 1,02\text{ m/s}$ et la vitesse de sortie d'air était de $V_{1s} = 1,25\text{ m/s}$

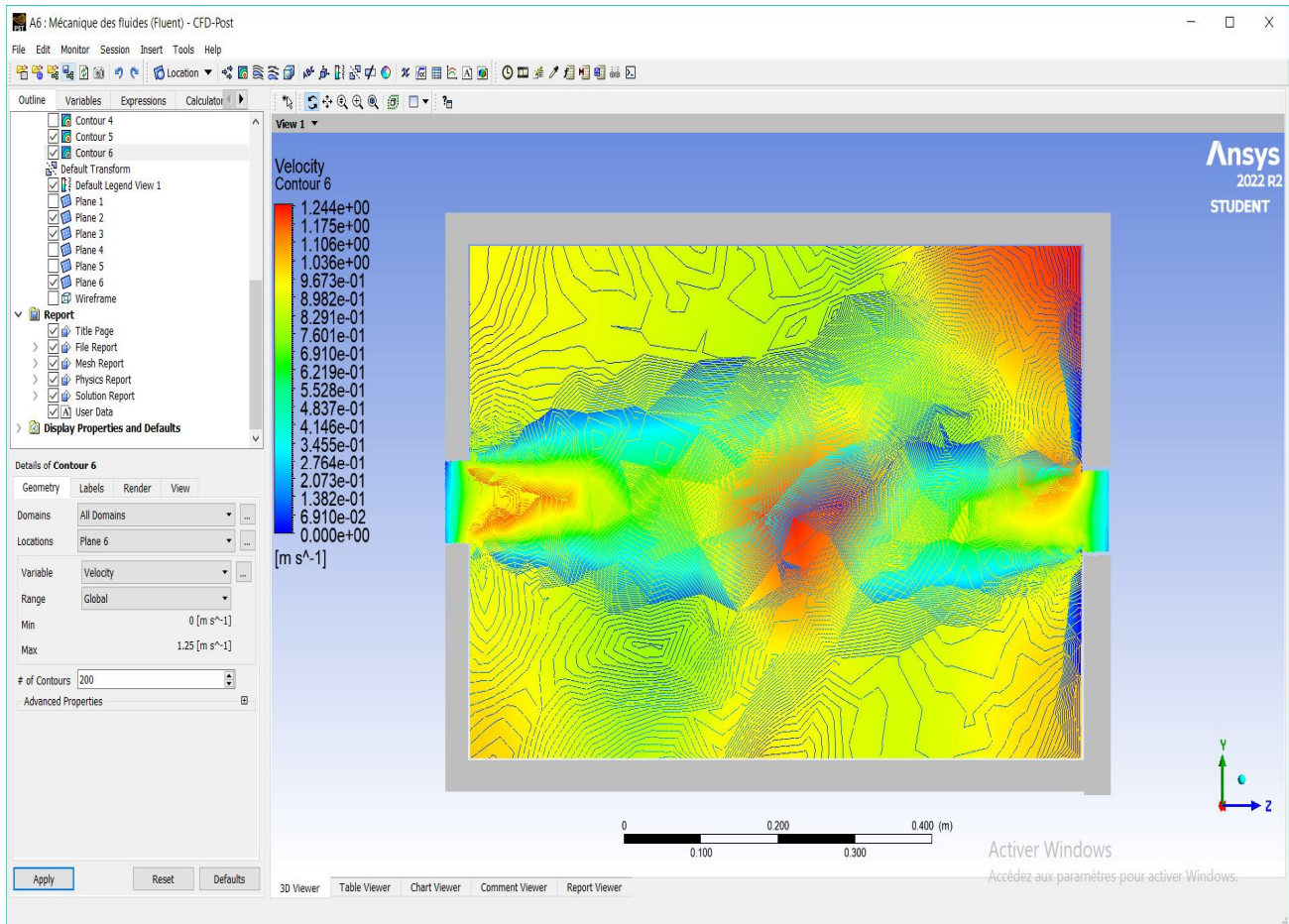


Figure II.8: la 1^{er} vitesse de l'air dans la chambre quand le vitesse 1

➤ à l'heure 12:00

Sur cette image, on voit la simulation du premier jour, la vitesse de l'air au milieu de la chambre, avec la température maximale, qui a été mesurée le 17/05/2023, à midi capacité 12h00

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS

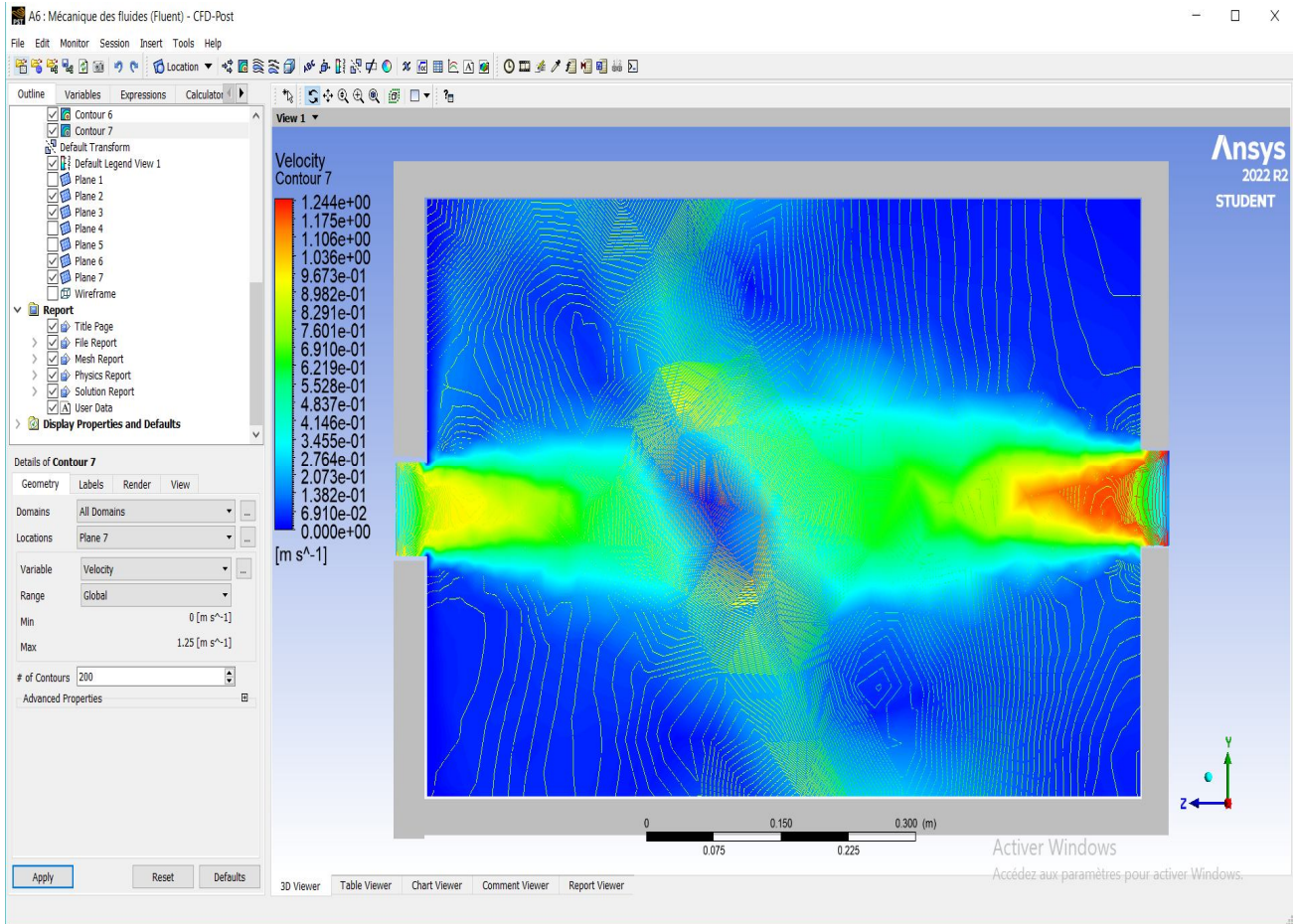


Figure II.9: la 2^{ème} vitesse de l'air dans la chambre quand le vitesse 2

➤ 3^{ème} paramètre : pression

➤ à l'heure 08:00

On voit dans cette partie la pression et sa présence à l'intérieur de la chambre de séchage avec les mêmes résultats de mesure pour le premier jour de la température la plus basse de la journée

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d' ANSYS

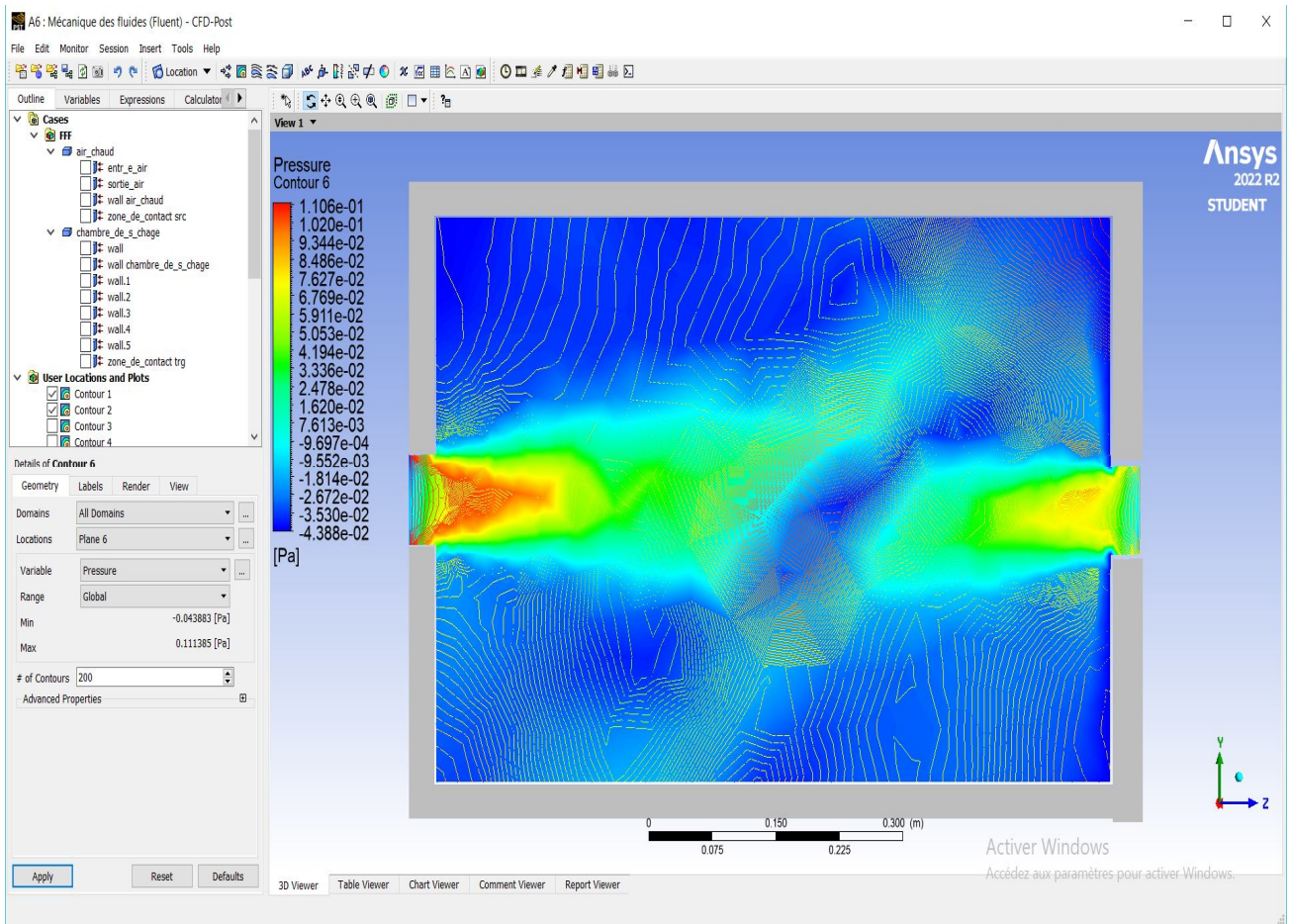


Figure II.10: le 1^{er} pression dans la chambre pendant le vitesse 1

➤ à l'heure 12:00

Sur cette image, on voit la simulation du premier jour, la montée en pression et son agglomération au milieu de la chambre, avec la température maximale qui a été mesurée le 17/05/2023 à midi capacité 12h00

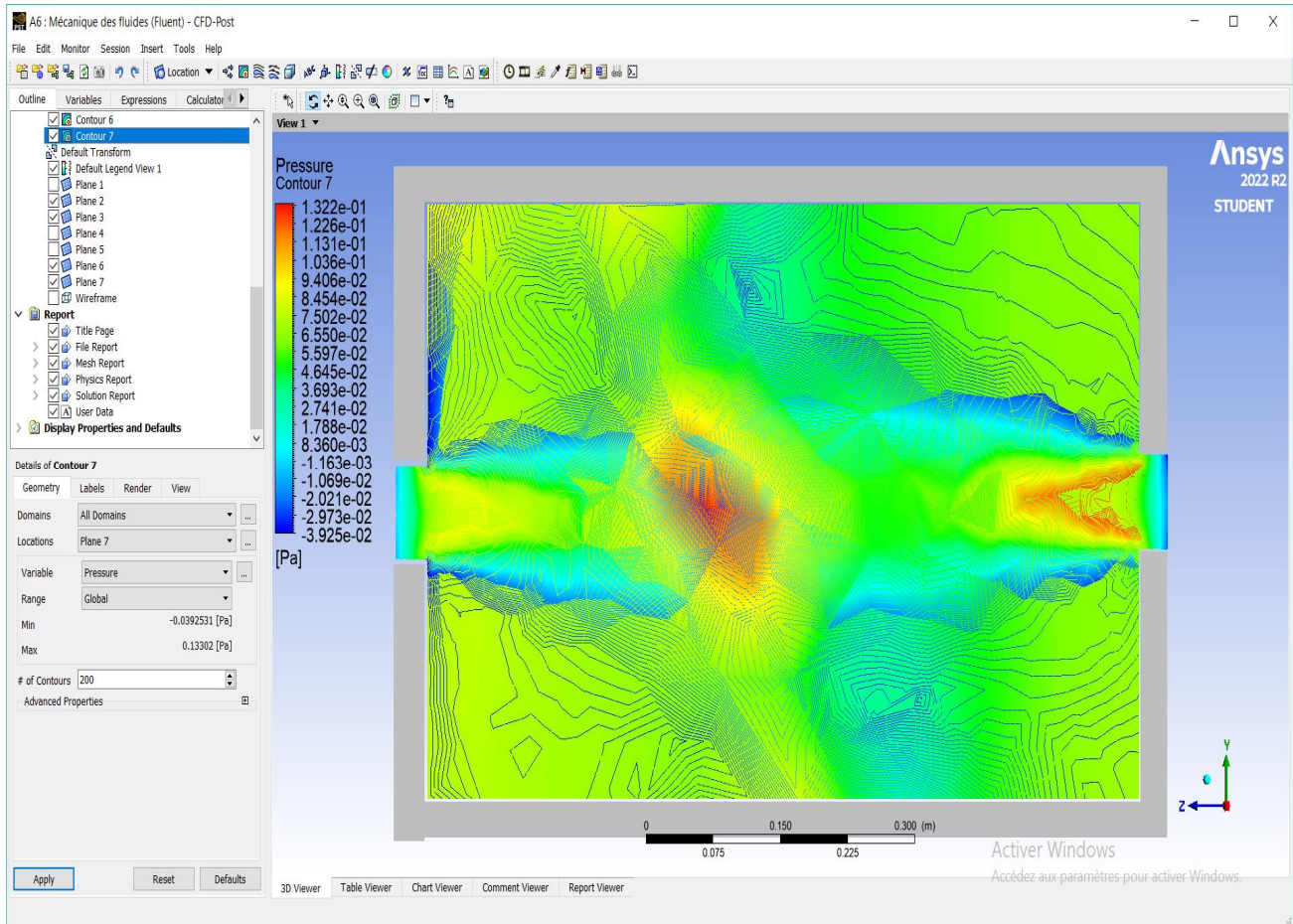


Figure II.11: la 2^{ème} pression de la chambre pendant vitesse 1

II.4.2. Résultats de la deuxième jour 18/05/2023

➤ 1^{ère} paramètre :températures

❖ à l'heure 08:00

Simulation du deuxième jour à une température minimale pendant la journée à 08h00 et l'observation de la propagation de la chaleur dans la chambre de séchage avec l'entrée de la température de $T_3 = 41,8\text{ °C}$ et la sortie de la température de $T_4 = 32,8\text{ °C}$ avec une différence de 9 degrés

