



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université KASDI MERBAH Ouargla



Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Présenté par : - LAKEHAL Bilal
- LAKEHAL Abdelfetah

Thème :

Modélisation du comportement thermique des serres agricoles

Soutenu publiquement
Le : 24 / 06 / 2021

Les jurys :

Dr. ZIANI Lotfi

Dr. DHAMENE Djamila

Dr. BELAKROUM Rassim

Président

Examineur

Encadreur

U.K.M.Ouargla

U.K.M.Ouargla

U.K.M.Ouargla

Année universitaire 2020_2021

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant pour tout.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au **Dr. BELAKROUM RASSIM** de la Faculté des Sciences Appliquées, Université KasdiMerbah.

Je tiens également à exprimer ma gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'étudier mon projet :

Dr. ZIANI LOTFI et Dr. DAMENE DJAMILA

Je tiens à remercier l'Université de Ouargla, ainsi que mes professeurs, collègues, amis et tous ceux qui m'ont aidé à mener à bien cette étude, de près ou de loin, et tout au long de mon parcours académique.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à la famille, aux amis, aux camarades de classe et à tous ceux qui ont contribué à ce travail en nous fournissant un soutien et des encouragements continus tout au long des années d'études et pendant le travail de cette note.

Merci

Dédicace

C'est un grand honneur de nous dédier ce modeste travail

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments difficiles durant ma vie
A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre
et qui n'a jamais cessé de prier pour moi
A mon très cher père*

A mes très chers : kribaa abdelhakim

A mes très chères sœurs et frères

A toute mes oncles et tantes

A toute ma grande famille : Lakehal

*A mes très chers amis : Hichem, Imad, Bilal,
lazher, Cherif, abdelhakim, Zaid, a. Hakim*

A tous mes amis partout et en particulier

*Et sans doute, à mes très chers amis à l'université d'Ouargla
la fin nous dédions très chaleureusement Mr : BELAKROUM
Rassim*

Sommaire

Remerciements.....	I
Sommaire.....	II
Liste des figures	v
Introduction Générale.....	1
chapitre I : Générale sur	3
Les serres agricoles.....	3
I.1 Introduction :.....	4
I.2 Qu'est ce qu'une serre agricole ?.....	4
I.3 Les différents types de serre :	4
I.3.1 Les serres tunnels :.....	5
I.3.2 Les serres d'horticultures (La chapelle) :.....	6
I.4 Caractéristiques d'une serre :	7
I.4.1 Orientation de la serre :.....	7
I.4.2 Le climat sous serre :	8
I.4.3 Spécifiques d'une serre :.....	9
I.4.4 Source d'énergies dans les serres :	11
chapitre II : Modélisation mathématique et méthodes numérique.....	12
II.1 Introduction.....	13
II.2 Formulation mathématique.....	13
II.2.1 Le bilan massique	13
II.2.2 Le bilan de quantité du mouvement.....	14
II.2.3 Le bilan thermique.....	14
II.3 Modèle adopté.....	15
II.3.1 Hypothèses simplificatrices	15

II.3.2	Approximation de Boussinesq :	15
II.3.3	Système d'équations retenues	16
chapitre III : Résultats et discussion		18
III.1	Model numérique :	19
III.1.1	Présentation de logiciel ANSYS-Fluent :	19
III.1.2	Architecture de logiciel :	19
III.1.3	Définition de la méthode de résolution :	20
III.1.4	Génération de maillage :	21
III.1.5	Simulation avec ANSYS-Fluent :	21
III.2	Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol .) ...	23
III.2.1	Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 320°K).....	24
Interprétation :		27
III.2.2	Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 308°K).....	28
Interprétation :		30
III.2.3	Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 288°K).....	31
Interprétation :		33
III.3	Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol.....	33
III.3.1	Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 320°K).....	33
Interprétation :		36
III.3.2	Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 308°K).....	36
Interprétation :		39
III.3.3	Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 288°K).....	39

Sommaire

Interprétation :.....	42
Conclusion générale.....	44

Liste des figures

Figure I.1 Serre tunnel	6
Figure I.2 serre à pieds droits	6
Figure I.3 Structure d'une Serre d'horticulture constituée de deux chapelles et de trois	7
Figure I.4. Schéma simplifié de la photosynthèse.	10
Figure I.5. schéma du cycle de la photosynthèse et de la respiration chez la plante	10
Figure III.1 Géométrie et dimensions d'une serre tunnel.	21
Figure III.2 Géométrie et dimensions d'une serre à pieds droits.	21
Figure III.3 maillage de la serre tunnel	22
Figure III.4 Maillage de la serre à pieds droits	22
Figure III.5 Température du tunnel imposée	23
Figure III.6 Température du pieds droits imposée	23
Figure III.7 Champ des vecteurs dans le plan OXY à l'instant $t=T+160s$.	24
Figure III.8 Champ des vecteurs plan OYZ à l'instant $t=T+160s$.	25
Figure III.9 Champ des vecteurs vitesses. $T+220s$	25
Figure III.10 Champ des vecteurs vitesses. $T+320s$	26
Figure III.11 Champ des vecteurs vitesses. $T+420s$	26
Figure III.12 champ de température $320^{\circ}K$	27
Figure III.13 Champ des vecteurs vitesses. $T+3.5s$	28
Figure III.14 Champ des vecteurs vitesses. $T+140s$	28
Figure III.15 Champ des vecteurs vitesses. $T+300s$	29
Figure III.16 Champ des vecteurs vitesses. $T+452s$	29
Figure III.17 champ de température $308^{\circ}K$	30
Figure III.18 Champ des vecteurs vitesses. $T+7s$	31
Figure III.19 Champ des vecteurs vitesses. $T+120s$	31
Figure III.20 Champ des vecteurs vitesses. $T+180s$	32
Figure III.21 Champ des vecteurs vitesses. $T+270s$	32
Figure III.22 champ de température $288^{\circ}K$	33
Figure III.23 Champ des vecteurs vitesses. $T+10s$	34

Liste des figures

Figure III.24	Champ des vecteurs vitesses. T+50s	34
Figure III.25	Champ des vecteurs vitesses. T+140s	35
Figure III.26	Champ des vecteurs vitesses. T+209s	35
Figure III.27	champ de température 320°K	36
Figure III.28	Champ des vecteurs vitesses. T+5s	37
Figure III.29	Champ des vecteurs vitesses. T+120s	37
Figure III.30	Champ des vecteurs vitesses. T+330s	38
Figure III.31	Champ des vecteurs vitesses. T+440	38
Figure III.32	champ de température 308°K	39
Figure III.33	Champ des vecteurs vitesses. T+60s	40
Figure III.34	Champ des vecteurs vitesses. T+240s	40
Figure III.35	Champ des vecteurs vitesses. T+330	41
Figure III.36	champ de température 288°K	41

Introduction Générale

Introduction Générale

L'expansion rapide de la technologie des serres dans le monde a fourni de nouveaux défis à l'exploitation et à la gestion des aliments et des produits Climat de serre. Bien que ces défis n'aient pas changé de nature depuis la naissance de l'agriculture, Ils ont acquis de nouvelles technologies et informations. Le secteur agricole algérien occupe une place importante dans la structure économique. Malgré l'importance particulière du secteur, L'insuffisance de son rôle se manifeste clairement dans sa faible contribution aux aspects suivants PIB (Produit Intérieur Brut).

Dans les régions semi-arides, le problème principal réside dans les températures élevées qui surviennent. La production est réalisée selon un cycle journalier et annuel. Il en est de même pour la température du froid. Il existe de nombreuses options pour le système de climatisation auxiliaire, y compris les réglages Les œuvres d'art dépendent de nombreux facteurs tels que le coût, la culture, l'emplacement et Leur gestion. Les serres agricoles sont un système de production avantageux qui nous permet de Il est réaliste de produire des récoltes du monde entier tout au long de l'année. Par conséquent, la Les conditions telles que la température et l'humidité intérieures doivent être contrôlées dans Quelles que soient les conditions environnementales, elle est spécifique au niveau spécifique de la plante.

Dans la production de cultures en serre, le climat a des considérations particulières parce que La donnée la plus importante est l'impact des facteurs environnementaux sur la circulation culture. La croissance des plantes a besoin de suffisamment de lumière, de portée Exigences spécifiques de température, d'humidité et de CO₂. Ces exigences sont Principalement affectées par la conception et la taille de la serre, et varie d'une serre à l'autre Conditions climatiques locales. Par exemple, la quantité de rayonnement à l'intérieur La serre dépend si la serre est en PVC ou en verre, car le matériau de la serre La surface est l'élément qui permet la meilleure utilisation du rayonnement solaire Besoin d'éclairage. Le climat généré dans la serre est le résultat de mécanismes complexes Elle implique des processus d'échange de chaleur et de masse.

La dynamique des fluides computationnelle (CFD) est un outil d'analyse basé sur des méthodes Qui montre graphiquement le mouvement général et local de l'air à l'intérieur de la serre Grâce à la ventilation naturelle. De plus, il est possible de définir des distributions La

température générée par ce mouvement d'air, tout cela pour tout type de serre et Configuration ouverte/fermée pour le toit et les vitres latérales.

Dans cette étude, nous avons réalisé une analyse paramétrique tridimensionnelle de deux types de serres. Nous avons utilisé le code FLUENT(ANSYS), qui nous a permis de déterminer :

- La distribution des vitesses dans la serre.
- Description du mouvement d'air.
- Le champ de température.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

- Chapitre 1 : Générale sur les serres agricoles.
- Chapitre 2 : Modélisation mathématique et méthodes numériques.
- Chapitre 3 : Résultats et discussion.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

chapitre I : Générale sur
Les serres agricoles

I.1 Introduction :

Le rôle de la serre agricole est de produire de la récolte tout en se débarrassant du climat Local. Il peut augmenter le rendement des plantes, ou il peut être planté sans Ne peut pas survivre dans le climat naturel. L'objectif plus général du producteur est de Produits agricoles liés aux besoins économiques. Pour cela, il faut déterminer Les conditions favorables dépendent du stade de développement de la plante. Ces directives sont D'une part, c'est la nature climatique, et d'autre part c'est la nature nutritionnelle. En raison du matériau et en raison de Recherche agronomique, les serres agricoles sont devenues des clôtures bioclimatiques Peut créer un environnement semi-artificiel, un microclimat qui permet la culture des plantes Le rendement est beaucoup plus élevé que celui des cultures de plein champ.

I.2 Qu'est ce qu'une serre agricole ?

La serre est une structure semi-transparente fermée ou semi-ouverte, généralement utilisée pour La production agricole. Il est conçu pour protéger les plantes non rustiques et favoriser la croissance Cultiver des cultures (légumes, fleurs, etc.) en créant un microclimat contrôlable. La norme française NF U57-001 de décembre 1984 décrivait une serre comme « une clôture Il est utilisé pour faire pousser ou produire des plantes en utilisant le rayonnement solaire. Cette La taille de cette enceinte permet à une personne de travailler facilement à l'intérieur"[1].

I.3 Les différents types de serre :

Différents types et formes de serres agricoles (canaris Venlo, tunnels, jambes droites) sont conçus sous différentes conditions climatiques dans le monde (aride, semi-aride, tropical, tempéré, subhumide) pour accueillir différents types de cultures (plantes) et variétés)) et répondre aux besoins des producteurs (faibles coûts de production, minimiser les intrants).

Dans tous les cas, l'abri doit respecter deux contraintes principales : il permet de créer un climat plus propice à la croissance des cultures que le climat extérieur, et suffisamment résistant pour résister aux vents forts, aux sollicitations extérieures (neige, grêle, etc.) ou charges internes (poids) Le nombre de treillis portés par la charpente, le poids des équipements de chauffage, d'irrigation, etc.), tout en répondant à des considérations

économiques (prix de revient, longévité, etc.). Il existe de nombreuses restrictions climatiques pour les serres :

-La température extérieure est basse en hiver, entraînant des températures élevées à l'intérieur en dessous de l'optimum biologique, surtout la nuit, et Besoin d'être chauffé,

-Le vent fort, la neige et la grêle endommageront Structure de serre,

-Un ensoleillement insuffisant en hiver réduira considérablement la photosynthèse,

-Parfois, la température intérieure est trop élevée en été et même au printemps, ce qui entraîne Peut-être nocif pour les plantes,

-Le taux d'humidité élevé la nuit dans la serre augmentera Risque de développer des maladies fongiques

Ces restrictions sont plus ou moins dépendantes de la région et ont un impact important Concernant le choix du type de serre utilisé. La classification des serres est très compliquée Plus difficile, généralement fait selon la forme donnée par le cadre de support Ceci constitue l'assemblée. Il en existe deux types principaux, appartenant à deux Grande famille de serres : serres d'église et serres tunnel. Faisons de notre mieux Les plus remarquables reposent aussi sur la forme de la toiture : chapelle à pans plats et Piliers, églises asymétriques, églises sans piliers Chapelle verticale à piliers inclinés... etc.[2].

I.3.1 Les serres tunnels :

Ce type de serre se compose d'une série d'éléments juxtaposés Chacun se compose d'un cadre en tube d'acier et d'une partie assemblée par boulons. Le film plastique est fixé par divers systèmes de pinces, et les pinces calent le film dans Contour ou entre deux poteaux de toute la serre. La serre tunnel classique, Il est rond, mais il existe aussi des modèles à pieds droites [1].



Figure I.1 Serre tunnel



Figure I.2 serre à pieds droits

I.3.2 Les serres d'horticultures (La chapelle) :

La chapelle est une unité de construction d'une serre composée de deux murs Côtés verticaux (ou légèrement inclinés) et toits à deux versants, Généralement symétrique, la

caractéristique de l'église est sa largeur. Quand deux L'église continue n'est pas séparée par le mur vertical intérieur, nous disons Conservatoire multi-chapelle ou double chapelle. La ferme est l'élément structurel Le principal porteur de l'église se répète régulièrement. Longueur entre La ferme est une caractéristique du type de serre. Le module est une surface Caractéristiques de la serre obtenues en réalisant le produit de la largeur Une petite église qui ferme la longueur de l'entrée ; le pignon est un mur vertical Former les deux extrémités de la chapelle ; ; La colonne vertébrale est constituée de Le sommet de l'église ; le porche est une structure porteuse formée sur L'ancienne serre au pied de la ferme et la poutre reliant le haut Pied droit, de moins en moins de serre porche ; pied droit Les parois latérales verticales de la chapelle ; Retrouvez ces différents éléments dans le volume [1].