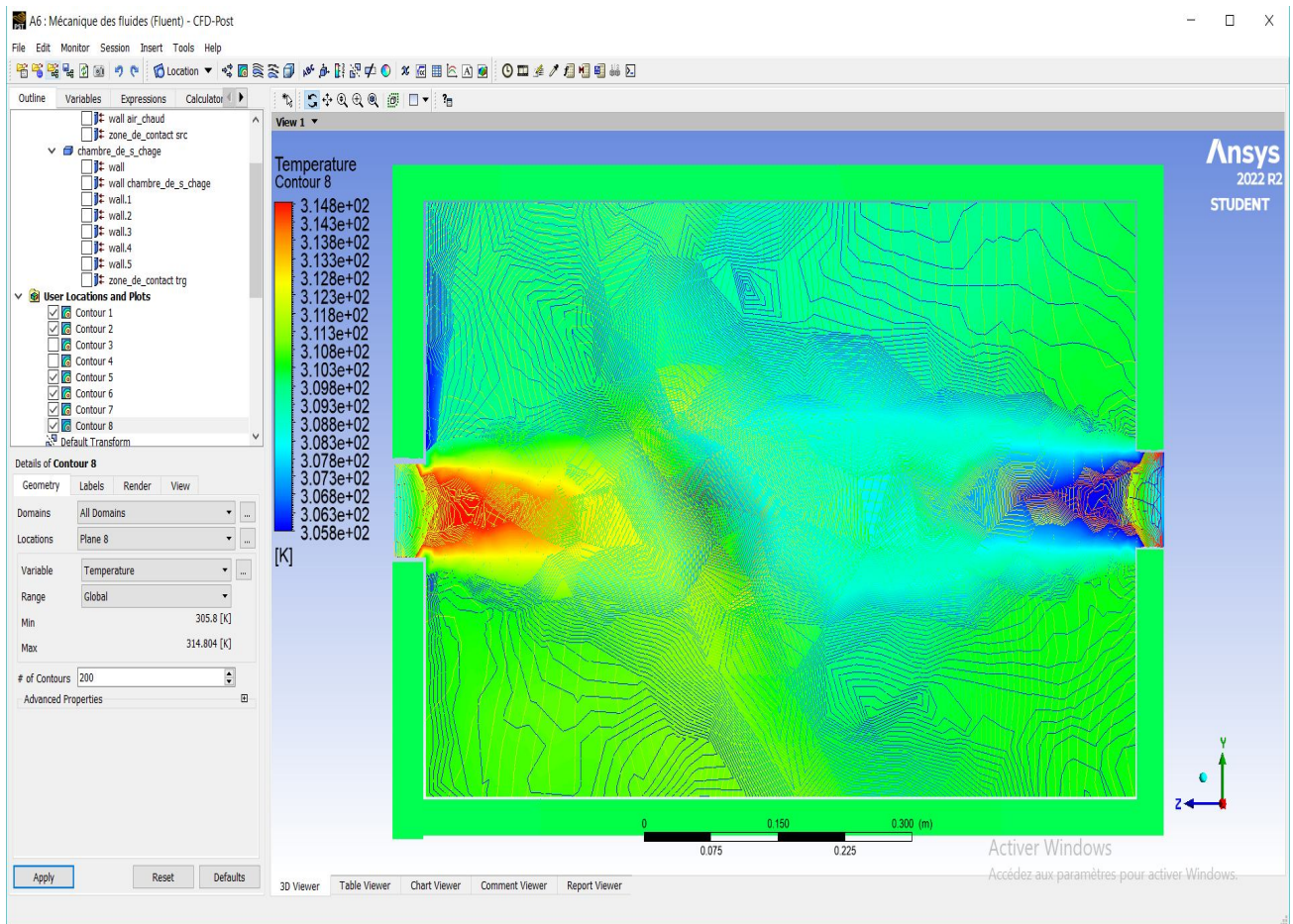


Figure II.12: la 1^{er} température de la chambre pendant vitesse 2

❖ à l'heure 13:00

Simulation du deuxième jour sur la température du plus gros pendant la journée à 13h00 et notez la propagation de la chaleur dans la chambre de séchage avec la température d'entrée de $T_3 = 67,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ et la température de sortie de $T_4 = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec une différence de 11,6 degrés et la vitesse de l'air à l'intérieur $V_{2e} = 2\text{ m/s}$ et la vitesse de l'air à l'extérieur $V_{2s} = 2,5\text{ m/s}$

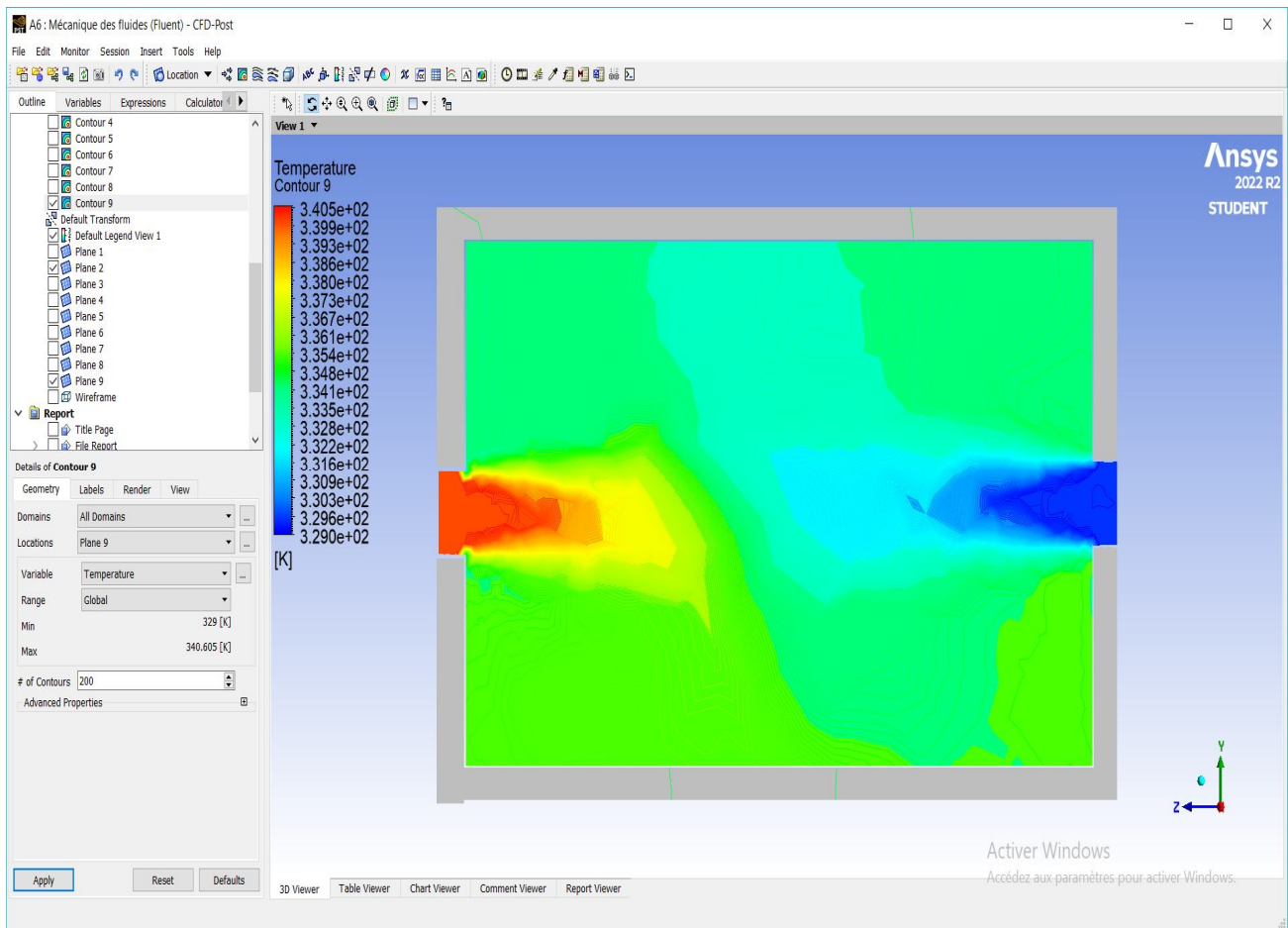


Figure II.13: la 2ème température de la chambre pendant le vitesse 2

➤ 2^{ème} paramètre :vitesse

➤ à l'heure 08:00

Simulation pour le deuxième jour sur la minimum température de la journée à 08h00 et suivi de la vitesse de l'air dans la chambre de séchage avec une température d'entrée $T_3 = 41,8^\circ\text{C}$ et une température de sortie $T_4 = 32,8^\circ\text{C}$ avec une différence de 9 degrés et une vitesse d'air d'entrée $V_{2e} = 2\text{m/s}$ et une vitesse d'air sortant $V_{2s} = 2,5\text{ m/s}$

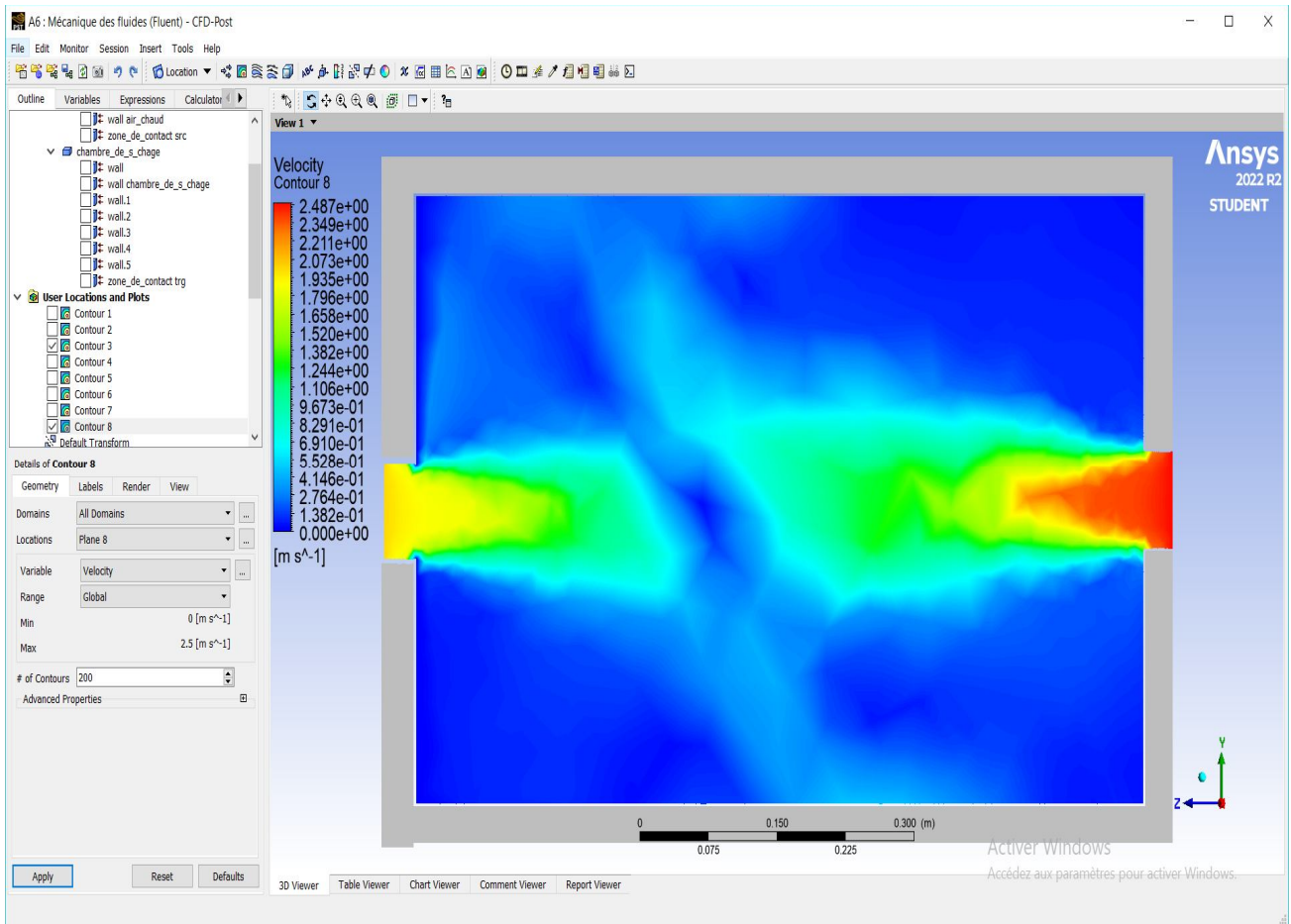


Figure II.14: la 1^{er} vitesse de la chambre pendant le vitesse 2

❖ à l'heure 13:00.

Simulation pour le deuxième jour sur la minimum température de la journée à 13h00 et suivi de la vitesse de l'air dans la chambre de séchage avec une température d'entrée $T_3 = 67.6^\circ\text{C}$ et une température de sortie $T_4 = 56^\circ\text{C}$ avec une différence de 11.6 degrés et une vitesse d'air d'entrée $V_{2e} = 2\text{m/s}$ et une vitesse d'air sortant $V_{2s} = 2,5\text{ m/s}$

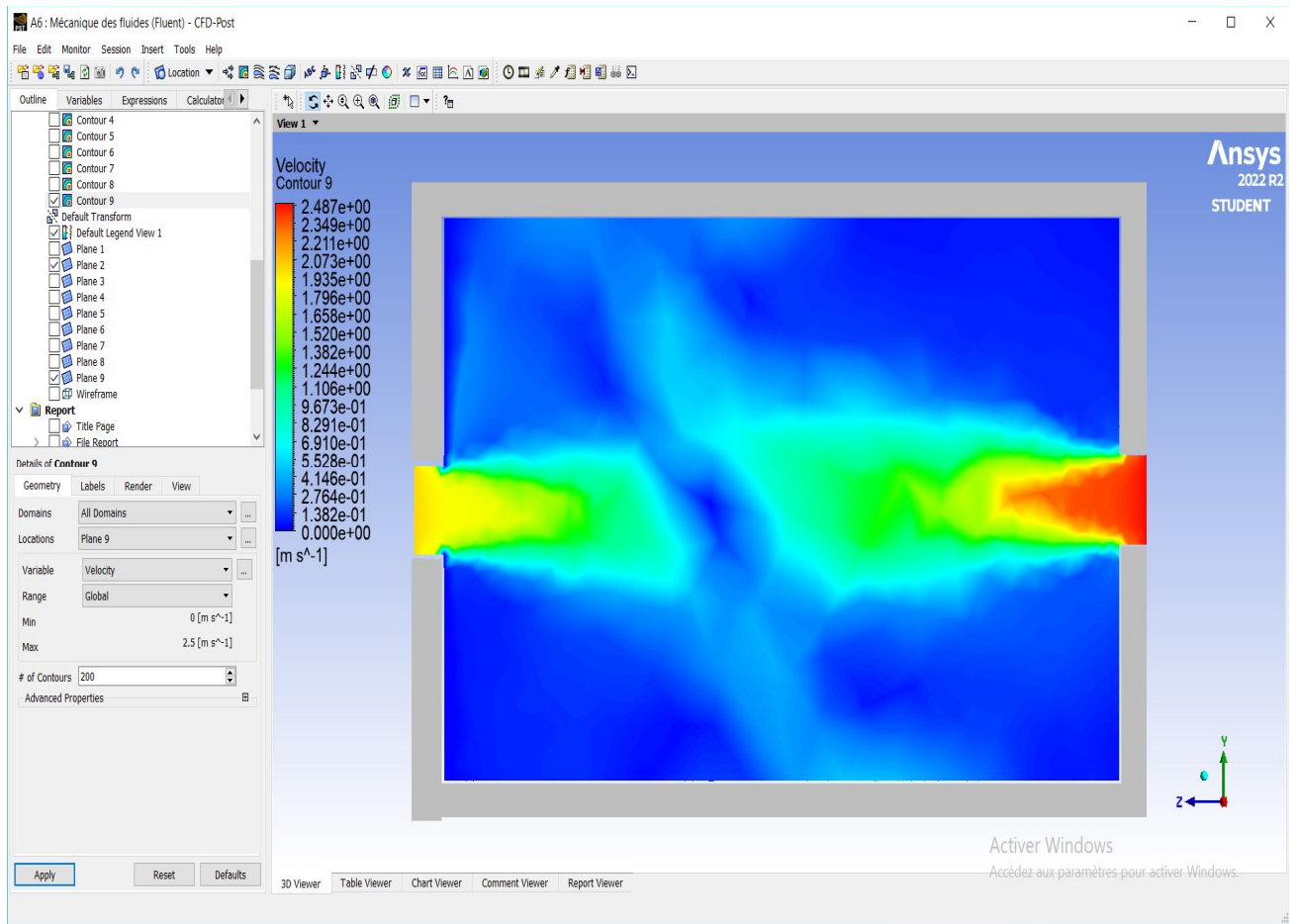


Figure II.15: la 2^{ème} vitesse de la chambre pendant le vitesse 2

➤ 3^{ème} paramètre : pression

➤ à l'heure 08:00.

Sur cette image, on voit la simulation du deuxième jour, la montée en pression et son agglomération au milieu de la chambre, avec la température minimale qui a été mesurée le 18/05/2023 à 08h00 .

Chapitre II : Conception et simulations des paramètres à l'aide d'ANSYS

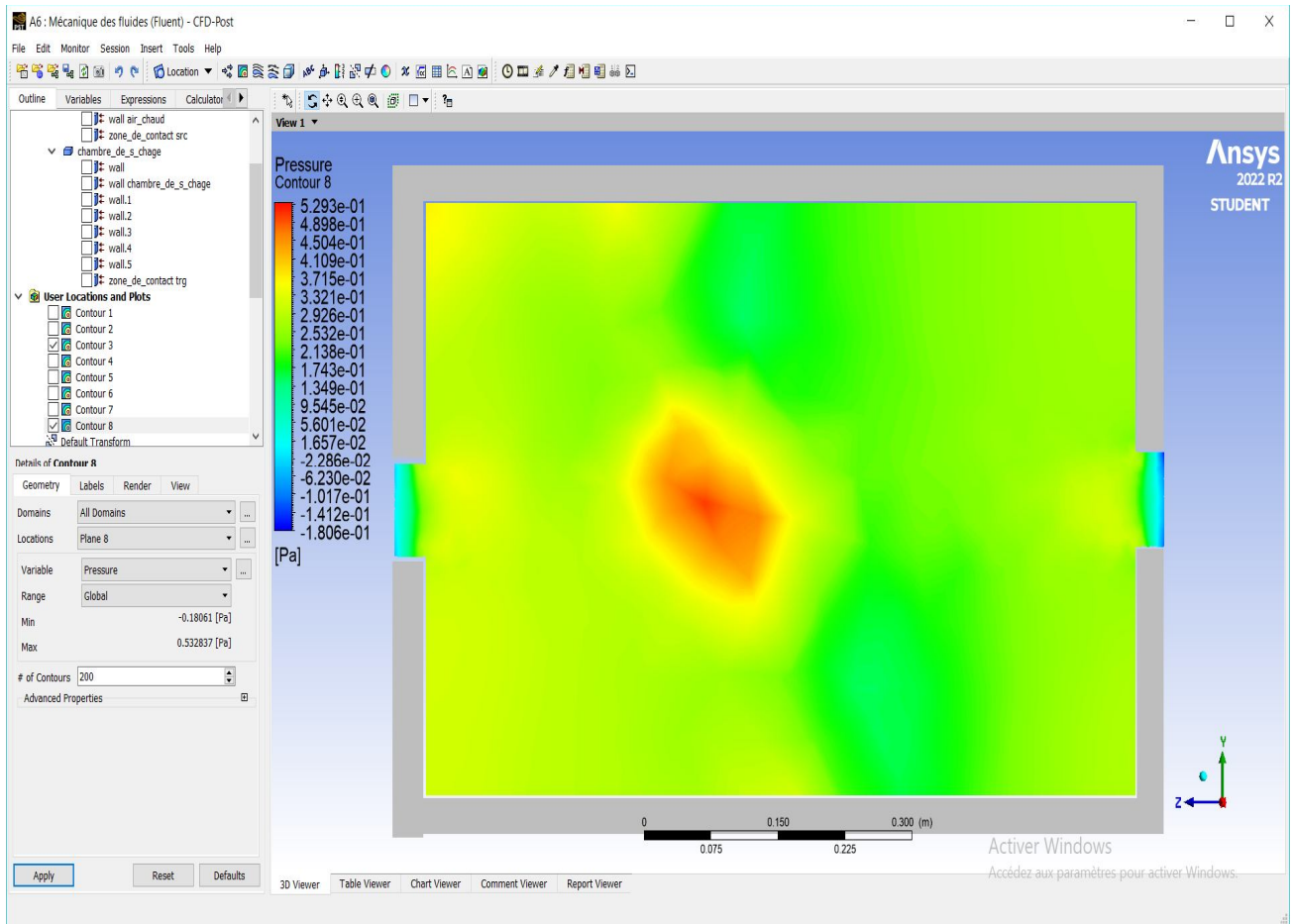


Figure II.16: le 1^{er} pression de la chambre pendant le vitesse 2

➤ à l'heure 13:00.

Sur cette image, on voit la simulation du deuxième jour, la montée en pression et son agglomération au milieu de la chambre, avec la température maximale qui a été mesurée le 18/05/2023 après midi 13h00

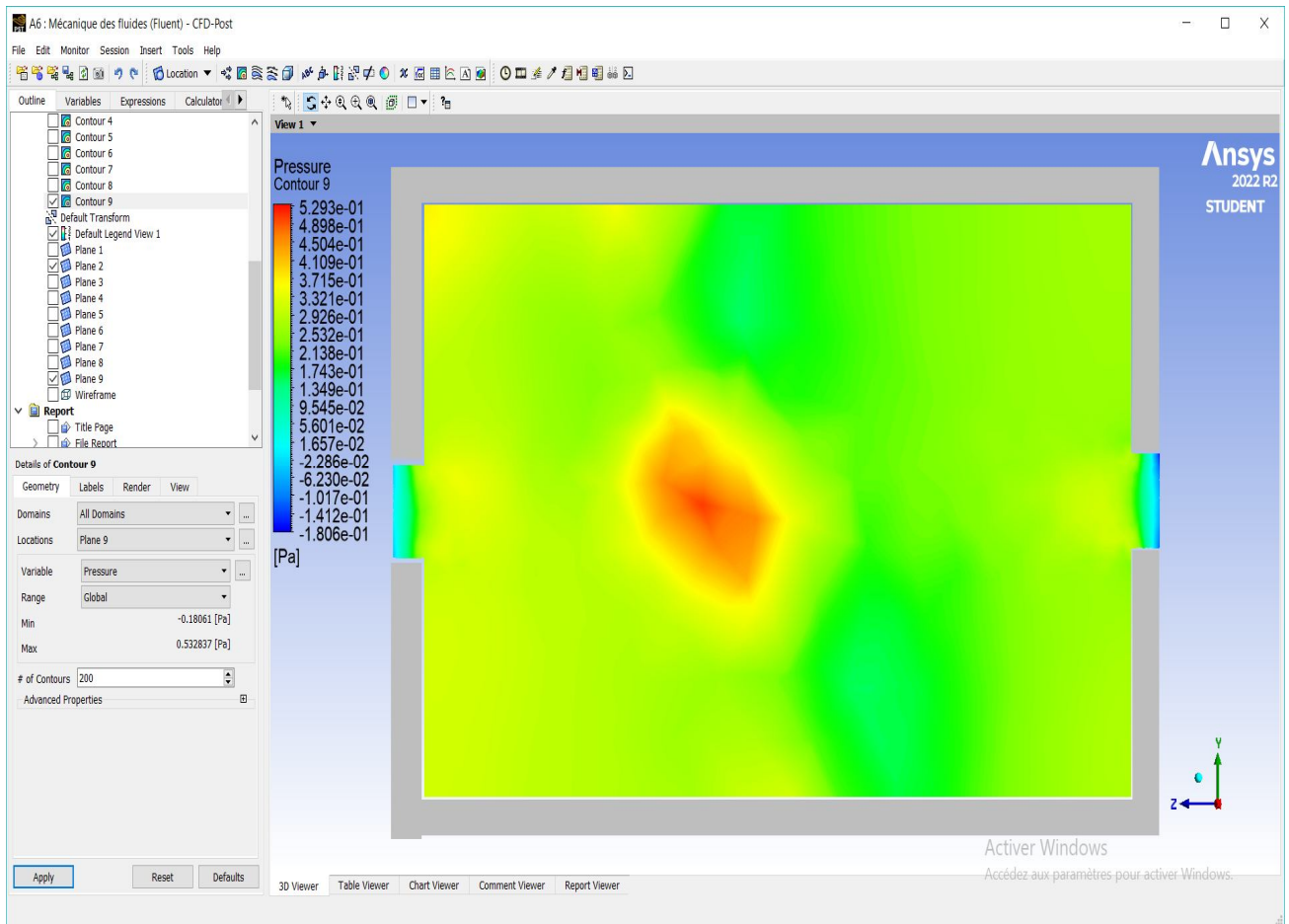


Figure II.17: la 2ème pression de la chambre pendant le vitesse 2

Conclusion

Selon l'étude des simulations à l'aide du programme ANSYS, et l'injection des paramètres et mesures expérimentales de (température, pression, vitesse d'air). Il a été déduit et obtenu l'endroit le plus approprié pour placer l'échantillon de séchage, Il est situé dans l'axe médian à une distance comprise entre 32 cm et 40 cm de l'entrée de la chambre de séchage, ce qui nous donne un processus de séchage idéal à l'intérieur de la chambre de séchage .