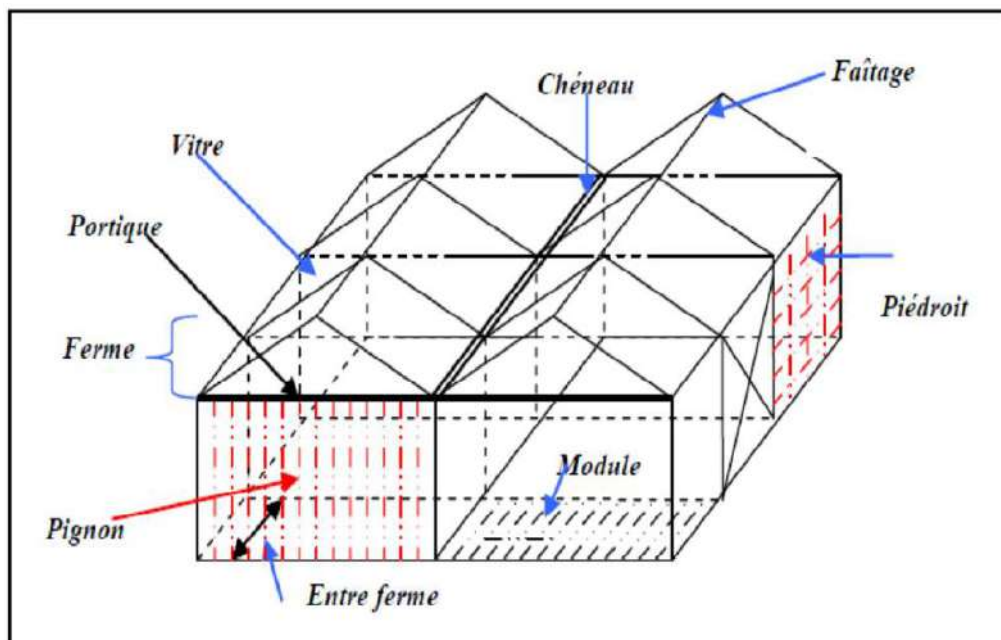


Figure I.3. Structure d'une Serre d'horticulture constituée de deux chapelles et de trois

I.4 Caractéristiques d'une serre :

I.4.1 Orientation de la serre :

Ajuster en fonction de la course du soleil et de la direction de la serre La direction du vent permet difficilement d'éviter l'hétérogénéité de certaines conditions Les conditions climatiques dans la serre... Dans la région méditerranéenne où le soleil se lève à l'horizon, le chèque a Montre qu'un éclairage solaire satisfaisant peut être obtenu en ajustant la direction Nord Sud. La comparaison du matin et du soir montre que cette direction permet Afin

d'obtenir une meilleure uniformité du flux lumineux. Considérez la direction générale Dans la direction nord-sud des vents dominants, l'avantage de cette direction est qu'elle réduit les effets néfastes Le vent est sur la structure et la perte d'énergie de la serre[2].

I.4.2 Le climat sous serre :

Le climat est un facteur important dans l'activité physiologique des plantes. Énergie le rayonnement solaire conservé sous forme chimique par les plantes chlorophylliennes est à rares exceptions, seule source d'énergie primaire en biologie. L'environnement de la serre est représenté par un groupe de valeurs spatiales moyennes facteurs climatiques tels que le rayonnement, la température, le rayonnement solaire et l'humidité lumière qui affecte la croissance et le développement de la plante[3].

a La lumière :

Les conditions d'éclairage dans la serre sont étroitement liées à l'éclairage naturel, La chose la plus importante est la réduction de la quantité d'énergie solaire reçue et des modifications mineures Plus ou moins qualitatif selon les matériaux utilisés et les conditions Leur mise en œuvre (forme, volume, direction, structure, etc. de l'abri). Il existe également des caractéristiques du climat extérieur et de l'air, en particulier la forme physique Matériau de toiture[4].

b Température :

La température sous serre est le paramètre le plus important pour la production des Cultures sous serre. Il se décompose en trois types :

- Température issue du sol.
- Température de la plante.
- Température ambiante à la culture.

Elle a une grande influence sur la croissance végétative. En effet, elle intervient dans beaucoup de phénomènes biologiques tels que la photosynthèse et la respiration. La vitesse de réaction augmente facilement avec la température ambiante.

c L'humidité :

L'étanchéité et l'étanchéité à l'air de la serre favorise l'augmentation de l'humidité. Absolument, l'augmentation de la température tend à augmenter le déficit de saturation, et la vapeur d'eau générée est soit évacuée par renouvellement de l'air, soit Lorsque la température des deux montes, elle se condense sur les parois et la végétation. La surface est plus petite que le point rose.

-Pendant la nuit : la serre est généralement fermée, humidité relative Élevé, chutes de température la nuit, fréquentes Condensation sur les murs et la végétation (conditions propices à certaines maladies) cryptographie).

-Pendant le jour: L'humidité absolue augmente avec la sueur, mais Une augmentation de la température la fera baisser excessivement Humidité relative et peut provoquer le niveau réel (pression de l'eau) végétation [5].

d Teneur en gaz carbonique :

Dans le cas des serres très étanches peu aérées, il est souhaitable de pouvoir réaliser un enrichissement en CO₂ qui peut être très bénéfique, aussi bien pour le rendement que pour la précocité s'il est judicieusement utilisé. Dans les régions méridionales, où le besoin de la ventilation est important dès le début de la saison de culture et où les serres sont donc ouvertes pendant la majeure partie de la journée, l'enrichissement en CO₂ est plus difficilement applicable[6].

I.4.3 Spécifiques d'une serre :**a Photosynthèse :**

La photosynthèse est le processus de conversion de l'énergie radiante en énergie chimique. Transportable et réutilisable. Il est à base d'oxydes, de carbone et Hydrogène à faible énergie chimique en glucides énergétiques Potentiel chimique élevé[7].

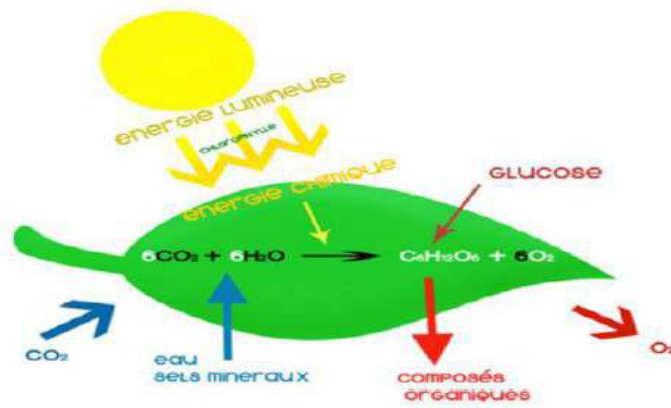


Figure 0.4. Schéma simplifié de la photosynthèse.

b Respiration :

Les glucides formés par la photosynthèse sont distribués dans tout le corps, puis peuvent être agrégés en macromolécules utilisées pour développer les parois cellulaires, ou stockés sous forme de sucre ou de graisse, ou finalement utilisés comme source d'énergie dans la synthèse d'autres substances organiques. Substance. La récupération de l'énergie chimique stockée dans les glucides s'effectue par un processus de dégradation oxydative appelé respiration, qui dans une certaine mesure peut être considéré comme la réaction inverse de la photosynthèse[8].

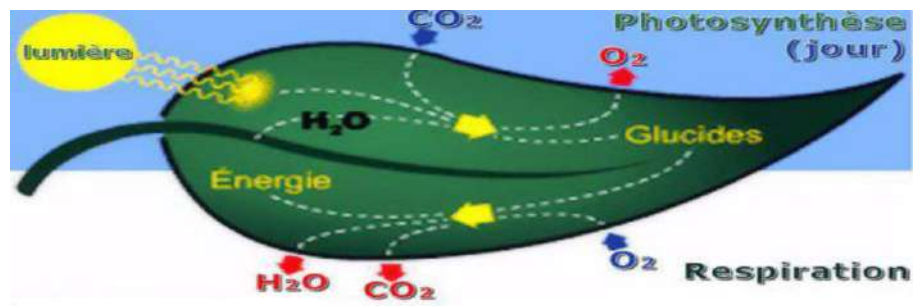


Figure 0.5. schéma du cycle de la photosynthèse et de la respiration chez la plante

c Evapotranspiration :

Le transfert d'eau du système sol-végétation à la serre peut être basé sur Deux canaux. Soit par l'évaporation directe de l'eau dans le sol, soit par la transpiration de plantes préalablement extraites du sol par le système racinaire. L'évaporation directe se produit principalement dans la zone mince directement sous la surface du sol. Ces deux processus se

produisent en même temps, et il est difficile de les distinguer. Ils sont regroupés sous le terme général d'évapotranspiration[2].

I.4.4 Source d'énergies dans les serres :

a La Géothermie :

Cela implique le développement de poches d'eau situées profondément dans le sous-sol ; environ 1000 à 2000 [m] de profondeur. L'eau de ces poches est caractérisée par une température comprise entre 50 et 70°C.

Ce type d'énergie géothermique est utilisé dans le domaine agricole de nombreux pays pour chauffer les serres agricoles afin d'améliorer les cultures en serre. En Algérie, les puits d'eau chaude, utilisés pour la consommation humaine et l'irrigation depuis des décennies, n'ont été utilisés pour le chauffage des serres qu'en 1974[9].

b Énergie solaire :

La serre elle-même est à la fois biologique (photosynthèse) et capteur solaire. Les capteurs thermiques sont souvent même trop efficaces, car il est souvent nécessaire d'aérer la serre et donc d'évacuer la chaleur de l'extérieur par la ventilation. Tenir compte non seulement du ratio d'ensoleillement jour/nuit, mais aussi du ratio hiver/été, qui est un obstacle majeur[9].

chapitre II : Modélisation
mathématique et méthodes
numérique

II.1 Introduction

Pour étudier les phénomènes aérospatiaux dans une serre agricole sous différentes conditions, on utilise souvent des modèles physiques qui consistent à la résolution numérique des équations de transport (équations de la mécanique des fluides). Ce système d'équations gouvernant le phénomène est déduit en général, de l'application des principes de conservation de la mécanique et de la thermodynamique, pour arriver à la fin et après l'introduction d'un nombre d'hypothèses simplificatrices, au système d'équations de base : - Equation de conservation massique. - Equation de quantité de mouvement. - Equation d'énergie. Le logiciel ANSYS-Fluent :(celui que nous utilisons) modélise par la méthode des volumes finis des écoulements très variés dans des configurations plus ou moins complexes. Il est capable de résoudre n'importe quel nombre d'équations de transport. Dans ce chapitre, nous présentons les équations qui régissent le phénomène de la convection naturelle en régime turbulent à l'intérieur d'une serre, nous nous intéressons aux équations de bilan régissant le mouvement moyen du fluide et aux conséquences de la turbulence sur la résolution de ces équations. Les équations exprimant les phénomènes d'écoulements sont principalement celles de dérivées des lois physiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. On a abordé aussi les options relatives à la résolution numérique par ce logiciel.[12]

II.2 Formulation mathématique

II.2.1 Le bilan massique

Equation de conservation massique (continuité)

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Dans le cas d'un environnement sans source ou bien de matière, l'équation de continuité s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{Div}(\rho \cdot V) = 0$$

Où ρ est la masse volumique, et V est le vecteur de vitesse.[10]

II.2.2 Le bilan de quantité du mouvement

Equation de quantité du mouvement :

Déterminons la variation temporelle de la quantité de mouvement d'un élément de fluide de volume unité, dont la masse volumique ρ est :

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho \cdot f - \nabla p + \nabla \tau$$

Avec :

$\rho \cdot v$: Les forces de volume

∇p : La force de pression

$\nabla \tau$: La force de viscosité Dans le cas des fluides newtoniens, l'équation prend la forme simplifiée des équations de Navier-Stokes

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho \cdot F - \text{grad}(p) + \mu \nabla^2 V + \frac{\mu}{3} \text{grad}(\text{div}(V))$$

Où : μ : est la viscosité dynamique de l'air.

F : Force par unité de volume.[10]

II.2.3 Le bilan thermique

Equation de conservation de l'énergie totale

$$\frac{d}{dt} \rho c_p T = \Delta (\lambda T) + q + \beta T \frac{dp}{dt} + \mu \phi$$

Avec :

$\frac{d}{dt} (\rho c_p T)$: La variation totale d'énergie.

$\Delta (\lambda T)$: La variation d'énergie par conduction

q : la puissance volumique dissipée

$\beta T \frac{dp}{dt}$: La variation d'énergie due a la compressibilité

$\mu\phi$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux. Les coefficients C_p , λ , et β sont respectivement, la chaleur spécifique à pression, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.[10]

II.3 Modèle adopté

II.3.1 Hypothèses simplificatrices

Pour construire des modèles suffisamment détaillés et précis, en vue de réduire ce système et faciliter sa résolution, nous posons certaines approximations et hypothèses simplificatrices :

- Le fluide (l'air) est visqueux et newtonien.
- Le fluide est supposé incompressible.
- Les propriétés thermo-physiques du fluide sont supposées constantes.
- La dissipation visqueuse est négligeable en raison des faibles vitesses mises en jeu $\phi = 0$.
- La puissance d'échauffement par compression est négligeable devant les autres termes d'énergie ($\beta T \frac{dp}{dt} = 0$).
- Les forces volumiques sont limitées aux forces de gravitation.
- La puissance volumique dissipée est négligeable ($q = 0$). [10]

II.3.2 Approximation de Boussinesq :

Pour des configurations d'écoulements dans une serre, la résultante des forces externes est limitée aux forces gravitationnelles de sorte que l'influence de la convection naturelle provoquée par des gradients de la température soit évidente. Quand les forces de flottabilité se produisent dans l'écoulement, la conception des propriétés physiques fixes n'assortit plus le comportement de l'écoulement du fluide (Boulard et al, 2002). L'effet de la convection naturelle est pris en considération dans l'équation de quantité de mouvement par la variation de la masse volumique. Si en prenant un état thermodynamique de référence (masse volumique ρ_0 et une température T_0), l'équation d'état pour la masse volumique.

$$\rho_0 = \rho_0 \left(1 - \frac{T - T_0}{T_0} + \dots \right)$$

En se limitant à un développement du premier ordre : $\rho_0 = \rho_0 (1 - \beta (T - T_0))$
 β ; est le coefficient de dilatation isobare du fluide, soit :

$$\beta = \frac{-1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)$$

En fait, la racine de la convection naturelle est la variation de la masse volumique du fluide, qui crée une force motrice volumétrique (archimédienne) qui est compensée par un frottement particulièrement visqueux.[4]

II.3.3 Système d'équations retenues

En régime instationnaire, les équations de conservation sont données comme suit :

Équation Continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

Équation Navier Stokes :

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

Équation d'énergie :

$$\frac{\partial (\rho c_p T)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho c_p U_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + T \beta \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} \right)$$

Équation de l'énergie cinétique turbulente k :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

Équation de la dissipation d'énergie :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + G_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon$$

II.4. Nombre de Rayleigh

Est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides et caractérisant le transfert de chaleur au sein d'un fluide : inférieur à une valeur critique de 2000, le transfert s'opère essentiellement par conduction, tandis qu'au-delà de cette valeur c'est la convection naturelle qui devient importante.[4]

On peut le définir comme le produit du nombre de Grashof, reliant les effets de la force gravifique à la viscosité du fluide, et du nombre de Prandtl. Ce nombre porte le nom de Lord Rayleigh, physicien anglais. On le définit de la manière suivante :

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha}$$

II.5. Le Nombre de Grashof

Est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection naturelle dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. Ce nombre porte le nom de Franz Grashof, ingénieur allemand. On le définit de la manière suivante :

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

g : Accélération de la pesanteur.

β : Coefficient de dilatation.[4]

II.6. Le Nombre de Nusselt

Est un nombre adimensionnel utilisé dans les opérations de transfert thermique. Il représente le rapport entre le transfert thermique convectif et le transfert thermique conductif à travers une interface (souvent fluide/solide). Si la conduction est le principal mode de transfert, alors le nombre de Nusselt sera de l'ordre de l'unité. En cas de présence de convection (due par exemple au déplacement d'un fluide en régime turbulent), le transfert thermique s'effectuera principalement par déplacement du fluide et aura pour conséquence de faire tendre le nombre de Nusselt vers l'infini.[4]

On le définit de la manière suivante :

$$Nu = \frac{hl}{\lambda}$$

h : coefficient de convection

l : longueur caractéristique

λ : conductivité thermique du fluide

chapitre III : Résultats et discussion

III.1 Model numérique :

III.1.1 Présentation de logiciel ANSYS-Fluent :

Il existe un certain nombre de codes industriels, permettant la prédiction des écoulements de fluides (FLUENT, CFX, PHOENICS, FEMLAB, CFD-ACE, FLOTRAN, CFDS-FLOW3D ...). Pour réaliser nos simulations, nous avons choisi le code de calcul ANSYS-Fluent, que nous présentons dans cette partie [11].