CHAPITRE III

Étude expérimentale : mesure et résultats

Chapitre III Etude expérimentale : mesure et résultats

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons conçu une chambre de séchage et l'avons installée avec des mesures de hauteur 80cm, longueur 50cm et largeur 50cm avec un matériau isolant (Bano Sandwich), et nous l'avons combinée avec un capteur solaire avec un tube isolant également avec un variable vitesse du ventilateur pour vider l'air de la chambre pour former un séchoir solaire indirect, et on a fait les mesures La crise est sur trois jours, le premier jour à vitesse 1 sur une chambre vide, le deuxième jour à vitesse 2 sur une chambre vide, et le troisième jour on a mesuré sur une chambre contenant l'échantillon à sécher avec un facteur auxiliaire qui est la pierre qui augmente relativement le stockage de chaleur, et on a complété l'expérience de cette façon

III.1. Description et principe du séchoir solaire étudié

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

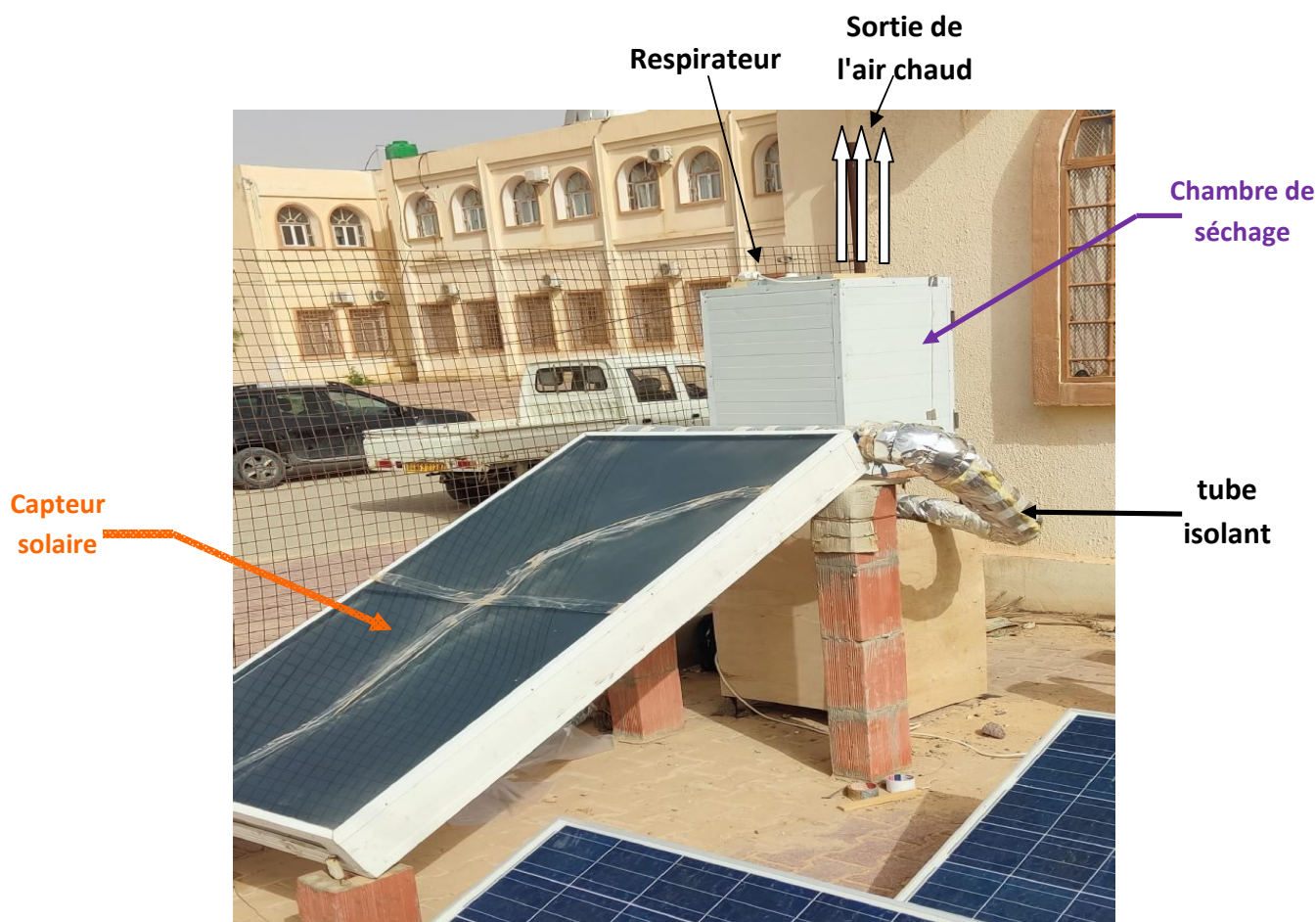


Figure III.1 : schéma de fonctionnement séchoir solaire

III.1. 1. La chambre de séchage

construction et fabrication d'une chambre de séchage à isolation thermique avec matière de panneaux sandwich 3.5 cm de forme rectangulaire. Connectée avec collecteur solaire. (séchoir solaire indirect), Elle est de hauteur 0.8 m, de longueur 0.5 m et de largeur 0.5 m ; de volume 0.2 m^3 les parois latérales, et les parties inférieure sont isolées thermiquement.

La chambre de séchage est posée sur un support métallique, les produits sont déposés sur étage de forme rectangulaire et Un ventilateur avec variateur de vitesse aspirant est installé dans la chambre de séchage pour faire sortir l'air chaud sous le flux de convection forcée.

III.2. Instruments de mesure



Figure III.2 : Instruments de mesure

III.2. 1. Mesure du rayonnement solaire

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



Figure III.3 : Solarimètre à affichage numérique

III.2. 2. Mesure des températures

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

- * entrée et sortie du capteur solaire
- * entrée et sortie chambre de séchage
- * au niveau du produit à sécher.

Les résultats de mesure des thermocouples sont affichés sur un thermomètre figure (III.4).



Figure III.4: Thermomètre

III.2.3. Mesure de la vitesse et de l'humidité de l'air

La vitesse de l'air asséchant est mesurée à l'entrée de la chambre de séchage. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un anémomètre



Figure III.5 : anémomètre

III.2.4. Mesure de la perte de masse

La mesure de la perte de masse du produit en fonction du temps est effectuée sur l'ensemble produit – claie support, à l'aide d'une balance de précision à 0,1g ; pour la pesée systématique des produits séchés



Figure III.6 : Balance numérique

III.3.principe de travail

En installant un changeur de vitesse d'air, où il expulse l'air, et nous avons utilisé deux vitesses différentes, $v_{2e} = 1,25 \text{ m/s}$ et $v_{2s} = 2,5 \text{ m/s}$, deux jours de suite, et le jour où l'échantillon de pomme de terre a été placé, nous l'avons réglé à une vitesse de $2,29 \text{ m/s}$.



Figure III.7 : respirateur de séchoir avec variateur de vitesse d'air

Intégration du changeur dans la vitesse de l'air sortant avec la chambre de séchage



Figure III.8 : chambre de séchage

Combinaison de la chambre de séchage avec le panneau solaire et réalisation d'une étude sur une chambre vide avec le changement de la vitesse de sortie d'air. Le premier jour 17/05/2023. Vitesse 1 = 1,25 m/s . Le deuxième jour 18/05/2023. Vitesse 2 = 2,5 m/s et prendre les résultats en courbes



Figure III.9 : vue extérieur de chambre de séchage

Le champ de séchage est fixé au panneau solaire. un jour avant le début des travaux



Figure III.10: capteur solaire et chambre de séchage

jour. 20/05/2023 L'échantillon, qui doit être étudié, a été placé (pommes de terre) avec une (pierre à accumulation de chaleur) dans la même pièce pour voir l'ampleur de l'effet de la température de la pierre, de la pièce et de la air sur le processus de séchage



Figure III.11 : chambre de séchage pendant le travail



Figure III.12 : pierre utilisable

Poids d'un échantillon des premières pommes de terre. Pour la sortir toutes les heures et regarder son poids, car son poids était de $g_1=101,52$



Figure III.13 : l'échantillon de pomme te terre

Placez un couvercle pour réduire la perte de chaleur lors de l'ouverture de la chambre pour peser l'échantillon



Figure III.14: chambre an final d'expérience

Le résultat atteint par le poids de la pomme de terre à 17h00, de sorte que ce jour-là était volatil et pas chaud, mais la pierre a gardé sa température et a contribué au séchage après le coucher du soleil.



Figure III.15 : volume final de l'échantillon

III.4. Résultats et Discussion

Le processus de séchage et l'efficacité du séchoir sont liés aux facteurs climatiques. Ce processus affecte les paramètres de l'air et du produit.

Les résultats obtenus sont extraits expérimentalement puis discutés et interprétés. Ainsi, dans ce chapitre, nous présenterons un ensemble de figures liées aux courbes qui ont été obtenues expérimentalement lors du processus de séchage.

III.4.1. Résultats dans le premier jour 17/05/2023

Mesure de 1^{er} jour de chambre vide avec vitesse de l'air stable $V_{1e} = 1.02 \text{ m/s}$ et $V_{1s} = 1.25 \text{ m/s}$

III.4.1.1. Variation de radiation solaire en fonction du temps de séchage

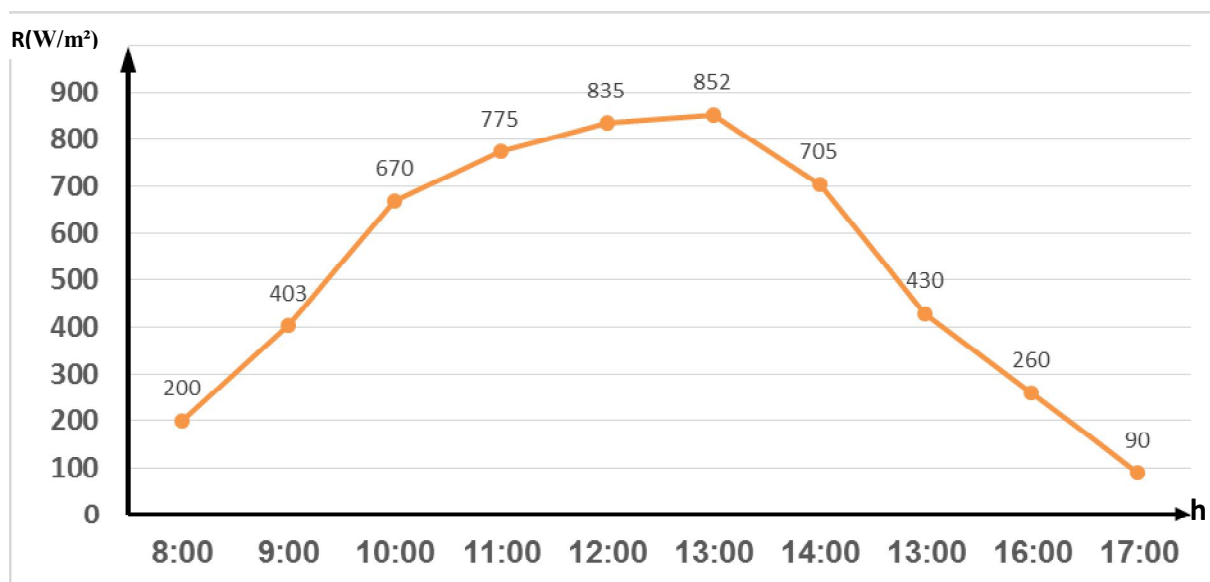


Figure III.16 : Variation de la radiation solaire en fonction du temps de séchage

La figure (III.16) représente la variation de l'intensité du rayonnement solaire pour la journée 17/05/2023.

Nous avons remarqué que l'intensité du rayonnement solaire augmente progressivement pour atteindre à 13:00 h jusqu'à une valeur maximale de 852 W/m^2 ,

On note une diminution des valeurs de rayonnement à partir de 13h00 pour atteindre une valeur minimale de 90 W/m^2 à 17h00.

III.4.1.2. Variation de vitesse du vent en fonction du temps :

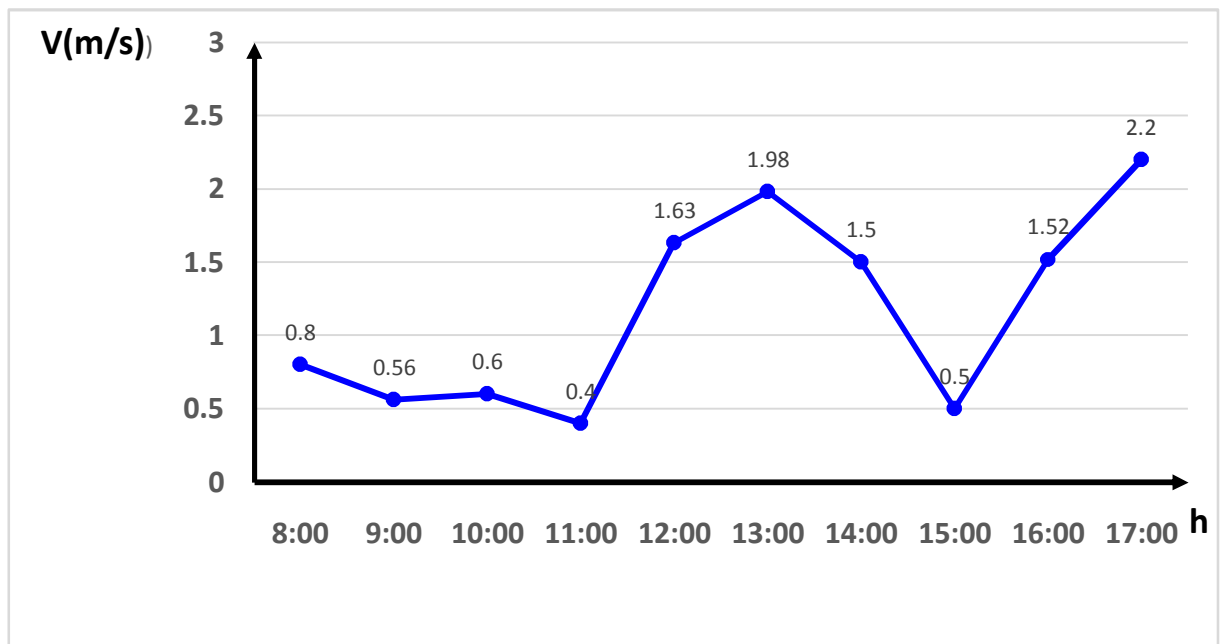


Figure III.17 : Variation de vitesse du vent en fonction du temps

La figure III.17 montre l'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps au cours de la journée 17/05/2023

Où une fluctuation des valeurs de vitesse a été observée en raison des nuages, et la vitesse de l'air a atteint 2.2m/s comme valeur maximale à 17h00

Il est à noter que la vitesse du vent était faible presque toute la journée

III.4.1.3. Variation de température ambiante en fonction du temps :

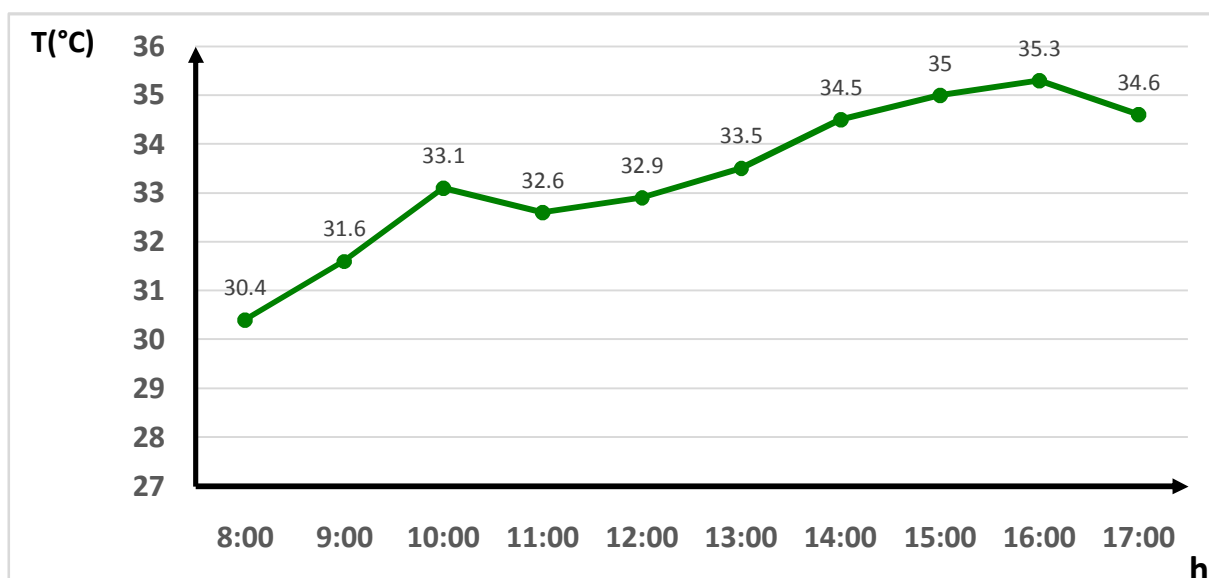


Figure III.18 : Variation de température ambiante en fonction du temps

La figure **III.18** montre les changements de température ambiante en fonction du temps dans la journée 17/05/2023 à El Oued

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre deux heures et trois heures de l'après-midi, pour atteindre 35.3 degrés à une heures du soir, En suite, il tombe à 34.6 °C à 17:00.

III.4.1.4. Variation de température de capteur solaire en fonction du temps

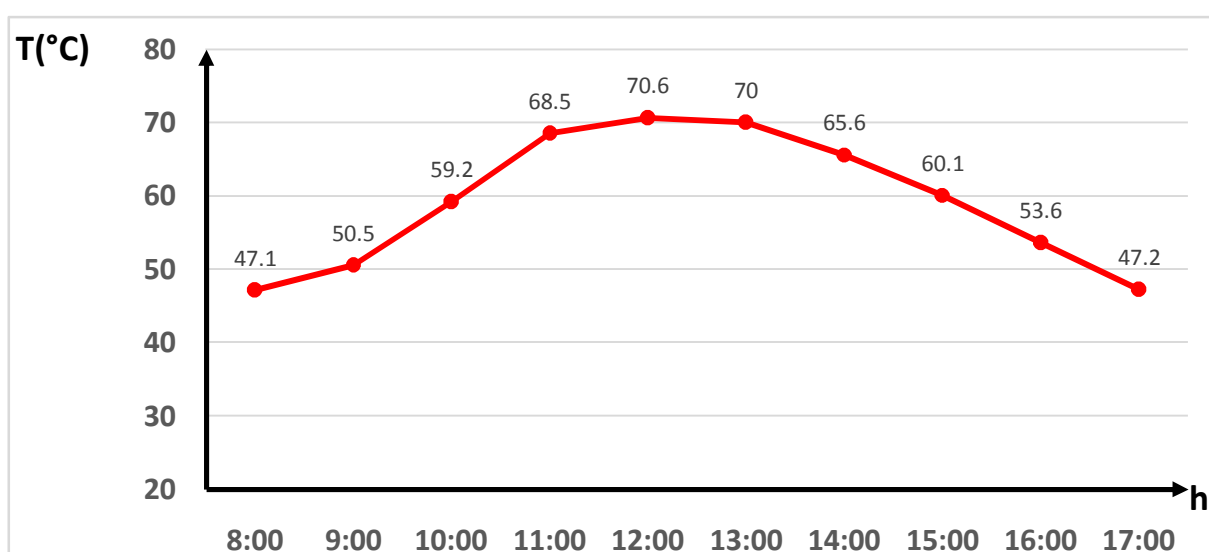
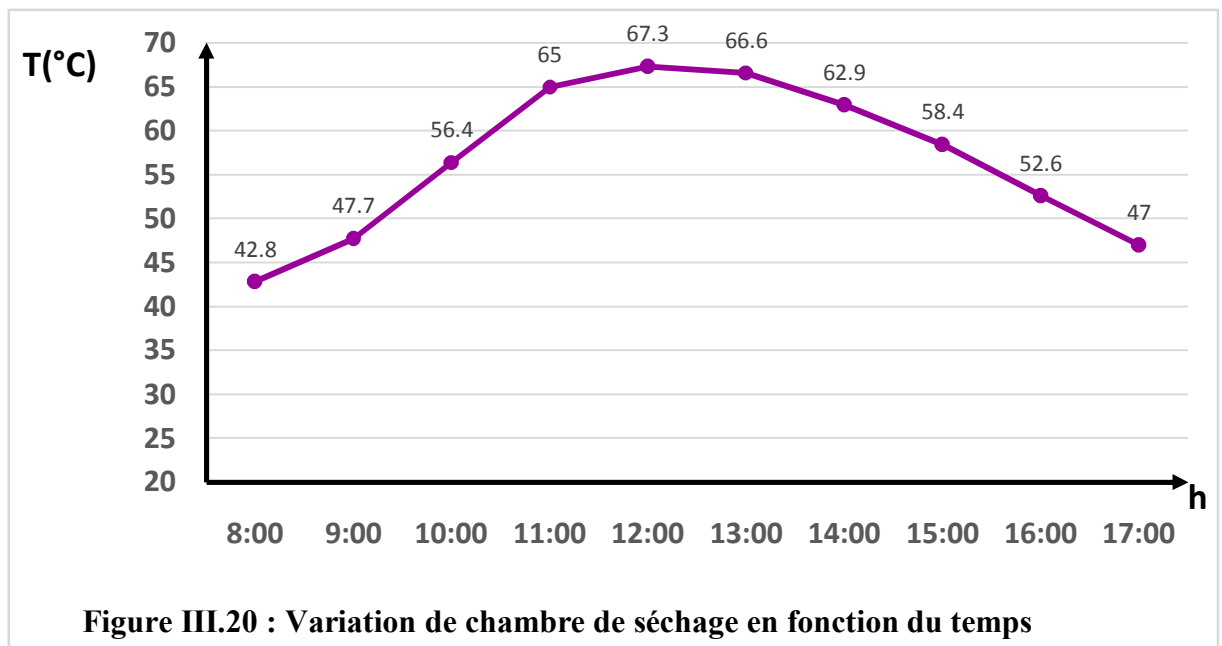


Figure III.19 : Variation de température de capteur solaire en fonction du temps

La figure **III.19** montre les changements de température de capteur solaire en fonction du temps dans la journée 17/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre 11:00 jusqu'à 13:00, pour atteindre $T = 70.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ degrés n suite, il tombe les degrés à 17:00

III.4.1.5. Variation de température de chambre de séchage en fonction du temps



La figure **III.20** montre les changements de température de chambre de séchage en fonction du temps dans la journée 17/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum au midi, pour atteindre $T = 67.3^{\circ}\text{C}$ il tombe les degrés à 17 :00

III.4.1.6. Variation des température (ambiante et chambre et capteur solaire) en fonction du temps

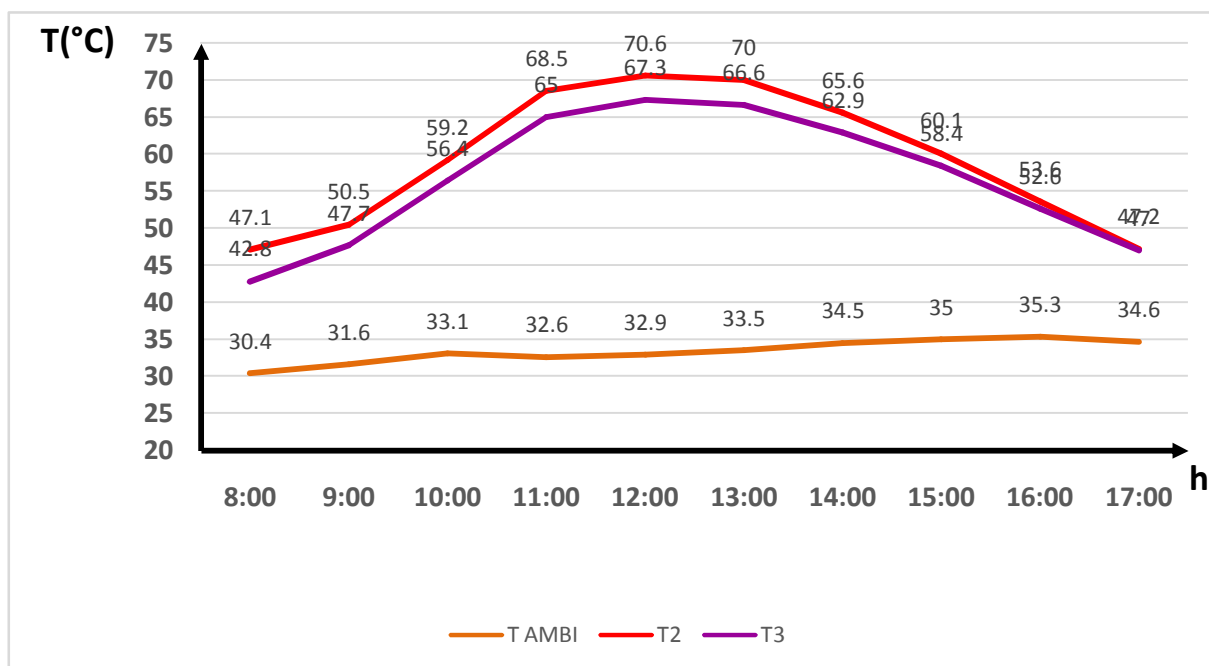


Figure III.21 : Variation des température (ambiante et chambre et capteur solaire) en fonction du temps

La figure III.21 montre les changements les variations de température (ambiante et de chambre et capteur solaire) fonction du temps dans la journée 17/05/2023

Nous avons remarqué dans les courbes suivantes que la température de la pièce et la température du capteur solaire sont proches, et en fin de journée elles sont devenues quasiment la même température à 17h00 et la température de l'air nous avons remarqué un léger changement tout au long de la journée. jour, sa température de (30,4°C à 35,3°C).

III.4.2. Résultats de la deuxième jour 18/05/2023

Mesure de 2^{ème} jour de chambre vide avec vitesse de l'air stable $V_{2e} = 2 \text{ m/s}$ et $V_{2s} = 2.5 \text{ m/s}$

III.4.2.1. Variation de radiation solaire en fonction du temps de séchage :

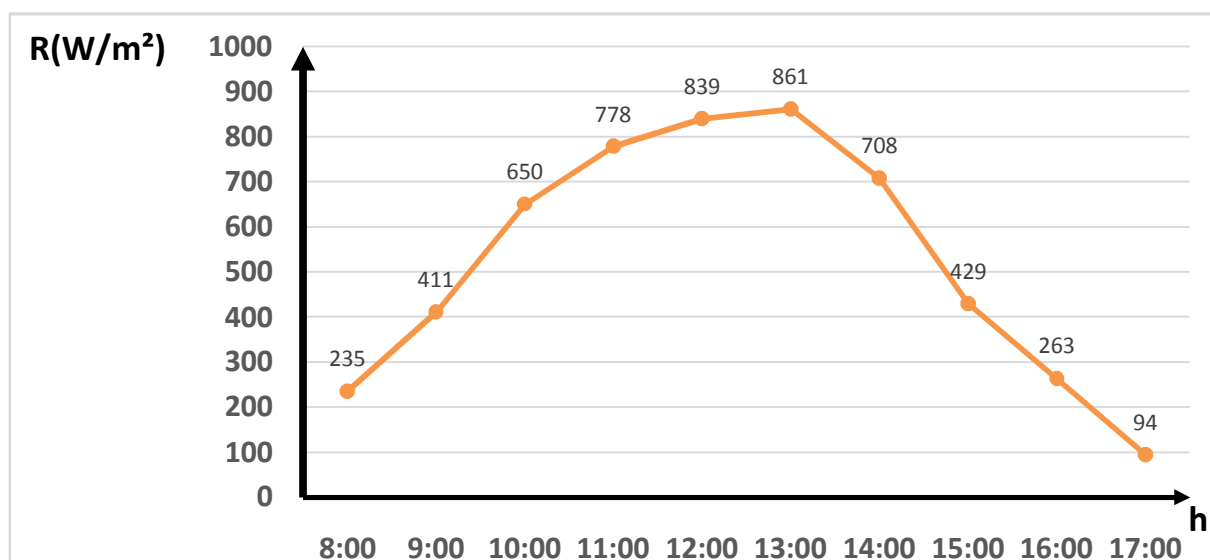


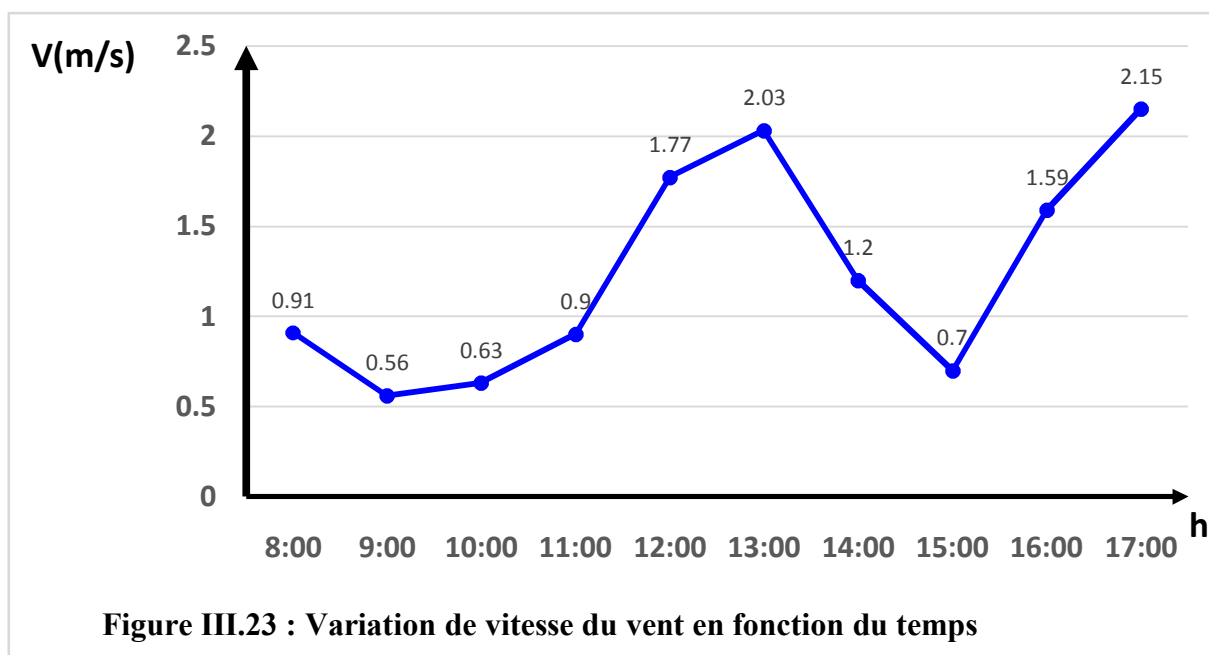
Figure III.22 : Variation de la radiation solaire en fonction du temps de séchage

La figure (III.22) représente la variation de l'intensité du rayonnement solaire pour la journée 18/05/2023

Nous avons remarqué que l'intensité du rayonnement solaire augmente progressivement pour atteindre à 13:00 h jusqu'à une valeur maximale de 861 W/m^2 ,

On note une diminution des valeurs de rayonnement à partir de 13h00 pour atteindre une valeur minimale de 94 W/m^2 à 17h00.