III.1.2 Architecture de logiciel :

Le code de calcul « fluent » est commercialisé par le Groupe ANSYS. Le groupe est actuellement l'un des centres d'expertise les plus importants dans le domaine de la mécanique des fluides informatique. Il développe et commercialise des solutions complètes sous forme de logiciel universel CFD (Computer Fluid Dynamics), capable de simuler tous les écoulements compressibles ou incompressibles avec des phénomènes physiques complexes, Tels que turbulence, transfert de chaleur, réactions chimiques, les écoulements multiphasiques pour toute l'industrie.

Ce code est largement utilisé dans les industries aéronautique, automobile et hydraulique et fournit une interface complexe et facile à utiliser. Le logiciel "ANSYS-Fluent" utilise une méthode de volumes finis pour modéliser différents écoulements dans des configurations plus ou moins complexes. Comme tout logiciel de type CFD, il se compose de trois éléments principaux, qui sont le préprocesseur, le solveur et le post-processeur. [10]

a Préprocesseur "Design Modeler& ANSYS Meshing" :

La définition du problème à résoudre se fait à l'aide du préprocesseur Design Modeler. Il permet de représenter la géométrie du système et de spécifier le type de matériau (fluide ou solide). En utilisant ANSYS-Meshing, nous pouvons définir les limites du domaine et également fournir une variété d'algorithmes de maillage pour discrétiser du domaine en fonction de la géométrie utilisée.[10]

b Solveur "FLUENT" :

Le solveur vous permet de définir numériquement les conditions de fonctionnement initiales (par exemple, la désignation de la gravité, de la pression et des conditions aux limites du domaine de calcul).

Il permet aussi de choisir le processus itératif, notamment pour proposer différents schémas de discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de pression-vitesse. Le solveur d « FLUENT" fournit également une interface qui vous permet de contrôler la progression du calcul à tout moment.[10]

c Post-processeur "CFD-Post" :

Le post-processeur, c'est l'élément, qui nous permet de visualiser la géométrie et le maillage du domaine, mais le plus important est de visualiser les résultats obtenus. Ainsi, il nous offre la possibilité de visualiser le champ de vecteurs de vitesse, le champ de pression et le champ de turbulence, ainsi que toutes les autres grandeurs calculées dans une zone, une partie d'une zone ou le volume entier. De plus, il peut également conspirer pour tracer des courbes et de visualiser les lignes de courant ou la trajectoire de particules.[10]

III.1.3 Définition de la méthode de résolution :

Le code de calcul ANSYS-Fluent utilise une adaptation de la méthode des volumes finis, qui comprend la discrétisation du domaine en éléments appelés volumes de contrôle, puis l'intégration des équations d'évolution sur chaque volume. Chaque équation aux dérivées partielles est intégrée au sein d'un volume de contrôle où

Maille de calcul, afin d'obtenir une équation discrète qui relie la valeur de la variable au centre, aux variables voisines. La maille de calcul est un volume dont la longueur

Caractéristique est le pas de discrétisation spatiale. Une fois la formulation mathématique du problème réalisée, ce pas de discrétisation est fixé de manière à assurer la précision des calculs et tient compte, en particulier, des conditions de stabilité numérique imposées par la valeur des gradients. [12]

III.1.4 Génération de maillage :

Le domaine de calcul est subdivisé en un ensemble de variables de contrôle. Ces volumes contiennent l'intégralité du domaine de calcul, de sorte que leur volume total est exactement égal au volume du domaine de calcul.

III.1.5 Simulation avec ANSYS-Fluent :

a Définition de la géométrie :

Notre géométrie est construite sur ANSYS-Workbench en 3D, Il s'agit de deux serres de types tunnel et pieds droits, dont ses caractéristiques géométriques sont : 1000mm de large, 2000mm de long et une hauteur 500mm. Notre serre est située à la zone de Ouargla sud d'Algérie à longitude (4.9466) et à l'altitude (32.16778)

ANSYS-Workbench nous a facilité la tâche et nous a permis sans efforts manuels, en temps réduit et avec précision la conception et la préparation de la géométrie de la serre, cette dernière était réalisée à partir des coordonnées cartésiennes (x, y, z) introduites sous forme (texte) ce qui permet de l'exporter vers les autres logiciels sans aucun risque d'erreurs.

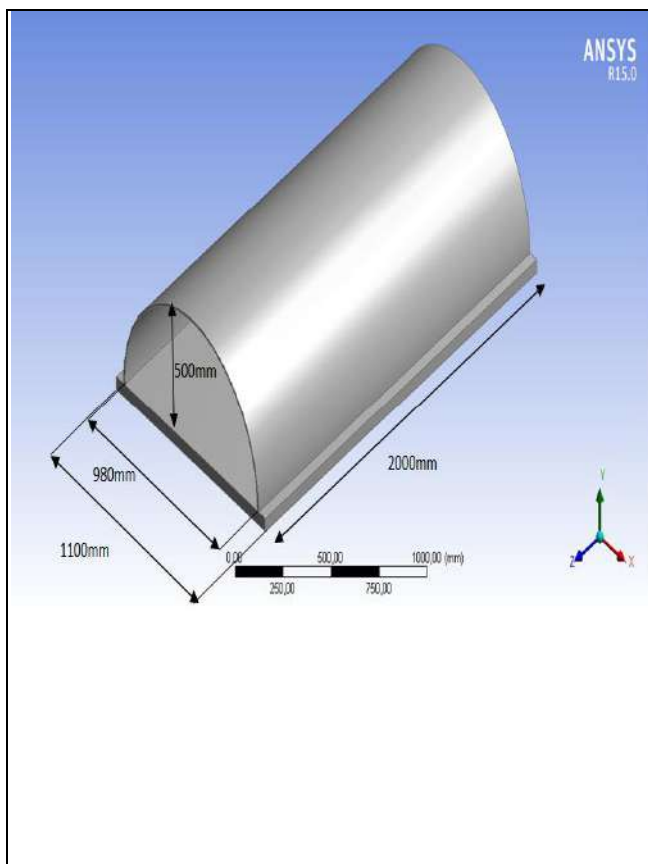


Figure III.1 Géométrie et dimensions d'une serre tunnel.

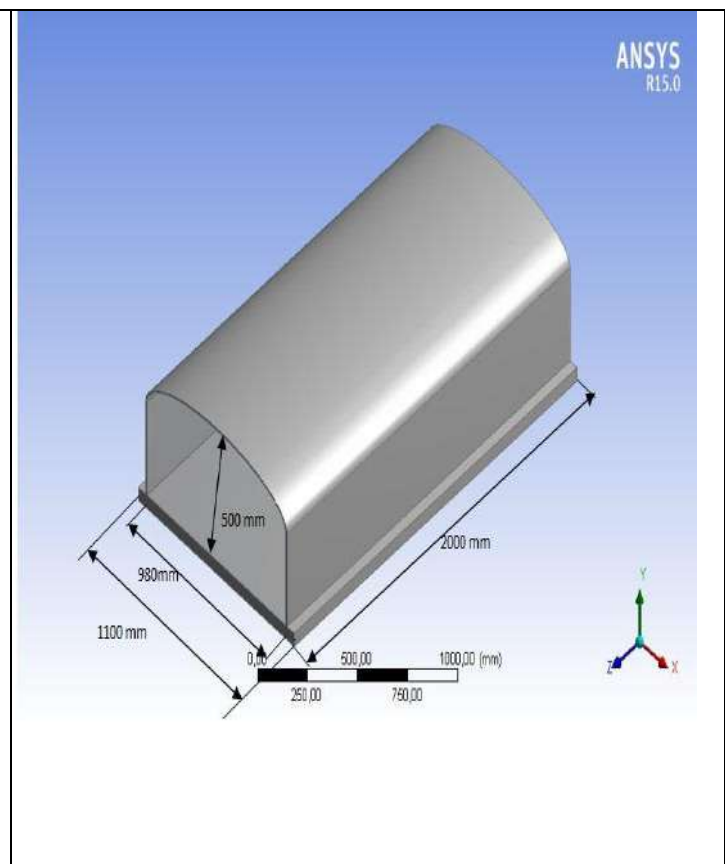


Figure III.2 Géométrie et dimensions d'une serre à pieds droits.

b Le maillage :

La génération du maillage se fait aussi à l'aide du ANSYS-Workbench, En s'appuyant sur la géométrie précédente, nous définissons d'abord les sélections nommées de toutes les bordures, nous fixons les dimensionnements du maillage ainsi la nature du corps surfacique, le module permet de générer un maillage quadrilatérale et triangulaire en 2D (surfacique), et hexaédrique ou tétraédrique en 3D.

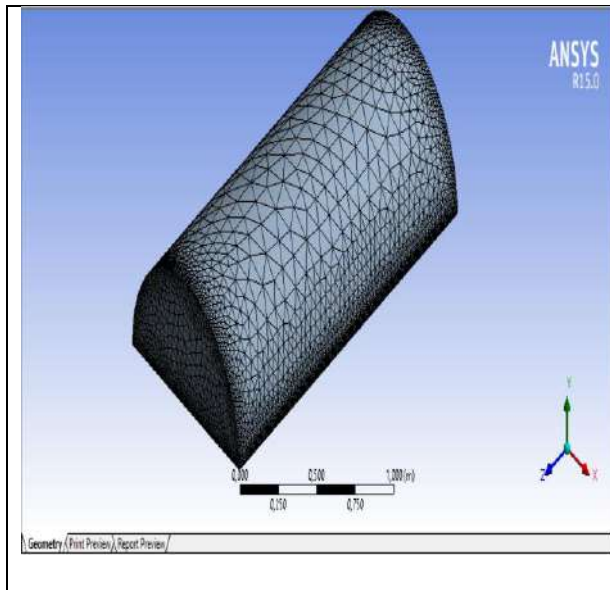


Figure III.3 maillage de la serre tunnel

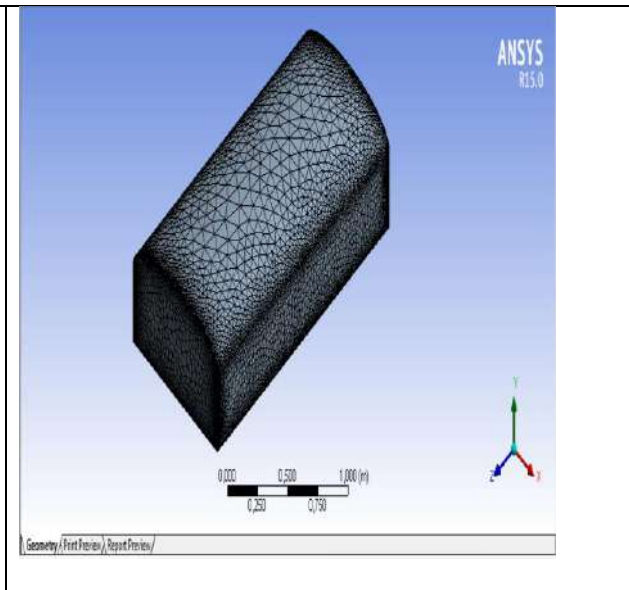


Figure III.4 Maillage de la serre à pieds droits

c Propriétés du Matériaux :

Le logiciel ANSYS-FLUENT propose une librairie des fluides et solides, les plus communément utilisés dans les problèmes de la mécanique des fluides, avec des valeurs constantes ou variables pour chacune de ses propriétés. De plus, il permet à l'utilisateur d'introduire et d'enregistrer leur propre modèle fluide ou solide pour d'autres applications. **Fluide :** Nous avons choisi comme fluide l'air, ses propriétés sont représentées dans le tableau III-1.

Tableau III-2 Propriétés du l'air

Propriétés	Valeurs numériques
Viscosité dynamique	1.7894. 10^{-5} kg/m-s
Chaleur spécifique	1006.43 j/Kg-k
Conductivité thermique	0.0242 W/m-k
Densité	1.225 Kg/m ³

Solide :

La couverture : On utilise l'aluminium est le plus utilisé. Ce matériau est transparent dans le domaine du visible.

d Les condition limites :

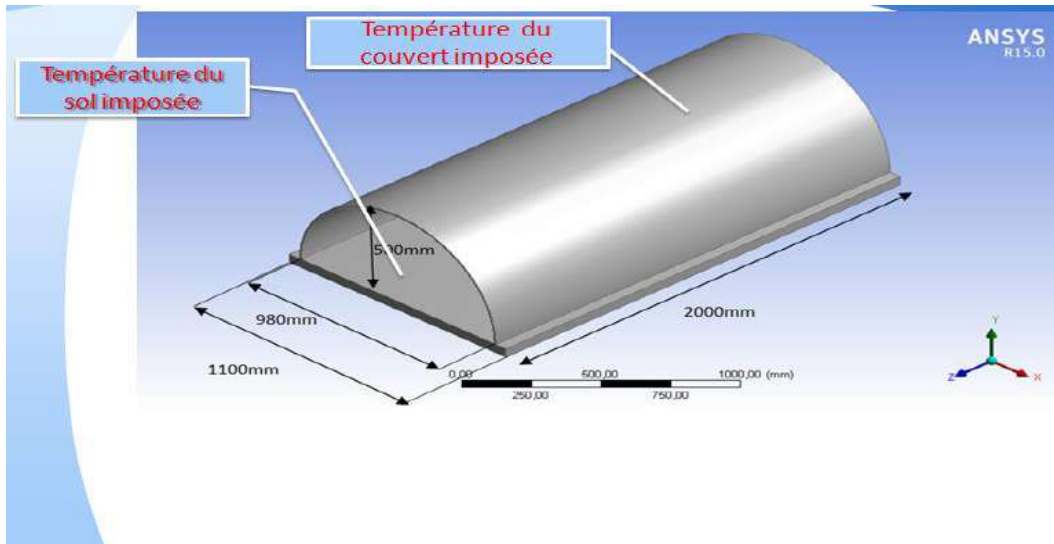


Figure III.5 Température du tunnel imposée

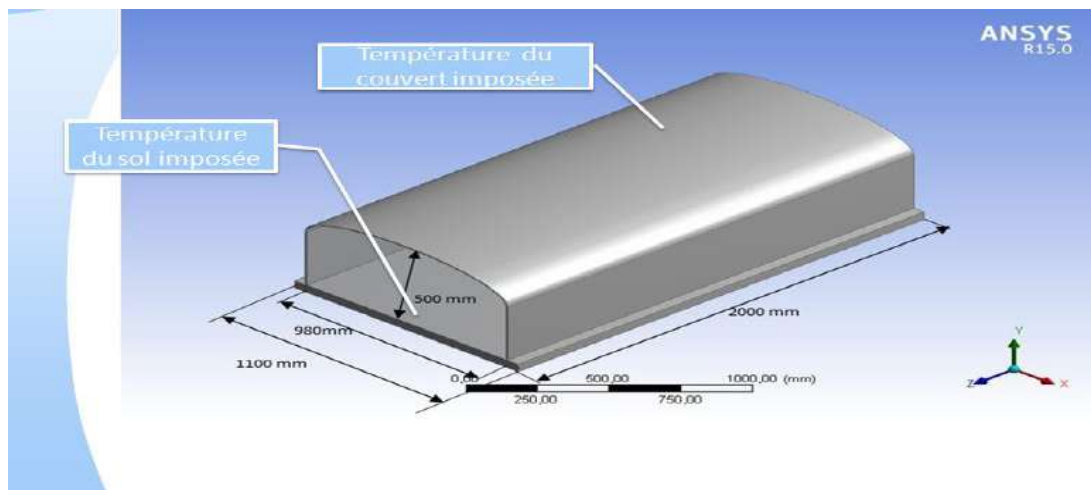


Figure III.6 Température du pieds droits imposée

III.2 Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol.)