III.4.2.2. Variation de vitesse du vent en fonction du temps :

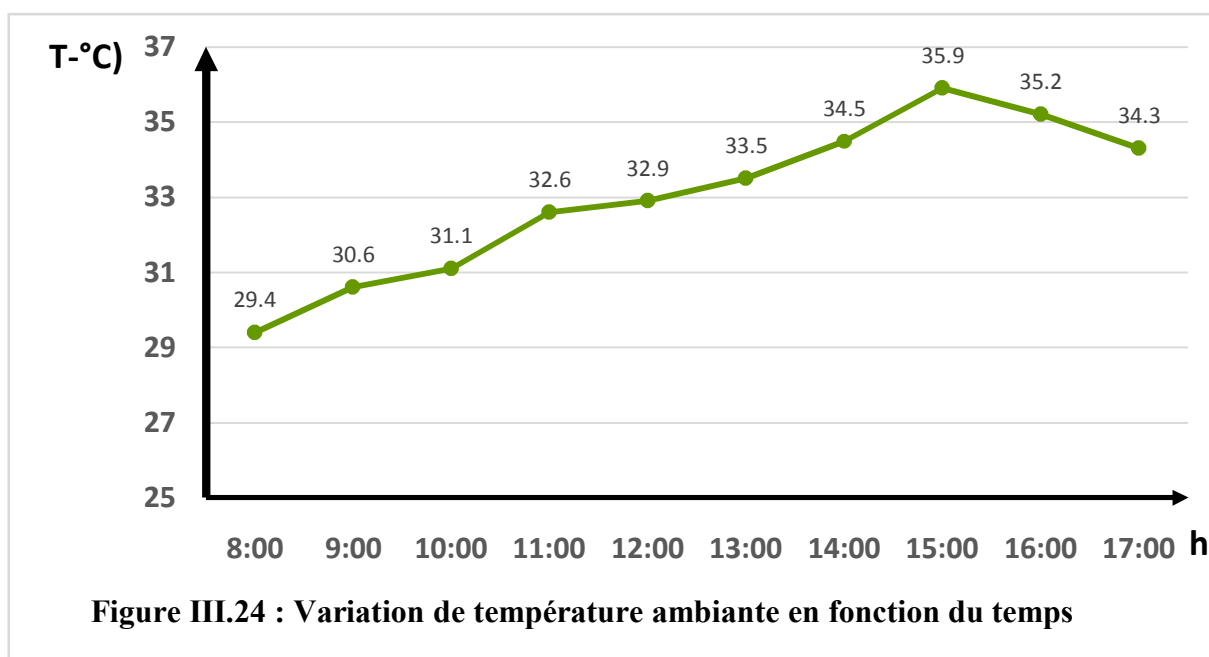


La figure **III.23** montre l'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps au cours de la journée 18/05/2023

Où une fluctuation des valeurs de vitesse a été observée en raison des nuages, et la vitesse de l'air a atteint 2.15m/s comme valeur maximale à 17h00

Il est à noter que la vitesse du vent était faible presque toute la journée

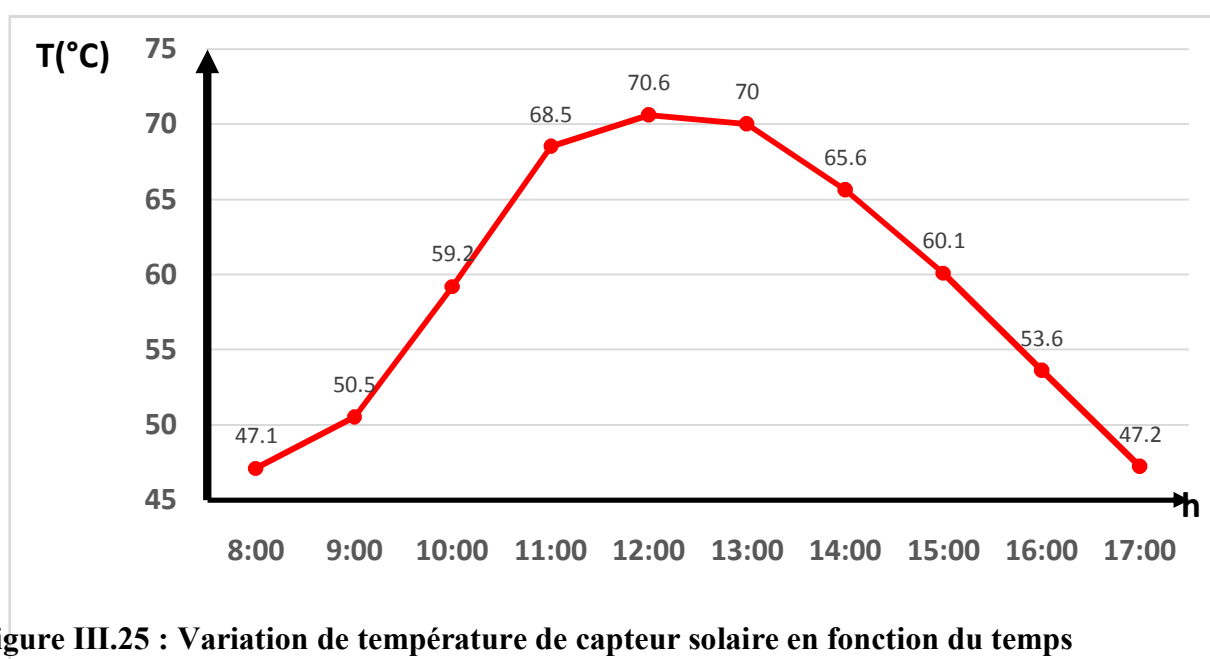
III.4.2.3. Variation de température ambiante en fonction du temps :



La figure **III.24** montre les changements de température ambiante en fonction du temps dans la journée 18/05/2023 à El Oued

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre deux heures et trois heures de l'après-midi, pour atteindre 35.3 °C à une heures du soir, En suite, il tombe à 35.3°C à 17: 00

III.4.2.4. Variation de température de capteur solaire en fonction du temps:



La figure **III.25** montre les changements de température de capteur solaire en fonction du temps dans la journée 18/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre 11:00 jusqu'à 13:00, pour atteindre $T_2 = 37.2^\circ\text{C}$ et il tombe les degrés à 17:00

III.4.2.5. Variation de température de chambre de séchage en fonction du temps

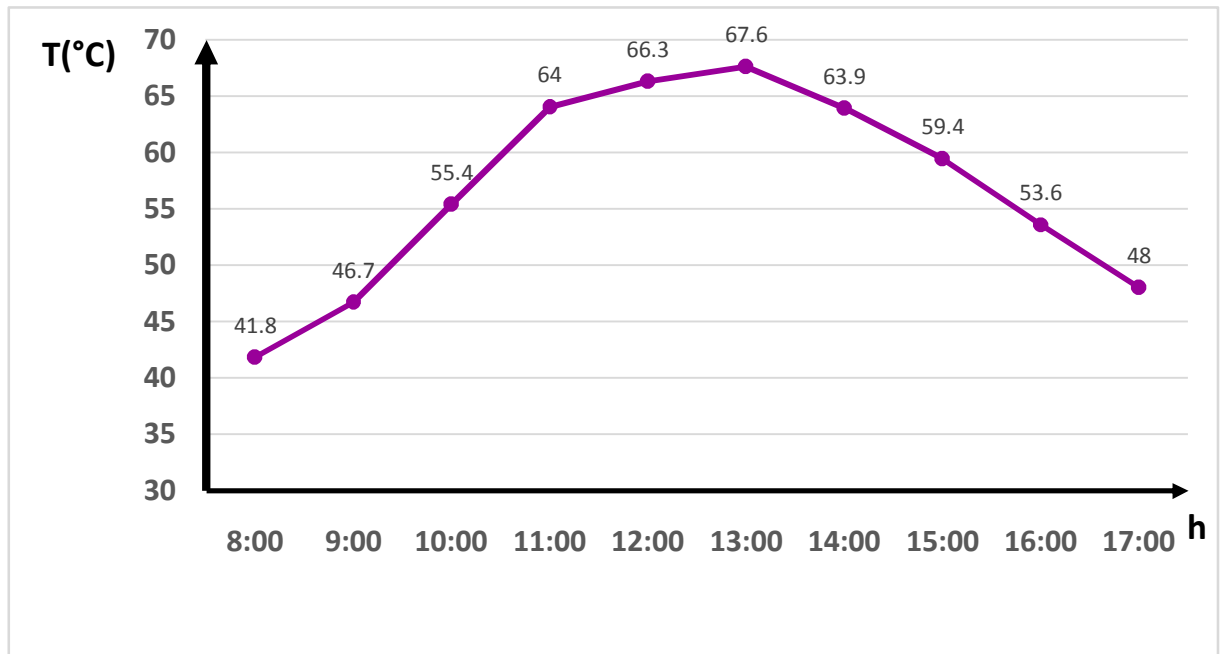


Figure III.26 : Variation de chambre de séchage en fonction du temps

La figure III.26 montre les changements de température de chambre de séchage en fonction du temps dans la journée 18/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum au midi, pour atteindre $T_3 = 67.6^{\circ}\text{C}$, il tombe les degrés à 17:00

III.4.2.6. Variation des températures (ambiante et de chambre et capteur solaire) en fonction du temps

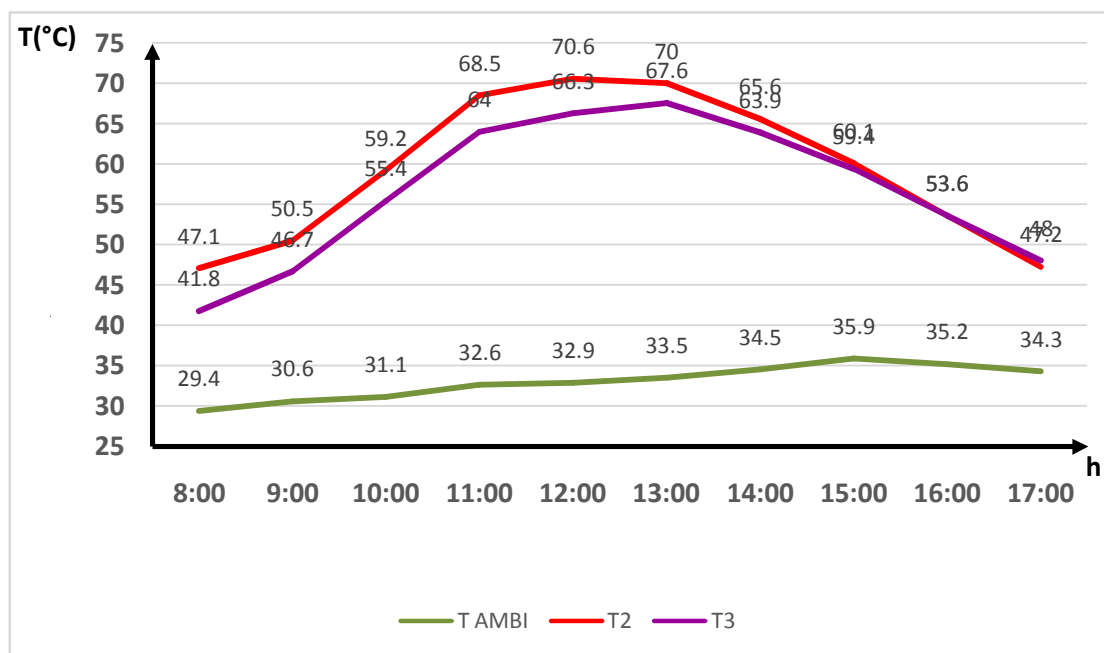


Figure III.27 : Variation des températures (ambiante et de chambre et capteur solaire) en fonction du temps

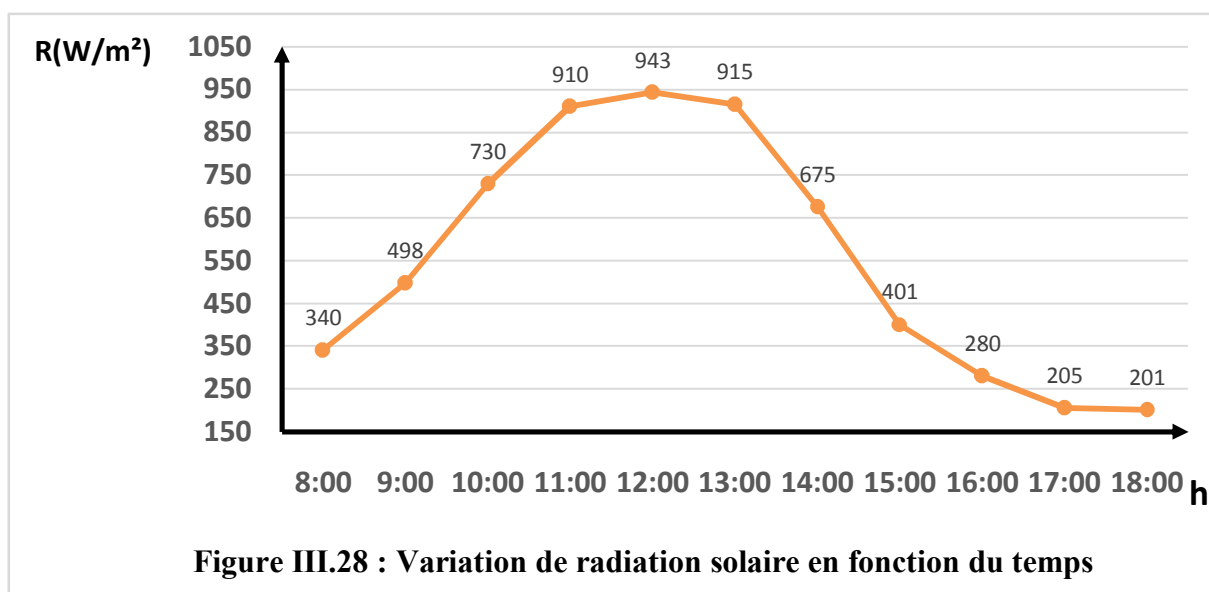
La figure **III.27** montre les températures (ambiante et de chambre et capteur solaire) en fonction du temps dans la journée 18/05/2023

Nous avons remarqué dans les courbes suivantes que la température de la pièce et la température du capteur solaire sont proches, et en fin de journée elles sont devenues quasiment la même température à 17h00 et la température de l'air nous avons remarqué un léger changement tout au long de la journée. sa température de (29.4°C à 35.9°C).