III.2.1 Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 320°K)

On observe sur la figure 1 que l'écoulement dans le plan OXY est dominé par la formation de deux grandes structures tourbillonnaires. On remarque un courant d'air chaud ascendant aux milieux de la serre ou enregistre aussi les vitesses maximales.

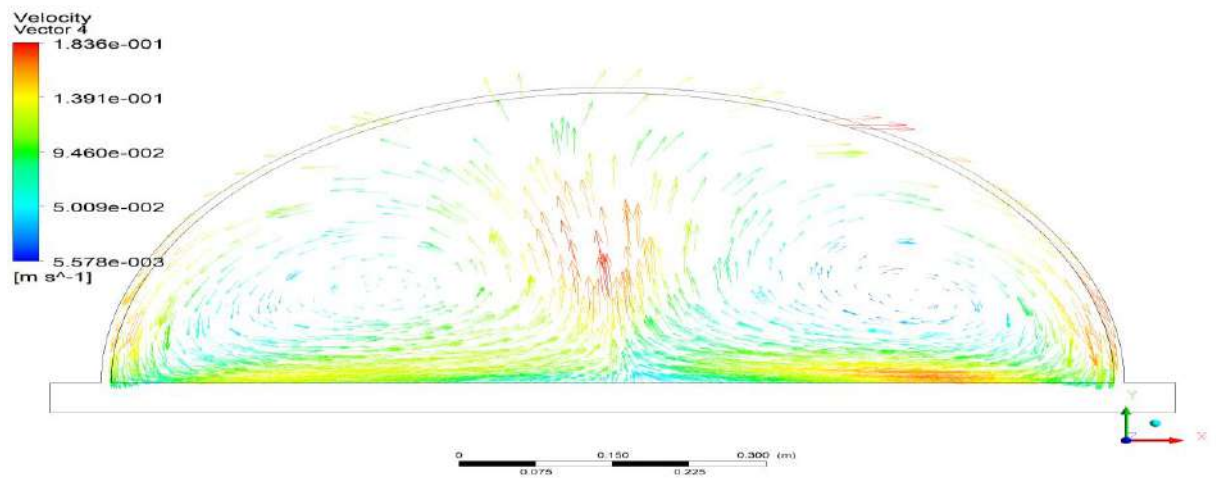


Figure III.7 Champ des vecteurs dans le plan OXY à l'instant $t=T+160s$.

Il est de même aussi dans ce plan OYZ où on observe deux vortex contrarotatifs. En réalité et après analyse profonde de ces résultats on a conclu que : **Le champ d'écoulement dans la serre est régi par un seul vortex tridimensionnel qui s'allonge dans tout le domaine fluide.**

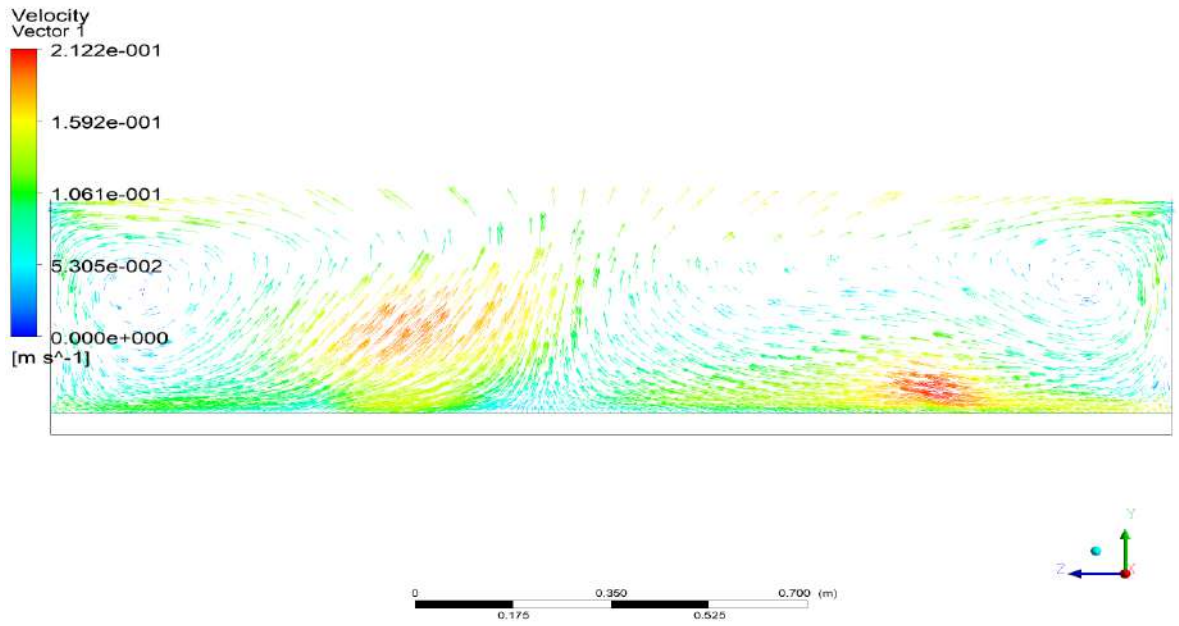


Figure III.8 Champ des vecteurs plan OYZ à l'instant $t=T+160s$.

2^{ème} cas après 220 s :

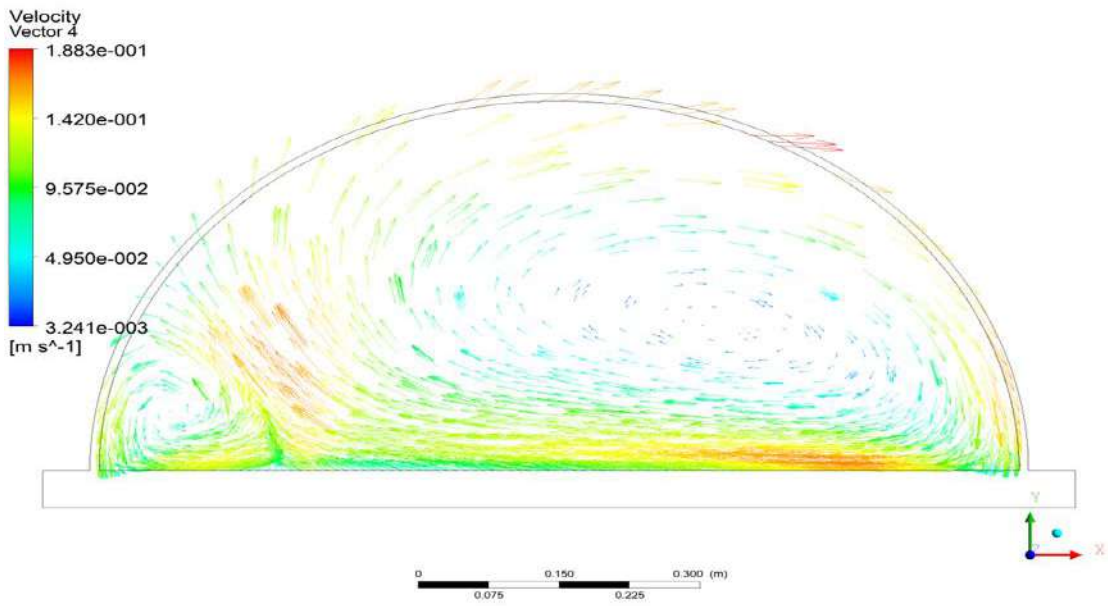


Figure III.9 Champ des vecteurs vitesses. $T+220s$

3^{ème} cas après 320 s :

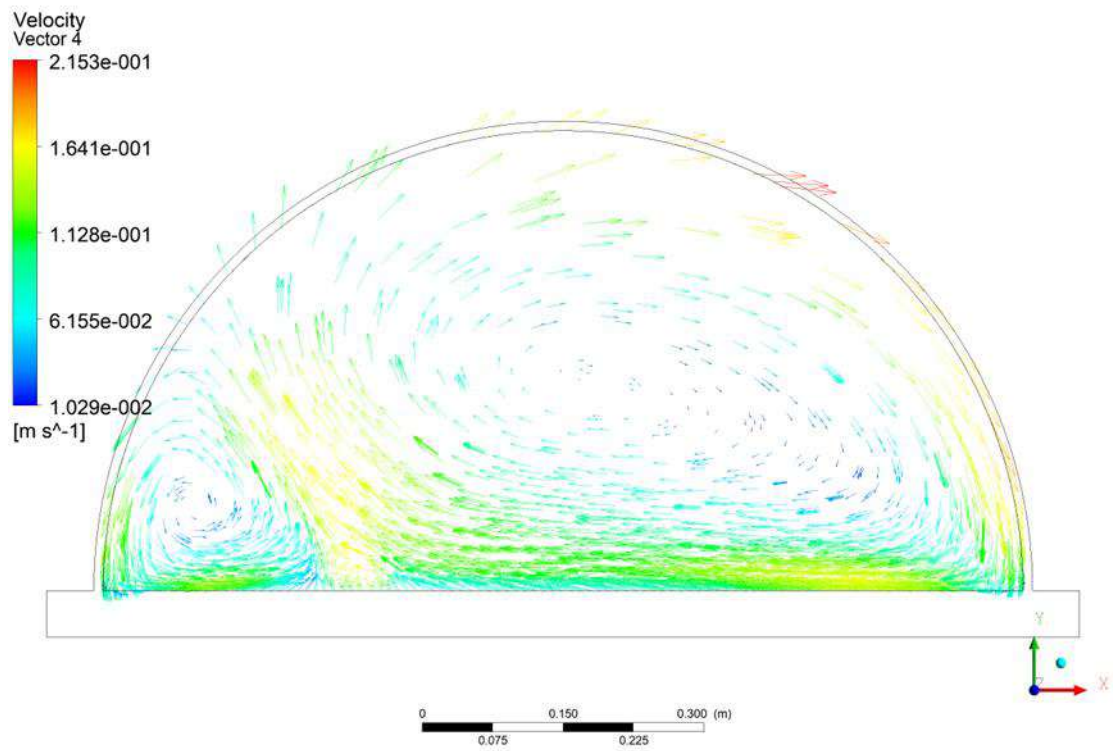


Figure III.10 Champ des vecteurs vitesses. $T+320s$

4^{ème} cas après 420 s :

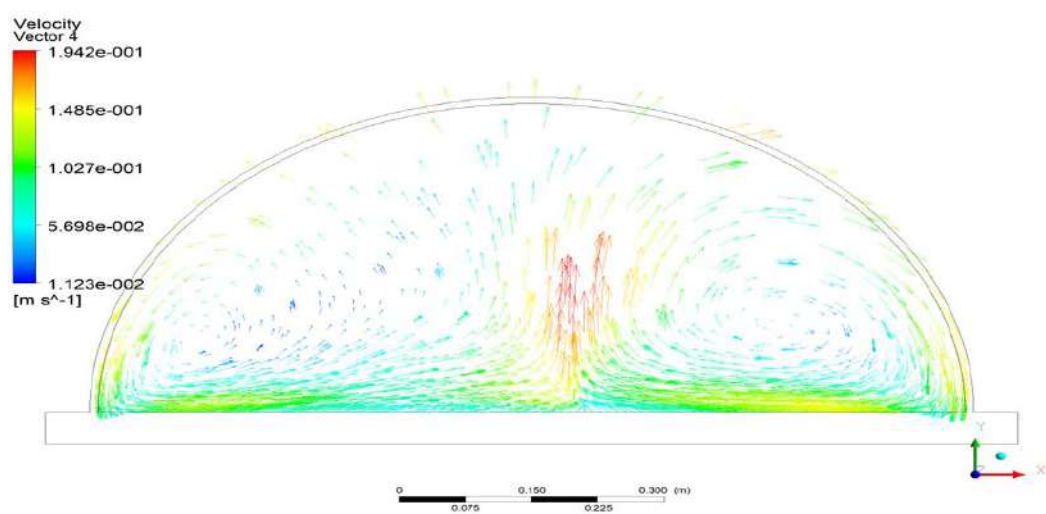


Figure III.11 Champ des vecteurs vitesses. $T+420s$

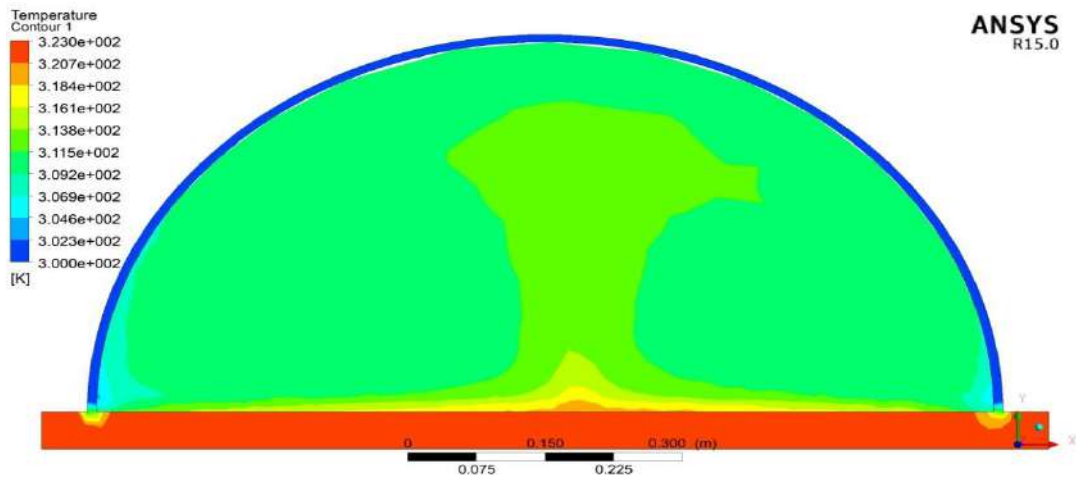
a **Champ de température (cas des serres tunnel avec température du sol 320°K)**

Figure III.12 champ de température 320°K

Interprétation :

Une augmentation de la vitesse de l'air signifie une augmentation La température à center de la serre, et on voit que cette augmentation est due à Principalement à la stagnation du flux sur les différentes parois de la serre.

D'après les résultats observés, dans ces conditions, l'écoulement n'a pas atteint un régime stationnaire est due à l'instabilité des échanges de quantité de mouvement entre les deux membres du vortex.

III.2.2 Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 308°K)

On observe sur la figure 1 que l'écoulement dans le plan OXY est dominé par la formation de deux grandes structures tourbillonnaires. On remarque un courant d'air chaud ascendant au milieu de la serre ou enregistre aussi les vitesses maximales.

1^{ère} cas : 3.5 s

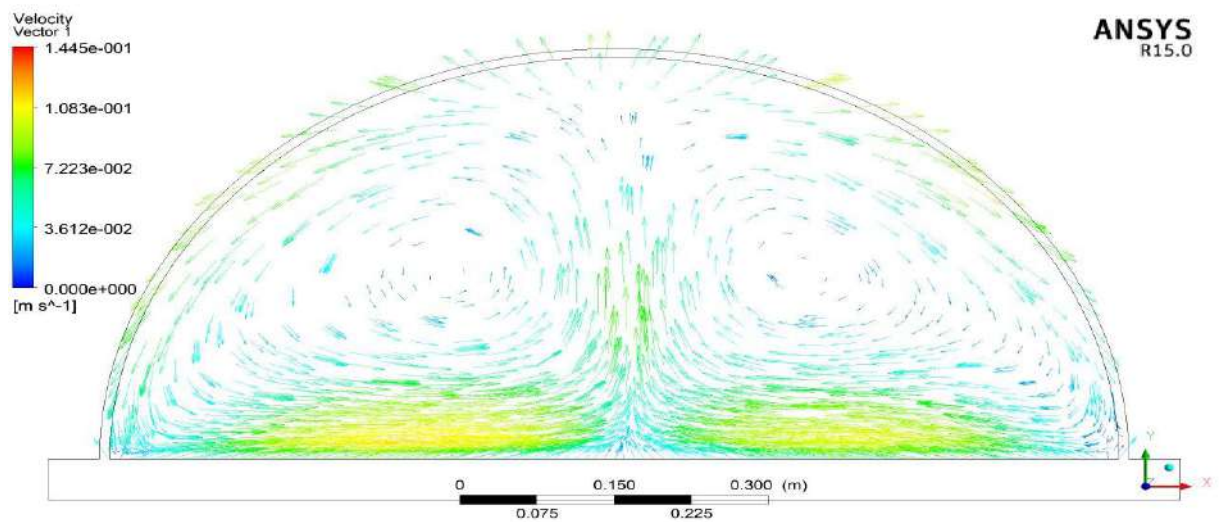


Figure III.13 Champ des vecteurs vitesses. $T+3.5s$

2^{ème} cas après 140 s :

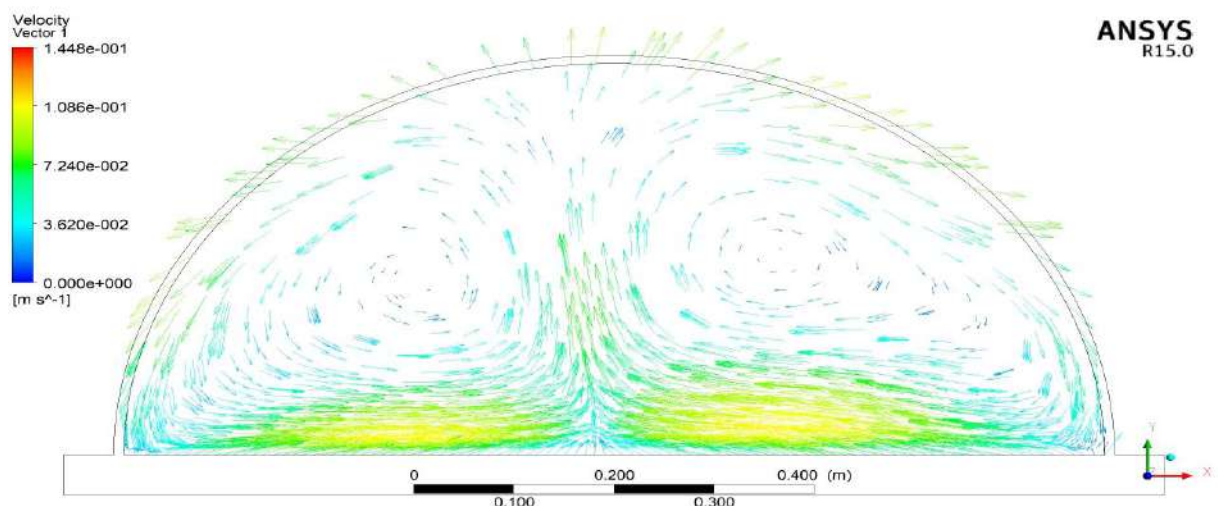


Figure III.14 Champ des vecteurs vitesses. $T+140s$

3^{ème} cas après 300 s :

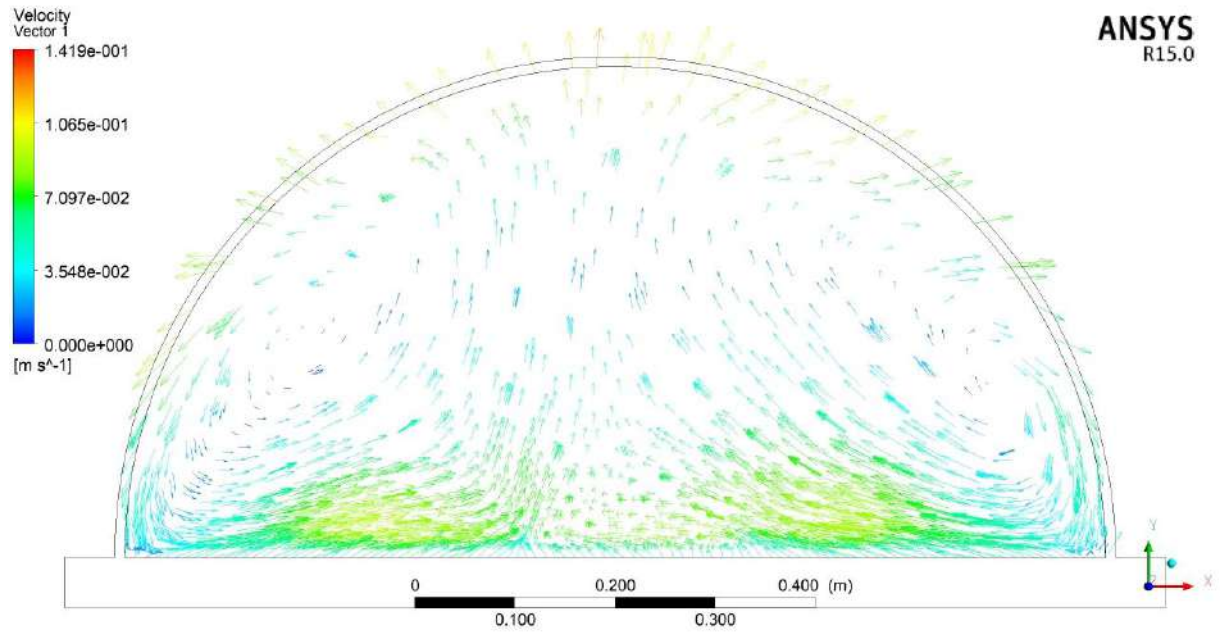


Figure III.15 Champ des vecteurs vitesses. T+300s

4^{ème} cas après 452 s :

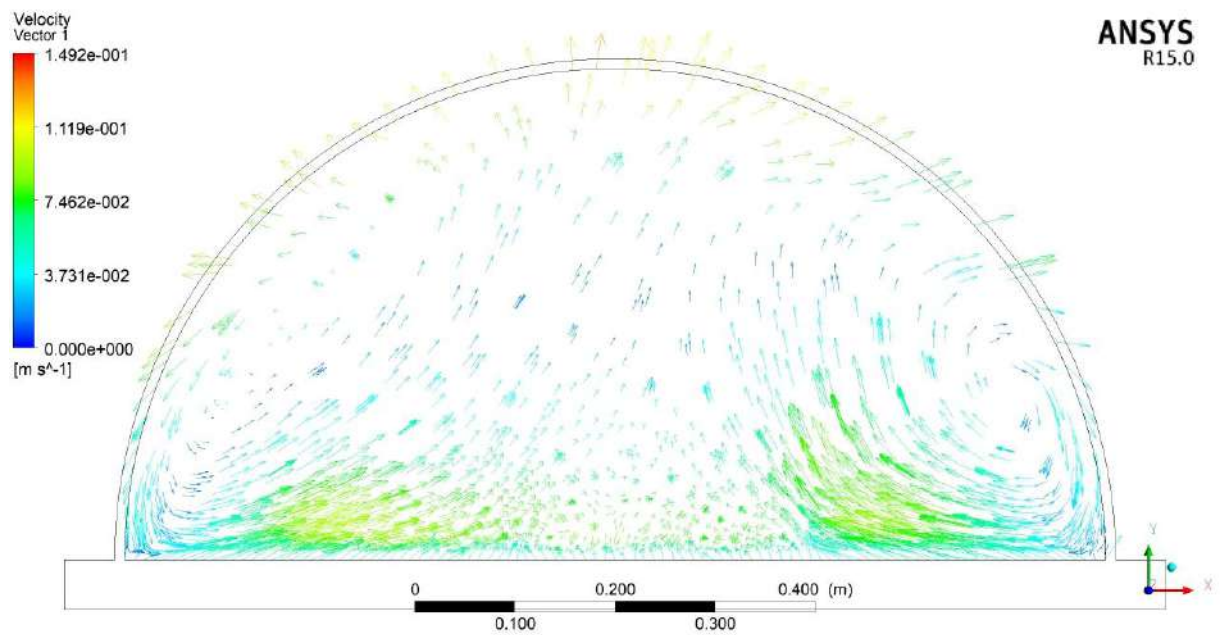


Figure III.16 Champ des vecteurs vitesses. T+452s

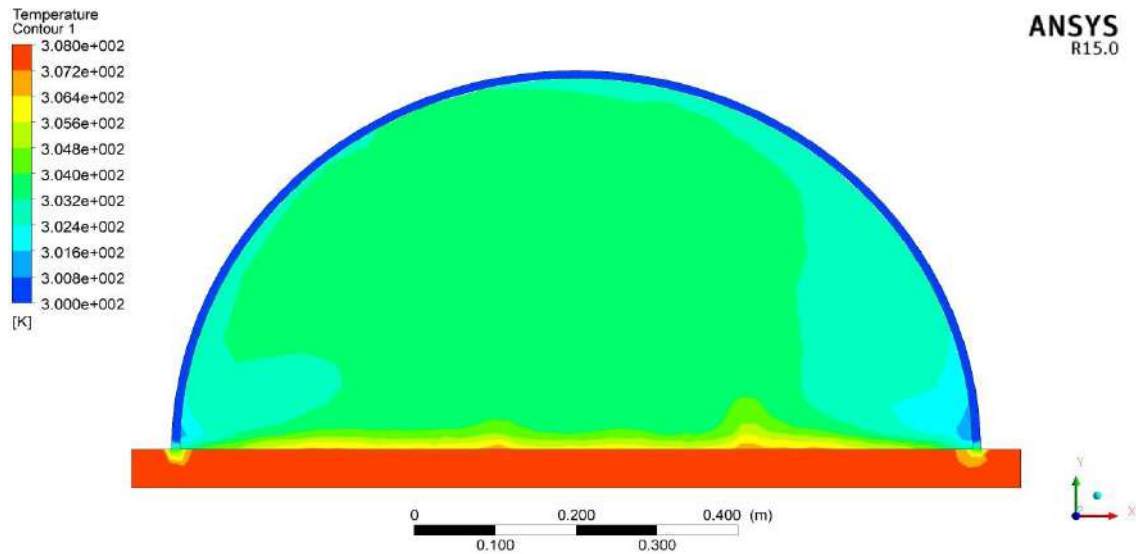
a **Champ de température (cas des serres tunnel avec température du sol 308°K)**

Figure III.17 champ de température 308°K

Interprétation :

Une augmentation de la vitesse de l'air signifie une augmentation La température à center de la serre, et on voit que cette augmentation est due à Principalement à la stagnation du flux sur les différentes parois de la serre.

D'après les résultats observés, dans ces conditions, l'écoulement n'a pas atteint un régime stationnaire est due à l'instabilité des échanges de quantité de mouvement entre les deux membres du vortex.

III.2.3 Champ aérothermique (cas des serres tunnel avec température du sol 288°K)

1^{ère} cas après 7s :

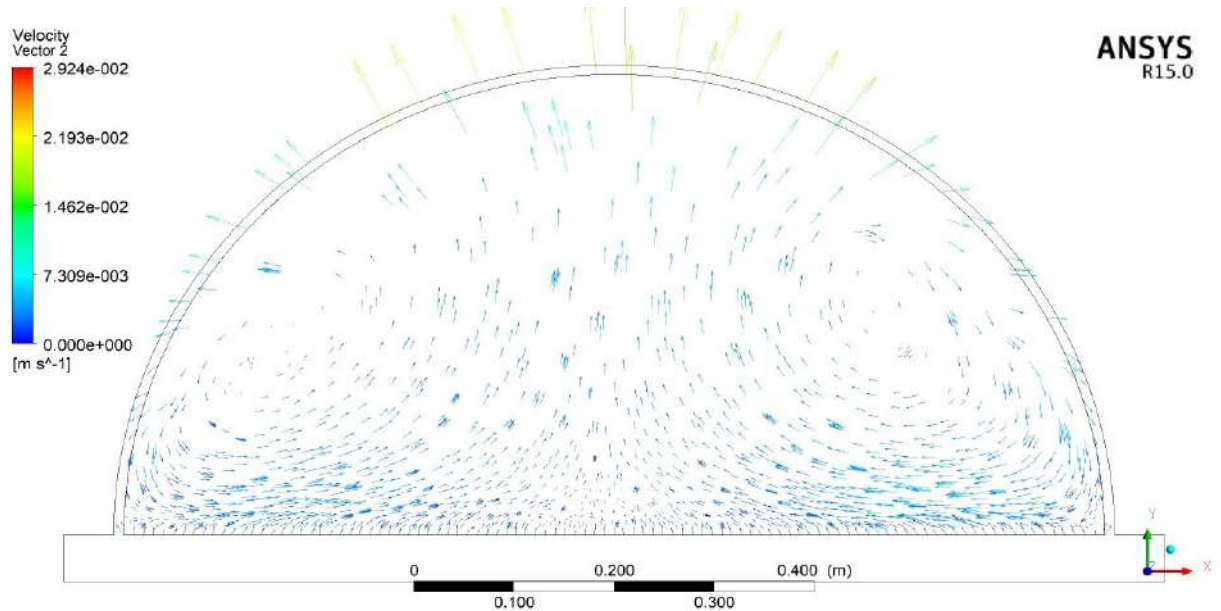


Figure III.18 Champ des vecteurs vitesses. $T+7s$

2^{ème} cas après 120 s :

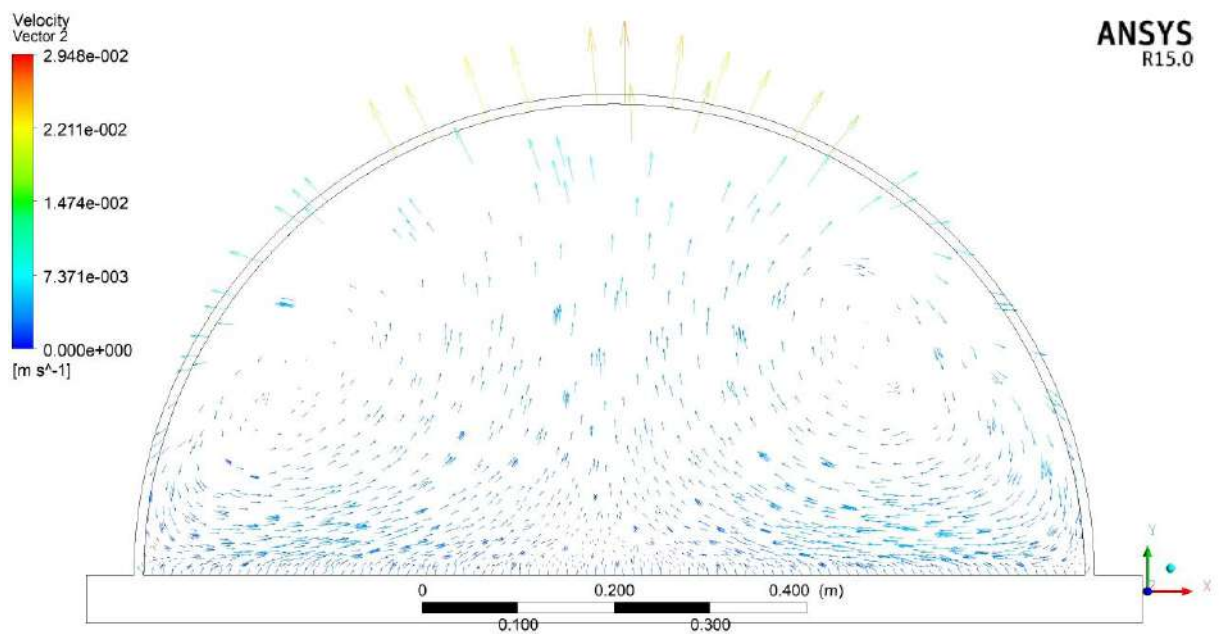


Figure III.19 Champ des vecteurs vitesses. $T+120s$

3^{ème} cas après 180 s :