III.4.3. Résultats de la troisième jour 20/05/2023

en présence de l'échantillon de pomme de terre et de la pierre Aide au séchage avec la vitesse de l'air stable $V_e = 1.08 \text{ m/s}$ et $V_s = 2.29 \text{ m/s}$

III.4.3.1. Variation de radiation en fonction du temps

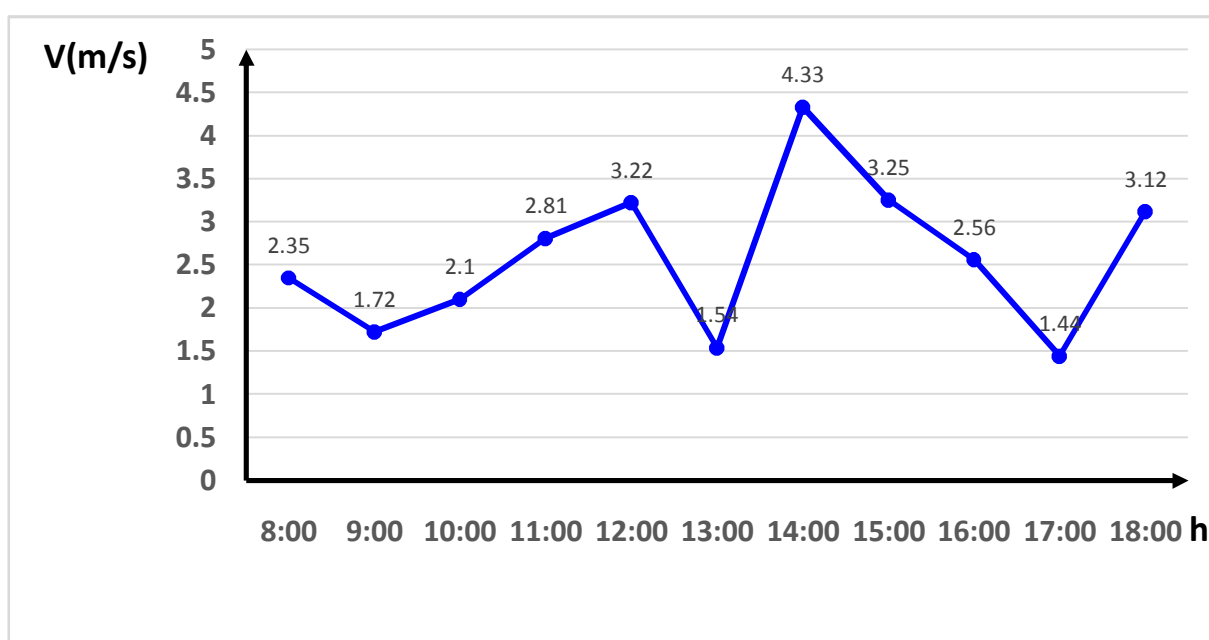


La figure (III.28) représente la variation de l'intensité du rayonnement solaire pour la journée 20/05/2023

Nous avons remarqué que l'intensité du rayonnement solaire augmente progressivement pour atteindre à 12:00 h jusqu'à une valeur maximale de 943 W/m²,

On note une diminution des valeurs de rayonnement à partir de 13h00 pour atteindre une valeur minimale de 205 W/m² à 18h00.

III.4.3.2. Variation de vitesse du vent en fonction du temps :

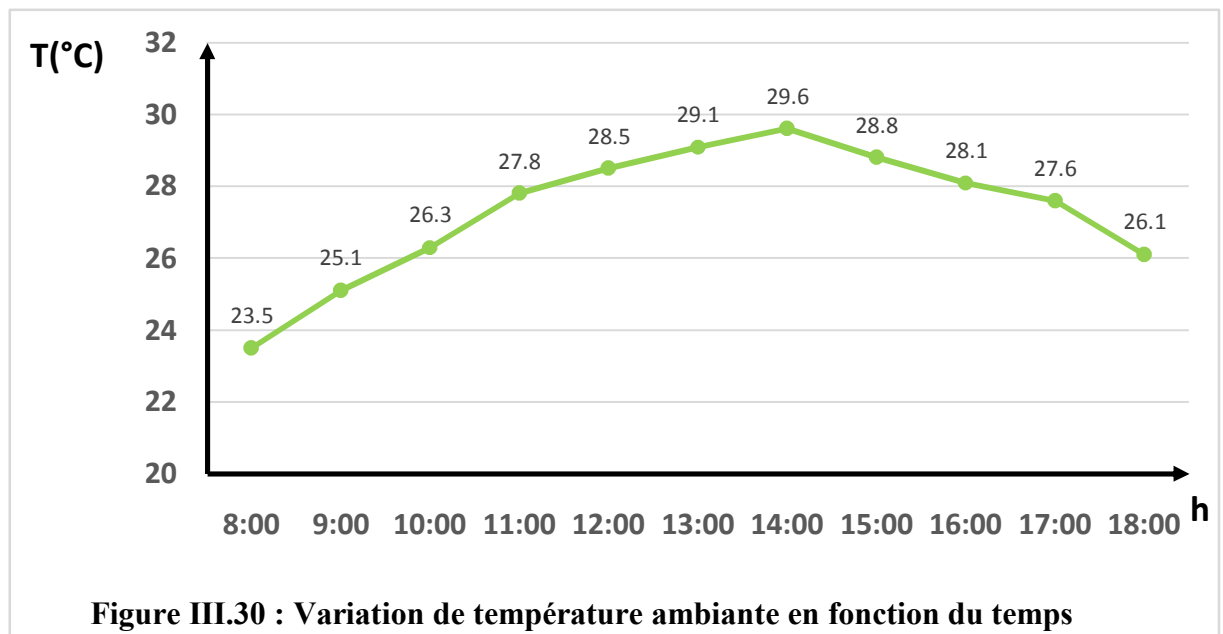


La figure **III.29** montre l'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps au cours de la journée 20/05/2023

Où une fluctuation des valeurs de vitesse a été observée en raison des nuages, et la vitesse de l'air a atteint 4.33 m/s comme valeur maximale à 14h00

Il est à noter que la vitesse du vent était faible presque toute la journée

III.4.3.3. Variation de température ambiante en fonction du temps :



La figure **III.30** montre les changements de température ambiante en fonction du temps dans la journée 20/05/2023 à El Oued

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum au 14:00 pour atteindre 29.6 °C à une heures du soir, En suite, il tombe à 26.1 °C à 18:00.

III.4.3.4. Variation de température de capteur solaire en fonction du temps

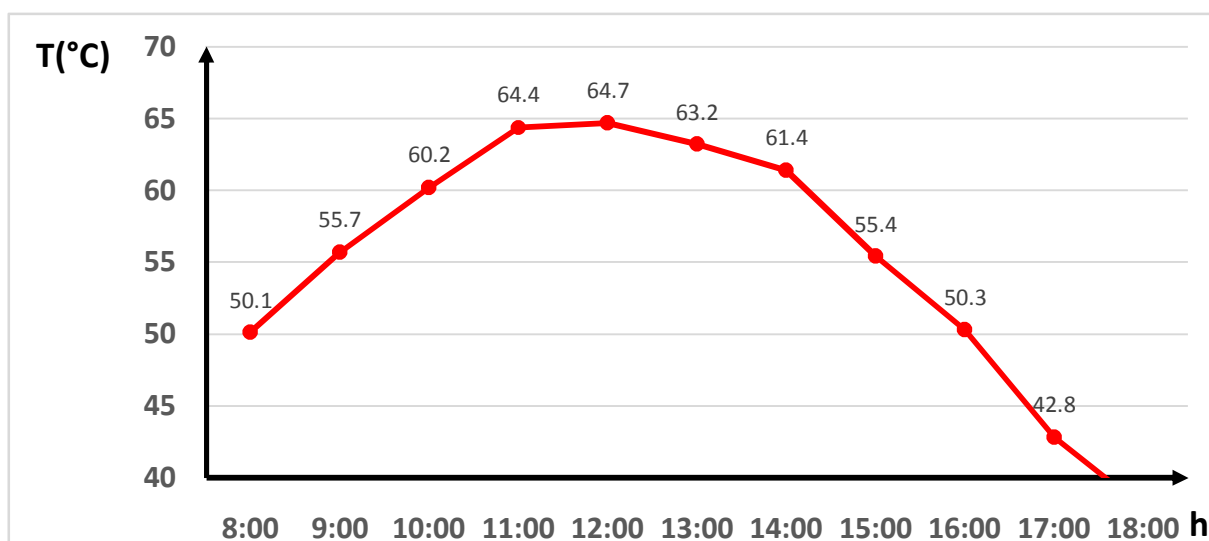


Figure III.31 : Variation de température de capteur solaire en fonction du temps

La figure **III.31** montre les changements de température de capteur solaire en fonction du temps dans la journée 20/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre 12:00 jusqu'à 14:00, pour atteindre $T = 64.7^{\circ}\text{C}$, il tombe les degrés à 18:00

III.4.3.5. Variation de température de chambre de séchage en fonction du temps

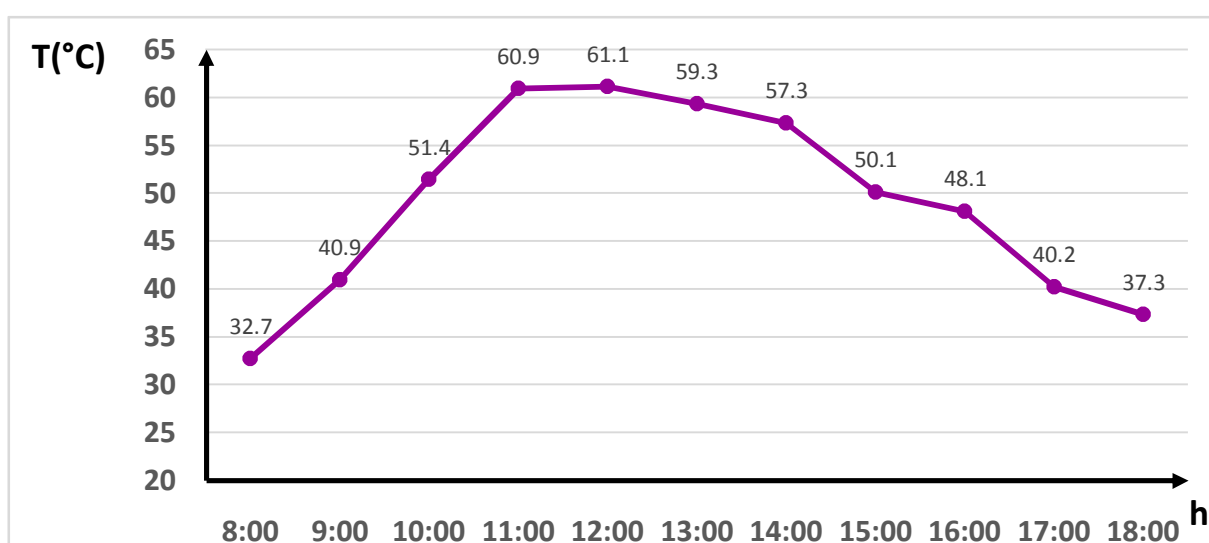
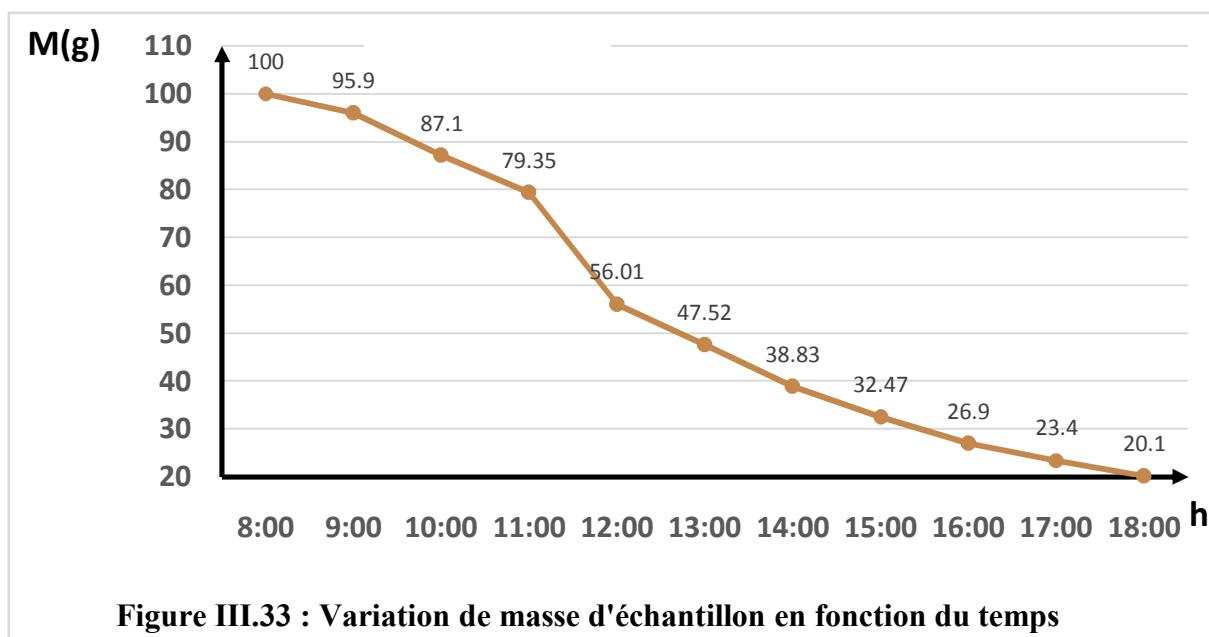


Figure III.32 : Variation de température de chambre de séchage en fonction du temps

La figure **III.32** montre les changements de température de chambre de séchage en fonction du temps dans la journée 20/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum au midi, pour atteindre $T = 61.1^{\circ}\text{C}$ et suite, il tombe les degrés à 18:00.