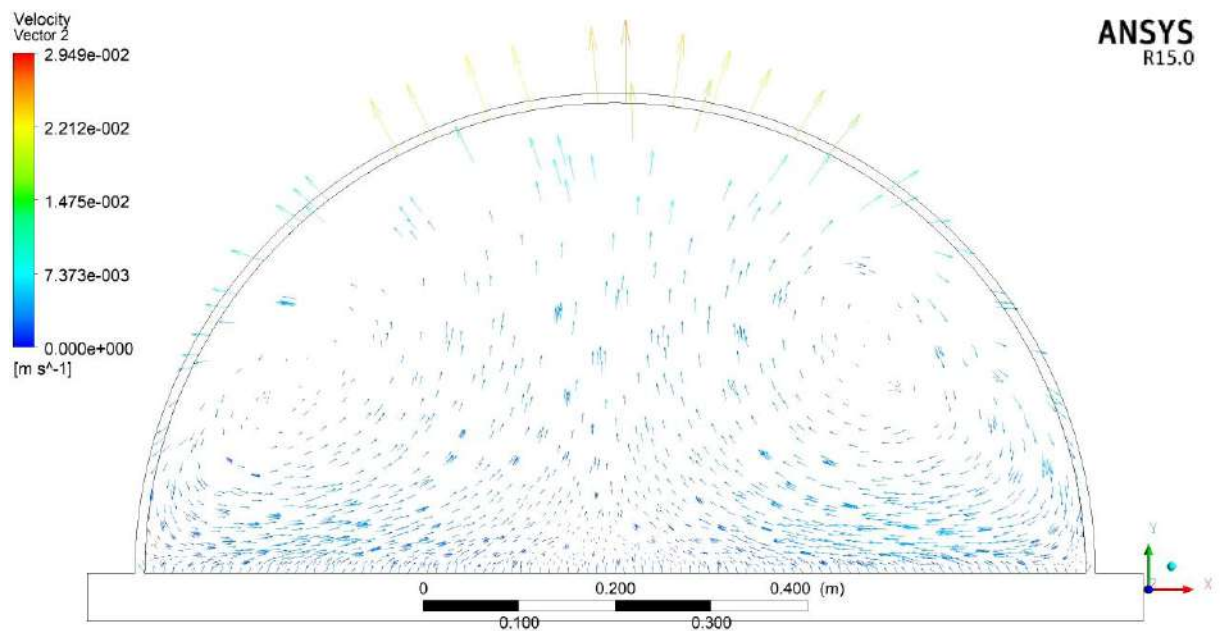


Figure III.20 Champ des vecteurs vitesses. T+180s

4^{ème} cas après 270 s :

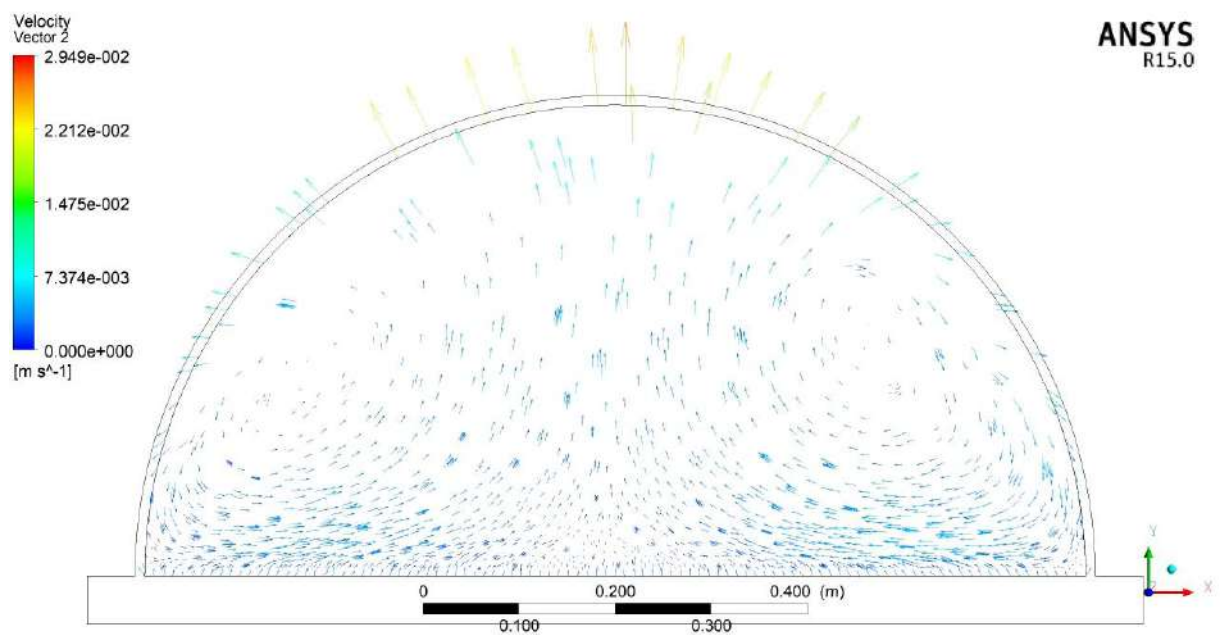


Figure III.21 Champ des vecteurs vitesses. T+270s

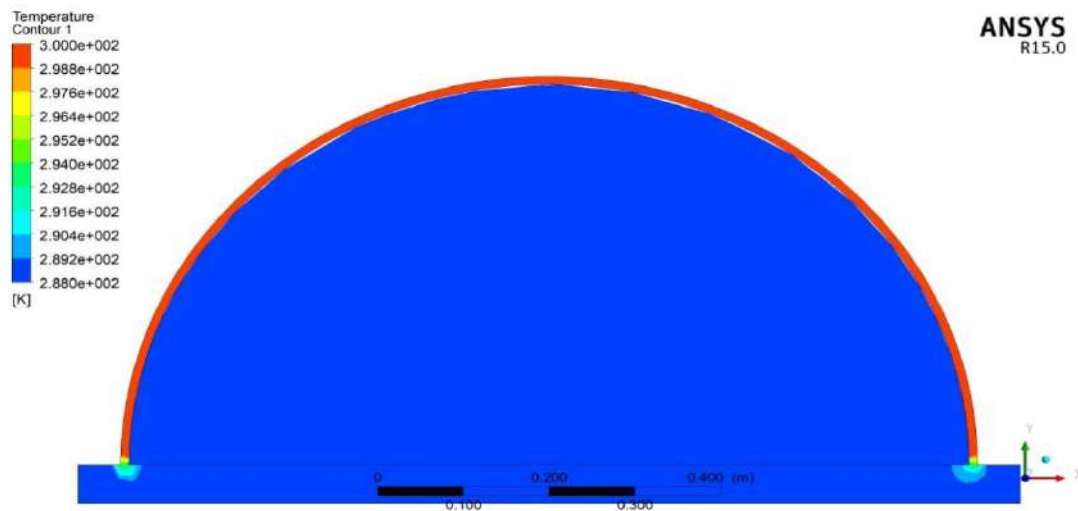
a **Champ de température (cas des serres tunnel avec température du sol 288°K)**

Figure III.22 champ de température 288°K

Interprétation :

Pour la température du sol de 288 °k, nous avons observé que la vitesse d'air dans une serre tunnel connaissait un régime permanent. Cela est dû à la basse température à l'intérieur, comme le montre les figures.

III.3 Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol**III.3.1 Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 320°K)**

On observe sur la figure 1 que l'écoulement dans le plan OXY est dominé par la formation de deux grandes structures tourbillonnaires. On remarque un courant d'air chaud ascendant aux milieux de la serre ou en enregistre aussi les vitesses maximales.

1^{er} cas après 10s

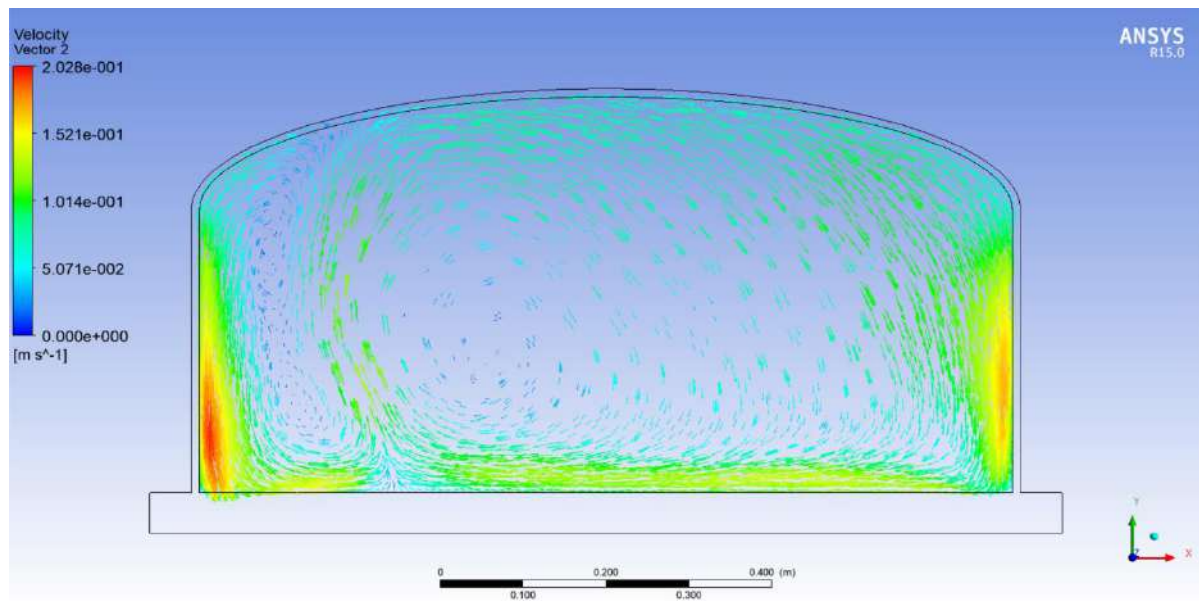


Figure III.23 Champ des vecteurs vitesses. $T+10s$

2^{ème} cas après 50 s :

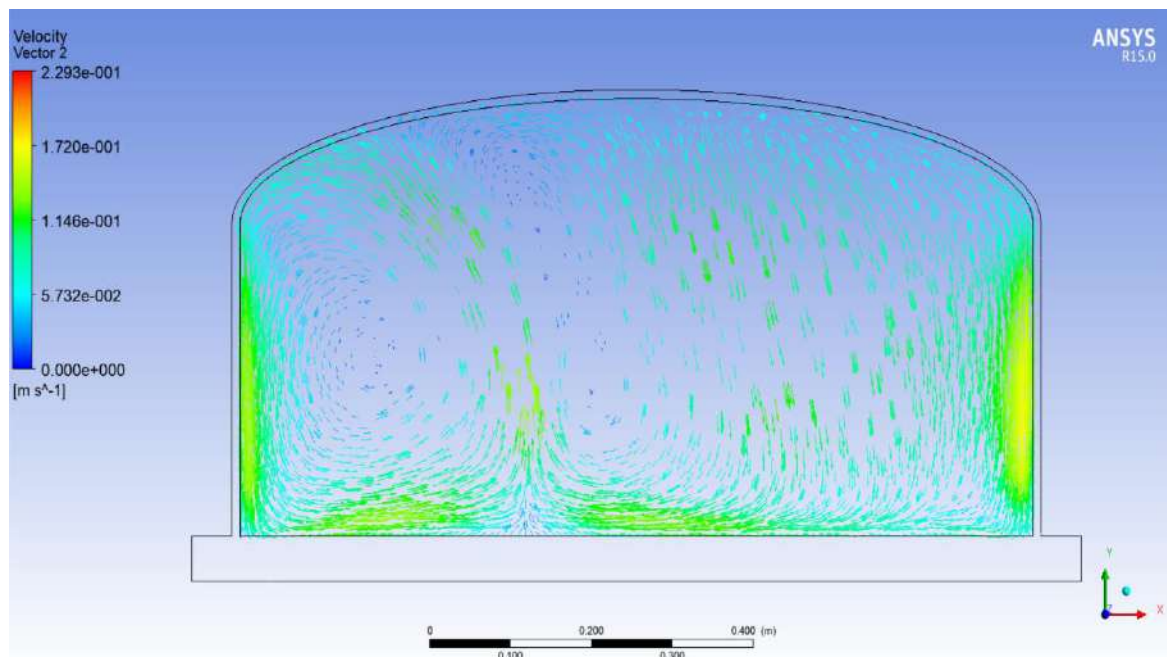


Figure III.24 Champ des vecteurs vitesses. $T+50s$

3^{ème} cas après 140 s :

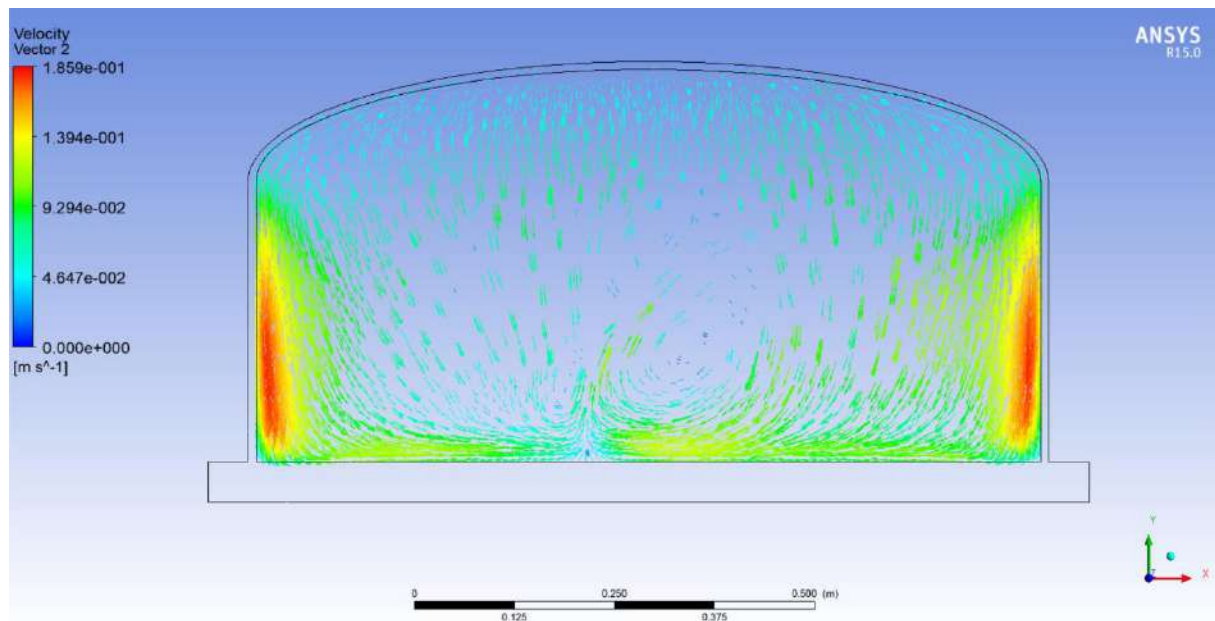


Figure III.25 Champ des vecteurs vitesses. $T+140s$

4^{ème} cas après 209 s :