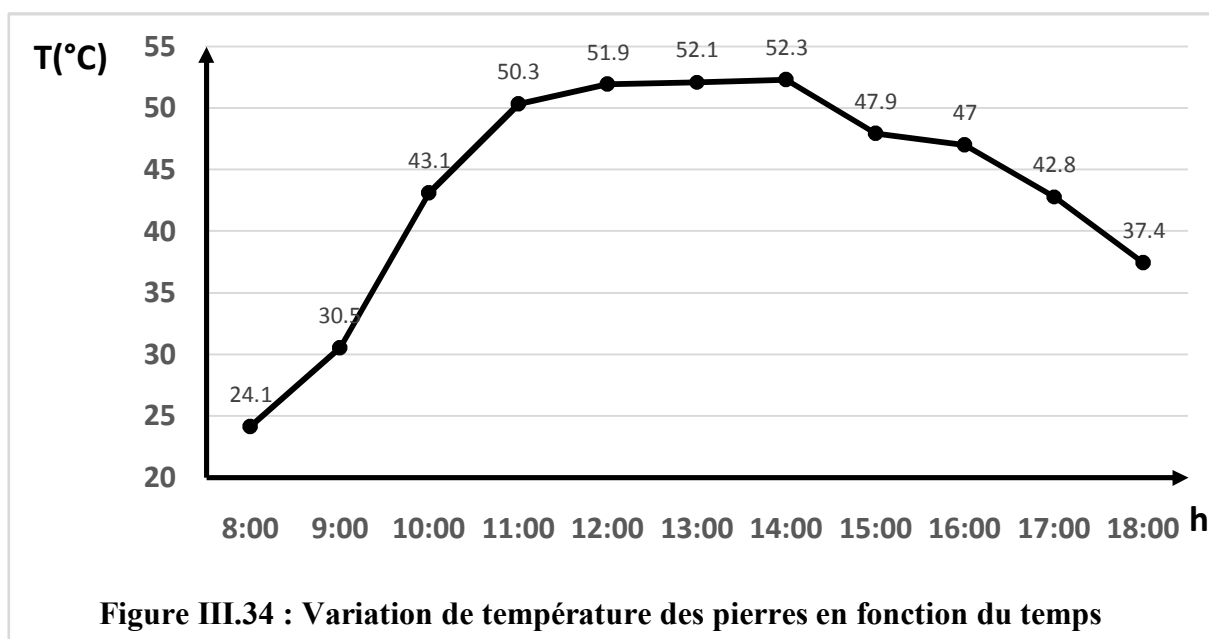
III.4.3.6. Variation de masse échantillon en fonction du temps



La figure **III.33** montre les changements de température de chambre de séchage en fonction du temps dans la journée 20/05/2023

Où l'on a remarqué une diminution progressive de la masse d'échantillon, atteignant son maximum chute à 18:00, pour atteindre 20.1g

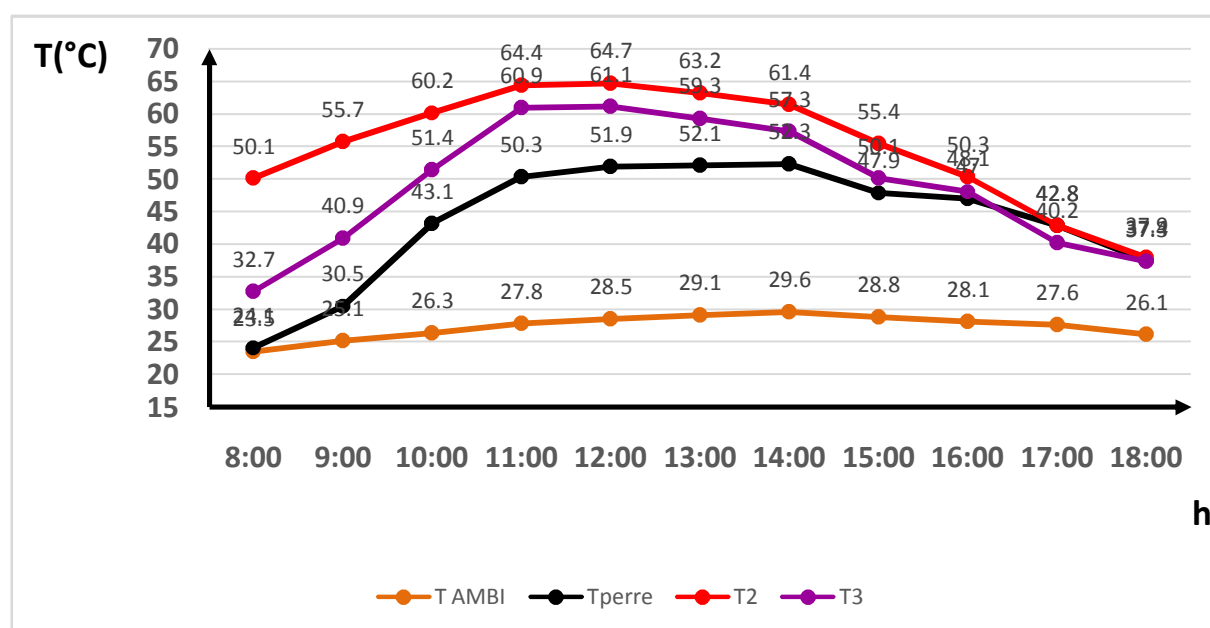
III.4.3.7. Variation de température de pierre en fonction du temps



La figure III.34 montre les changements de température de pierre en fonction du temps dans la journée 20/05/2023

Où l'on a remarqué une augmentation progressive de la température, atteignant son maximum entre 11:00 jusqu'à 14:00, pour atteindre degrés n suite, il tombe les degrés à 18:00

III.4.3.8. Variation des températures(ambiante et de chambre plus capteur solaire et le pierre) en fonction du temps



Dans les données passées, la présence de chacune des températures (ambiante et de chambre plus capteur solaire et pierre) et nous avons remarqué une convergence entre les trois températures, sauf que la température de l'air change dans une petite plage de (23,5 °C à 29,6°C), et nous avons remarqué qu'à 18h00 ils prenaient quasiment la même température égale

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons travaillé sur l'étude de l'effet du flux d'air dans la chambre et sur le suivi des températures T1 entrant dans le capteur solaire, T2 sortant du capteur solaire, T3 entrant dans la chambre, T4 sortant la chaleur de la chambre, où nous avons observé l'étendue de l'isolation de la chambre et T4 La chaleur n'en est pas perdue, ce qui nous a aidés dans le processus de séchage, et malgré la volatilité du temps, la pierre nous a aidés à sécher après le la chaleur du soleil est tombée à 17h00 en raison de son stockage de chaleur

Conclusion générale

Conclusion générale

Le séchage est l'un des processus de base pour prolonger la durée de conservation des produits dans l'industrie alimentaire et végétale et loin des agents de conservation, c'est un processus qui consomme beaucoup d'énergie.

Dans ce mémoire, des travaux expérimentaux ont été réalisés avec l'intégration de l'utilisation de simulations pour de meilleurs résultats. À travers des appareils de mesure disponibles et dans les conditions météorologiques locales, la plupart des objectifs couverts ont été atteints :

- Nous avons fait de conception, construction et fabrication d'une chambre de séchage à isolation thermique avec matière de panneaux sandwich 3.5 cm. Connecté avec collecteur solaire. (séchoir solaire indirect). Où la perte de chaleur dans le séchoir solaire a été réduite, et la différence de température entre la sortie du capteur solaire et la température dans la chambre de séchage a été diminuée dans l'intervalle entre 3 à 5 degrés Celsius de perte.
- La conception et la simulation ont été étudiées à l'aide du logiciel ANSYS, avec l'injection des paramètres et mesures expérimentales où nous avons obtenu l'endroit le plus approprié pour mettre l'échantillon de séchage (température élevée, haute pression et vitesse de l'air), Il est situé dans l'axe médian à une distance comprise entre 32 cm et 40 cm de l'entrée de la chambre de séchage, ce qui nous donnant un processus de séchage idéal à l'intérieur de la chambre de séchage.
- L'effet de la variabilité de la vitesse de flux d'air dans la chambre sur le processus de séchage a été étudié, en équipant la chambre de séchage d'un ventilateur à vitesse variable, nous avons conclu par des expériences que c'est la meilleure vitesse d'air pour sécher entre $V_{\text{entrée}} = 2 \text{ m/s}$ et de $V_{\text{sortie}} = 2,5 \text{ m/s}$.
- En plus d'effectuer des tests expérimentaux pour sécher un échantillon d'un produit agricole local.
- Malgré quelques fluctuations météorologiques, les résultats que nous a donnés notre sécheuse ont été bons, il a fallu (9h) pour atteindre une teneur en eau pré-finale de $X_f = 21\%$, ce qui est une valeur Acceptable pour le processus de stockage du produit, la pierre nous a aidés à sécher après la chaleur du soleil est tombée à 17h00 en raison de son stockage de chaleur

Reference
Bibliographique

Reference bibliographique

- [1] - A. Ayensu, "Dehydration of food crops using a solar drying with convective heat flow" Solar Energy Vol. 59, Nos. 4-6, pp. 121-126, Ghana, 1997.
- [2] - A. Jain et M. Sharma, « Computational fluid dynamics simulation and energy analysis of domestic direct-type multi-shelf solar dryer », Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018.
- [3] - 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).
- [4]- A. Ouaouich, A. Osakwe, H. chimi. Guide du constructeur du séchoir hybride. L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel .2005
- [5] - A.I. Ambesange et Kusekar S.K, « Analysis of Flow Through Solar Dryer Duct Using CFD 5», International Journal of Engineering Development and Research, vol. Volume 5, p. 532-554, 2017.
- [6] - 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).
- [7] - D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, (2006)
- [8] - D. R. Pangavhanc, R. L. Sawhcy and P. N. Sarsavadia, "Design, development and performance testing of new natural convection", Energy 27(579-590) (2002).
- [9] - D.Fedala, « Initiation à la CFD », October 2007.
- [10] - Daguenet. M., "Les séchoirs solaires : théorie et pratique ", Publication de l'UNESCO, Paris, France, 1985.
- [11] - Djamel Menouche ,Etude et amélioration de l'efficacité énergétique des séchoirs solaires dans les zones arides désertiques, Thèse de doctorat , université Bejaya, 2016
- [12] - Documentation FLUENT" User's Guide" Fluent Inc. July 26,1998.
- [13] - Frihiilyes Etude expérimentale et théorique du séchage solaire des grains de fève master energie renouvelable, université ouargla2017
- [14] - HEMISSI SAFA, « Simulation du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire plan à l'aide du logiciel Fluent », Université Badji I Mokhtar Annaba, Algérie, Memoire de fin d'étude (Master), 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Hemissi-Safa.pdf>.
- [15] - O. V. Ekechukwu, B. Norton, "Review of solar energy systems II : an overview of solar drying technology", Energy Conversion and Management, 40, 1999, 615 –655.

Référence bibliographique

- [16] - P. Dudez, Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes: expériences et procédés, Edition du Greth, France (1999).
- [17] - Romero, V.M., Cerezo, E., Garcia, M.I, et Sanchez, M.H, « Simulation and validation of vanilla drying process in an indirect solar dryer prototype using CFD Fluent program », Energy Procedia, no 1655, 2014
- [18] - Techniques de l'ingénieur – génie des procédés Séchage, Théorie et calculs.Par André charreau et Roland cavaillé, j 2480-2 ; 2480-22.
- [19] - LOUAZENE AHMED , étude technico-économique de séchage solaire des produits alimentaires , master energie renouvelable, université ouargla2017
- [20] - S. Lahsasni, M. Kouhila, M. Mahrouz, A. Idlimamand A. Jamali,"Thin la l'er convectivesolar drying an mathematical modeling of prickly pear peel ", Energy 29 (211-244) - (2004).

Web bibliographiques :

- [21] - Boughali, S., Benmoussa, H., Bouchekima, B., Mennouche, D., Bouguettaia, H. Bechki, D. Crop drying by indirect active hybrid solar - Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. Solar Energy 83(12), 2223-2232(2009)
- [22] - Chafer, M., Gonzalez-Martinez, C., Ortola, M. D., Chiralt, A., Fito, P., Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. Journal of Food Process Engineering, 24, (4), 273-289 (2001).
- [23] - FLUENT Tutorial Guide PDFftp.energia.bme.hu> pub >MSc >flu_tg
- [24] - GAMBIT TUTORIAL GUIDE: 1.CREATING AND MESHING THE ...<https://www.shrcnet.ca/Gambit.html>
- [25] - K. Manjarres- PinzonI; M. Cortes-Rodriguez; E. Rodríguez-Sandoval Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel, Braz. J. Chem. Eng. vol.30 no.3 São Paulo July/Sept. 2013

Résumé

Résumé

Dans cette thèse, nous avons parlé du séchage solaire indirect, et nous l'avons étudié ainsi que son importance dans le monde de l'agriculture. Nous avons fait une salle de séchage de taille normale, et y avons installé un ventilateur à vitesse variable, et avons combiné la salle équipée pour le séchage avec un capteur solaire fixe. Nous l'avons soumis à des mesures telles que la température, la variation de la vitesse de l'air, le rayonnement solaire, la vitesse du vent. avec la température de l'air extérieur, et l'ampleur de son effet sur le séchage des pommes de terre avec l'intervention de facteurs auxiliaires en plus des pierres localement, et nous avons simulé ces résultats dans ANSYS et observé des changements de température, de débit d'air et de pression, ce qui nous a aidés à découvrir le meilleur endroit pour placer l'échantillon à sécher à l'intérieur de la chambre de séchage.

Mot de clé : séchage , séchoir solaire, chambre de séchage, capteur solaire

المخلص

تحدثنا في هذه الرسالة عن التجفيف الشمسي الغير مباشر وقمنا بدراسة عليه وأهميته في عالم الفلاحة . صنعنا غرفة تجفيف ذات مقاييس عادية و ركبنا فيها مروحة متغيرة السرعات ودمجنا الغرفة المجهزة للتجفيف مع مجمع شمسي ثابت . أخضعناه لقياسات مثل درجة الحرارة والتغير في سرعة الهواء و الاشعاع الشمسي و سرعة الرياح مع حرارة الجو الخارجية ومدى تأثيرها على تجفيف البطاطس بتدخل عوامل

مساعدة بإضافة لحجارة محلية، وقمنا بمحاكاة هذه النتائج في ANSYS والحظنا تغيرات الحرارة وتدفق الهواء والضغط الذي ساعدنا في اكتشاف امثل مكان لوضع العينة المراد تجفيفها داخل غرفة التجفيف.

الكلمات المفتاحية: التجفيف ، المجفف الشمسي ، غرفة التجفيف ، اللاقط الشمسي

Abstract

In this thesis, we talked about indirect solar drying, and we studied it and its importance in the world of agriculture. We made a drying room of normal sizes, and installed a variable speed fan in it, and combined the room equipped for drying with a fixed solar collector. We subjected it to measurements such as temperature, change in air speed, solar radiation, wind speed with the outside air temperature, and the extent of its effect on potato drying with the intervention of auxiliary factors in addition to stones locally, and we simulated these results in ANSYS and observed changes in temperature, air flow and pressure, which helped us discover the best place to place the sample to be dried inside the drying chamber.

Keyword: drying, solar dryer, drying chamber, solar collector