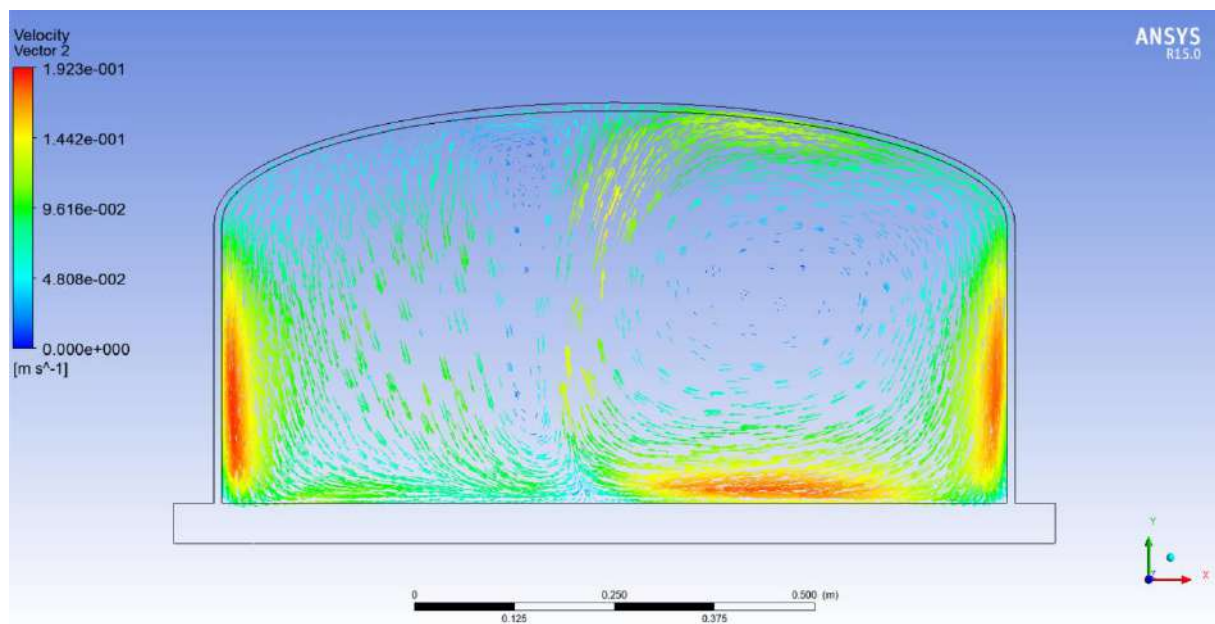


Figure III.26 Champ des vecteurs vitesses. $T+209s$

a **Champ de température (cas des serres tunnel avec température du sol 288°K)**

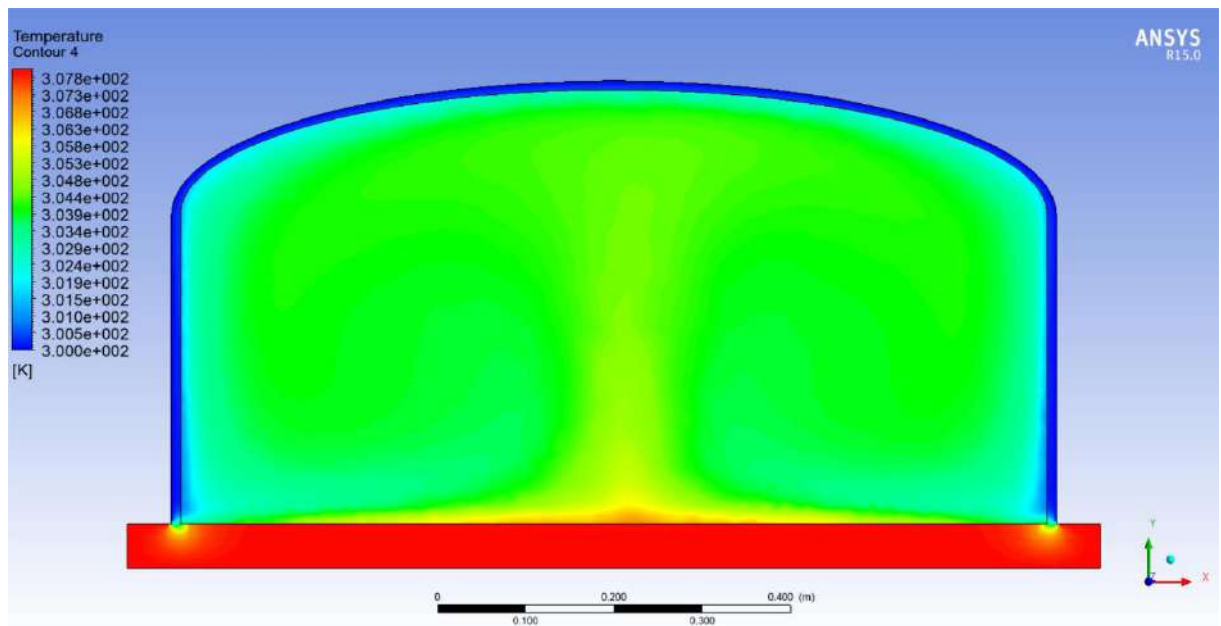


Figure III.27 champ de température 320°K

Interprétation :

Une augmentation de la vitesse de l'air signifie une augmentation La température à center de la serre, et on voit que cette augmentation est due à Principalement à la stagnation du flux sur les différentes parois de la serre.

D'après les résultats observés, dans ces conditions, l'écoulement n'a pas atteint un régime stationnaire est due à l'instabilité des échanges de quantité de mouvement entre les deux membres du vortex

III.3.2 Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 308°K)

On observe sur la figure 1 que l'écoulement dans le plan OXY est dominé par la formation de deux grandes structures tourbillonnaires. On remarque un courant d'air chaud ascendant aux milieux de la serre ou en enregistre aussi les vitesses maximales.

1^{er} cas Apré 5 s

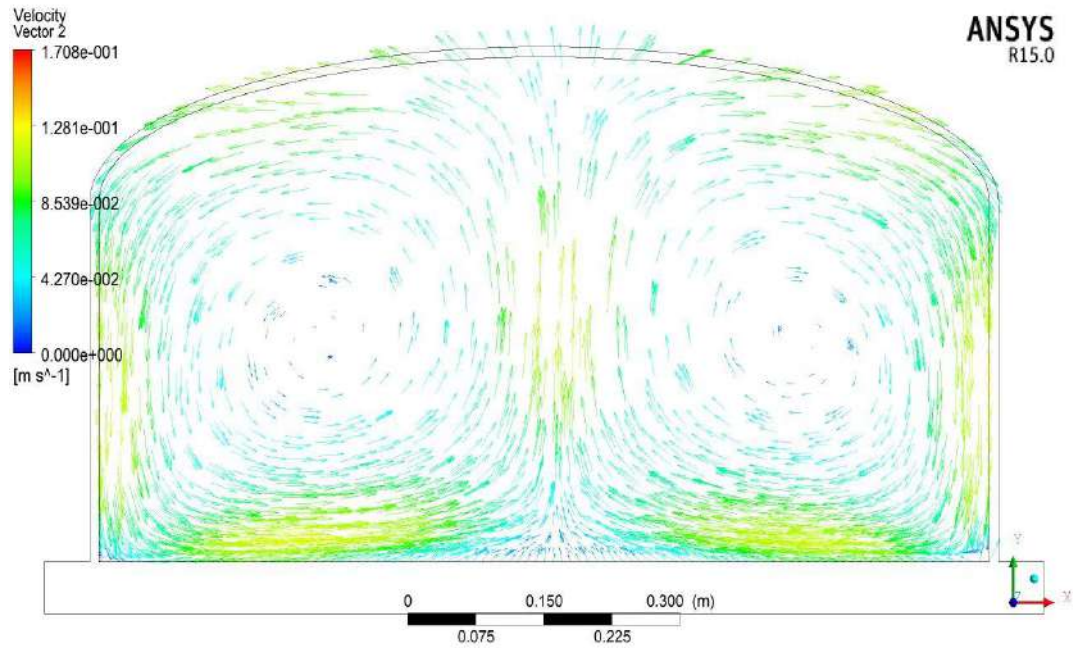


Figure III.28 Champ des vecteurs vitesses. $T+5s$

2^{ème} cas après 120 s :

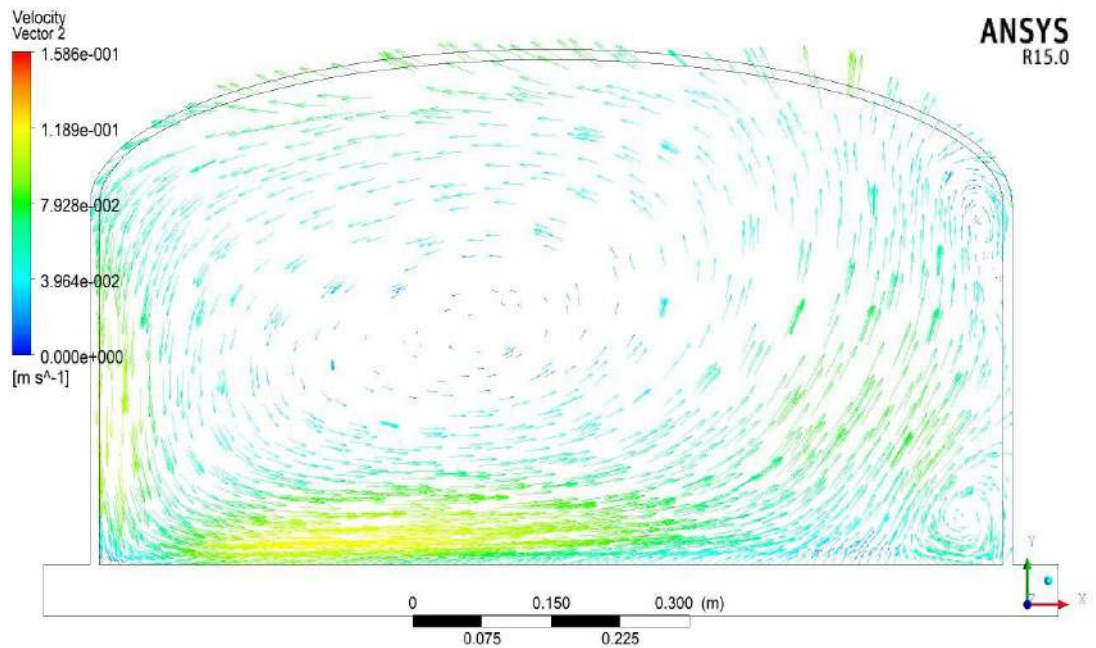


Figure III.29 Champ des vecteurs vitesses. $T+120s$

3^{ème} cas après 330 s :

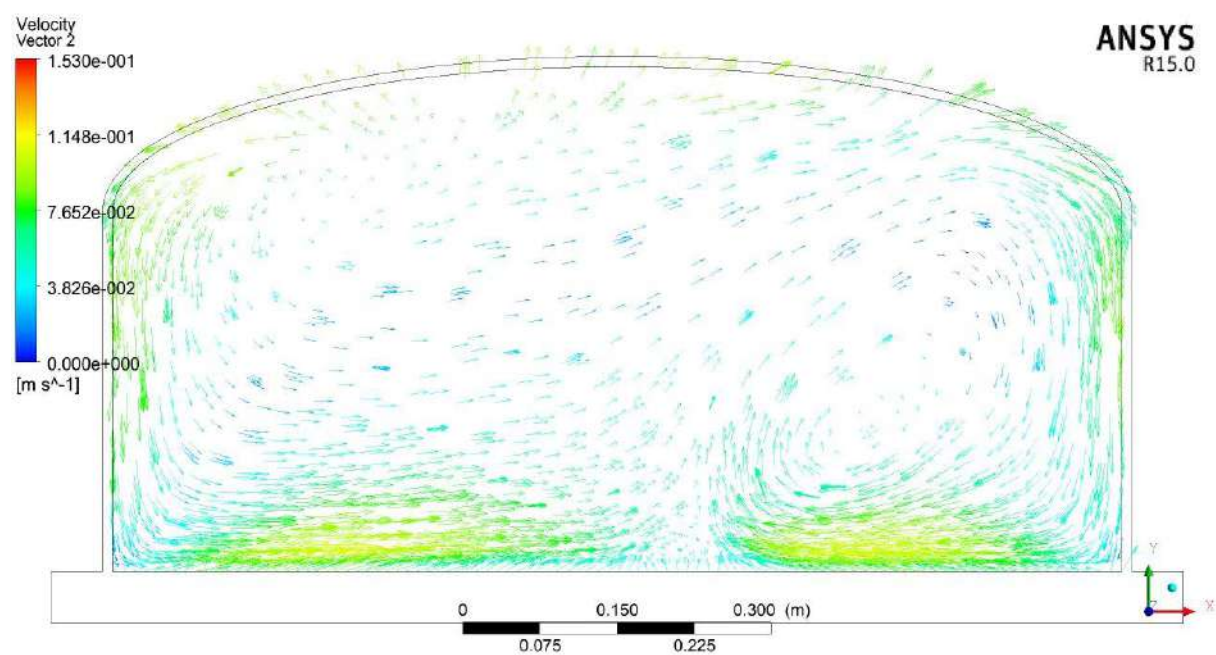


Figure III.30 Champ des vecteurs vitesses. $T+330s$

4^{ème} cas après 440 s :

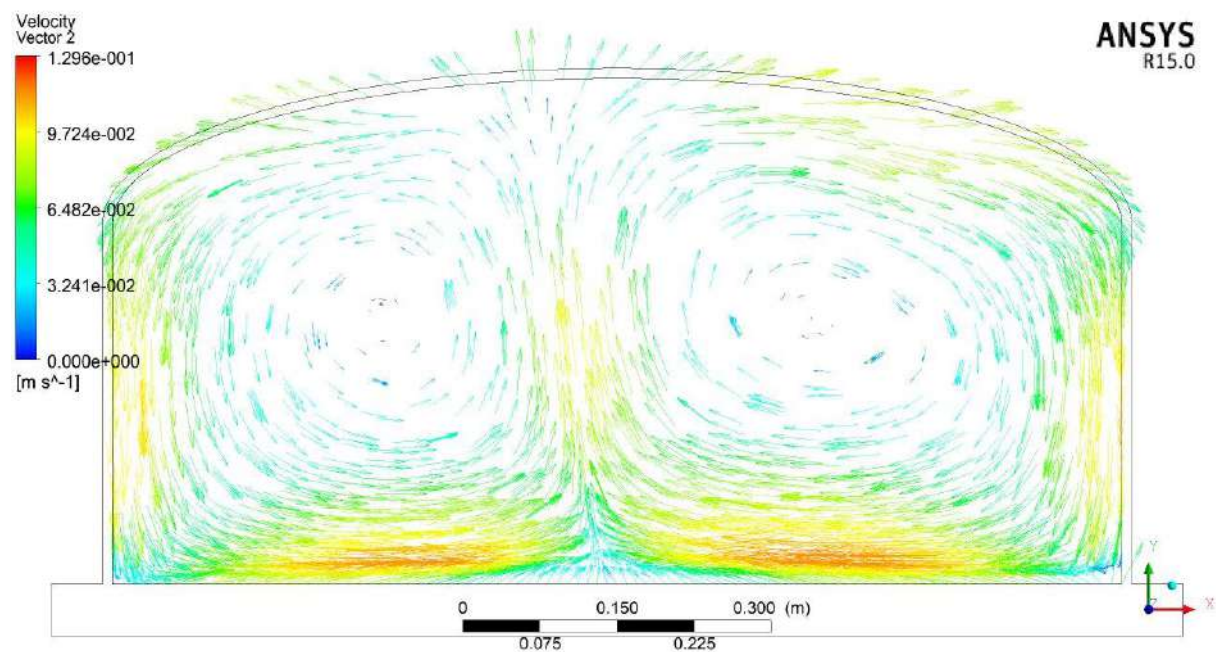


Figure III.31 Champ des vecteurs vitesses. $T+440$

a **Champ de température (cas des serres à pieds droits avec température du sol 288°K)**

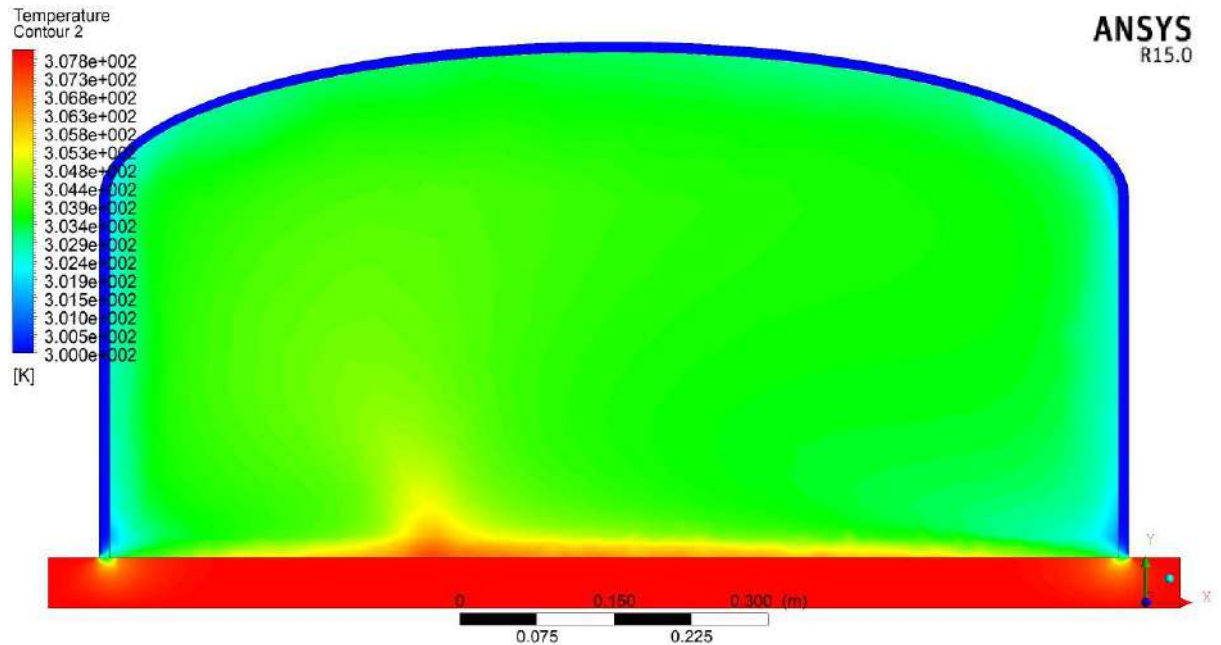


Figure III.32 champ de température 308°K

Interprétation :

Une augmentation de la vitesse de l'air signifie une augmentation de la température au center de la serre, et on voit que cette augmentation est due à Principalement à la stagnation du flux sur les différentes parois de la serre.

D'après les résultats observés, dans ces conditions, l'écoulement n'a pas atteint un régime stationnaire est due à l'instabilité des échanges de quantité de mouvement entre les deux membres du vortex.

III.3.3 Champ aérothermique (cas des serres à pieds droits avec température du sol 288°K)

On observe sur la figure 1 que l'écoulement dans le plan OXY est dominé par la formation de deux grandes structures tourbillonnaires. On remarque un courant d'air chaud ascendant aux milieux de la serre ou enregistre aussi les vitesses maximales.

1^{ère} cas Apre 60s

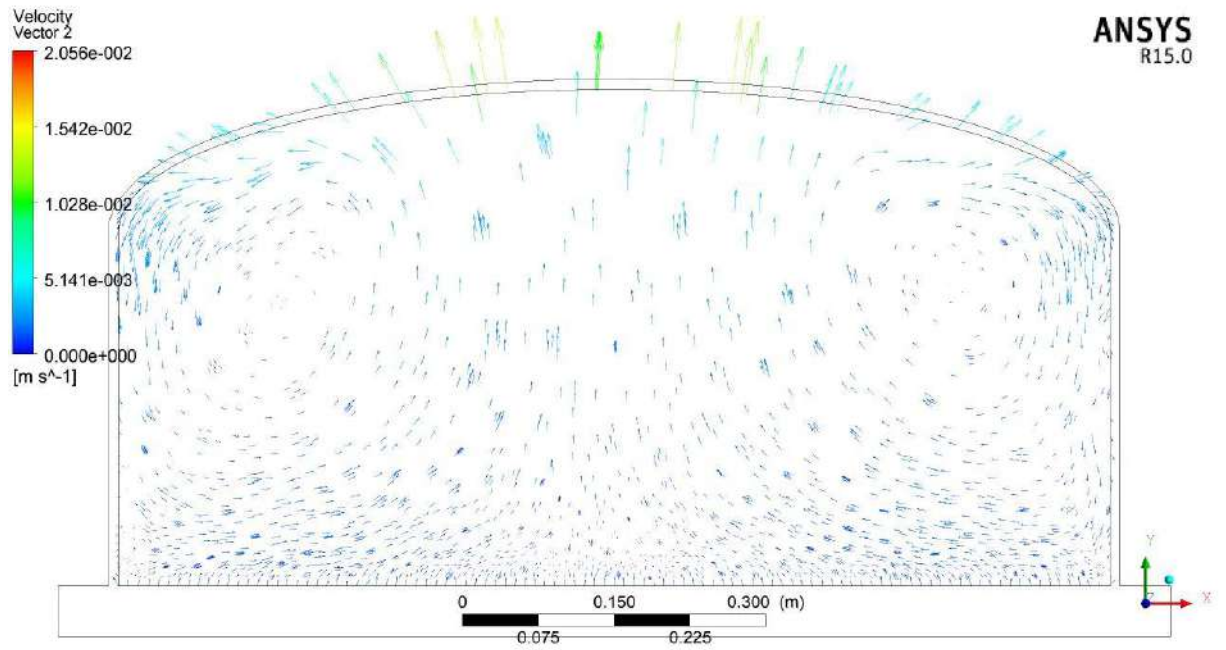


Figure III.33 Champ des vecteurs vitesses. T+60s

2^{ème} cas âpre 240 s :

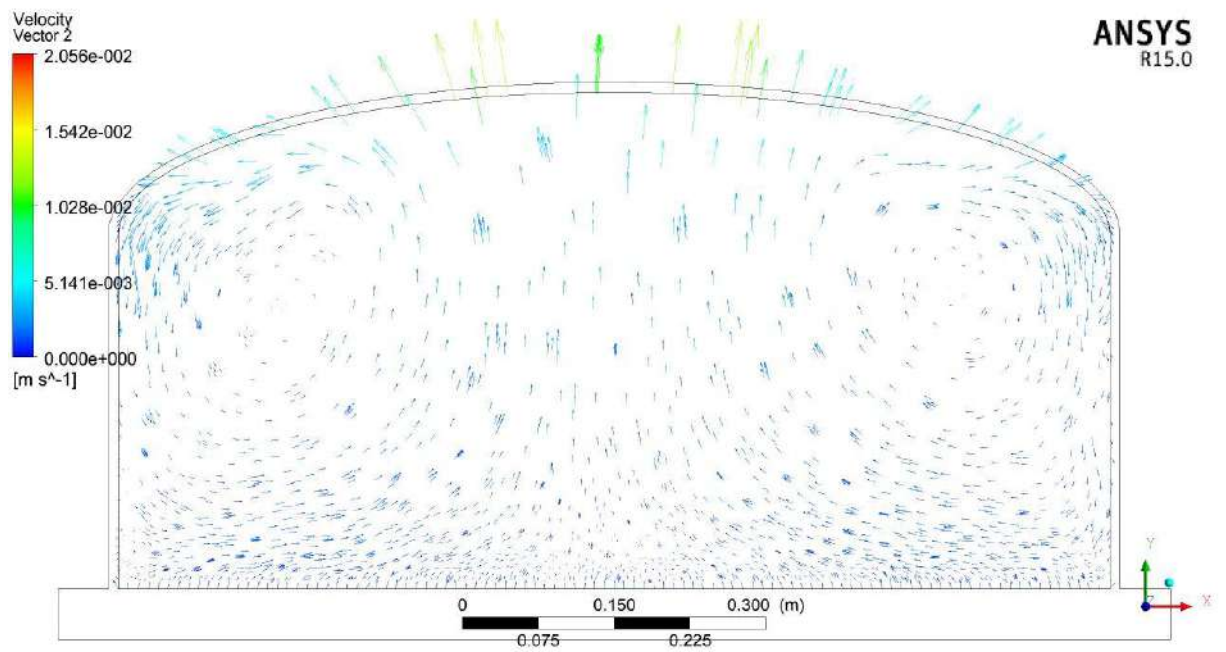


Figure III.34 Champ des vecteurs vitesses. T+240s

3^{ème} cas après 330 s :

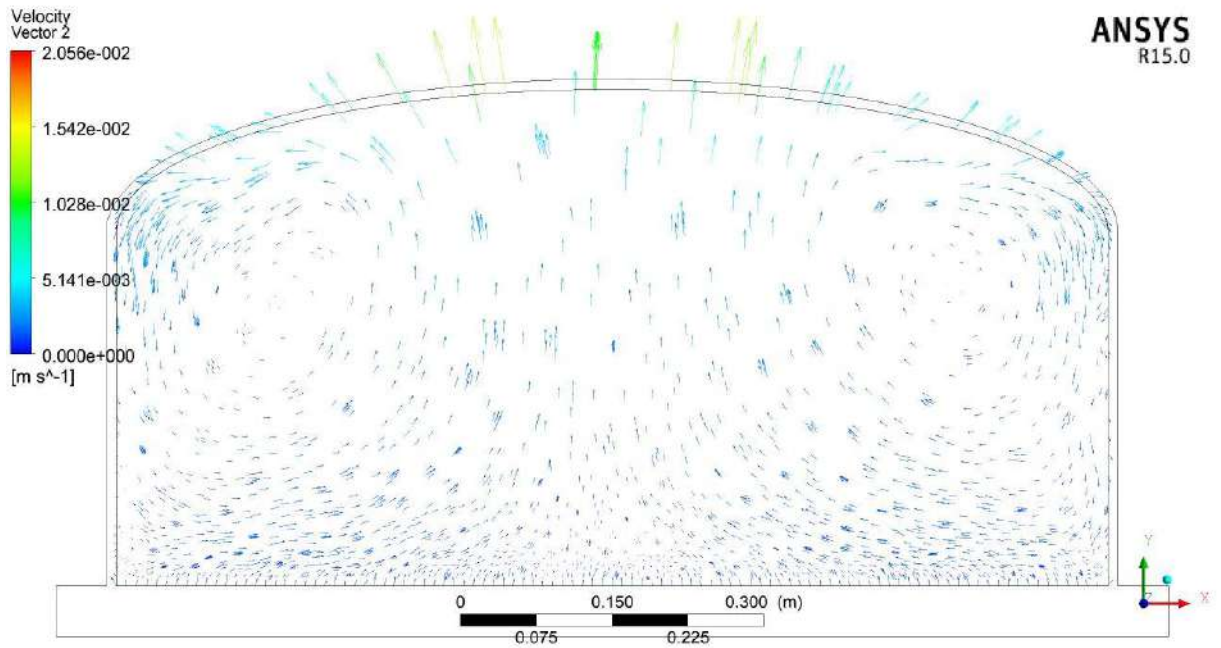


Figure III.35 Champ des vecteurs vitesses. T+330

a **Champ de température (cas des serres à pieds droits avec température du sol 288°K)**

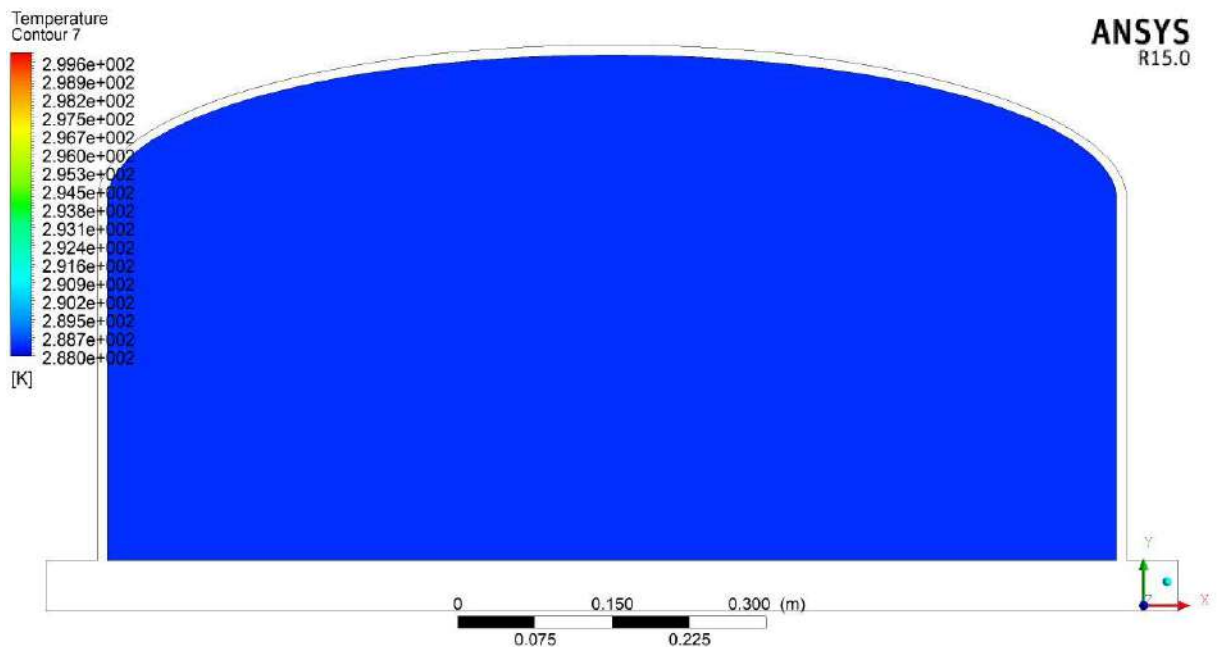


Figure III.36 champ de température 288°K

Interprétation :

Pour la température du sol de 288 °k, nous avons observé que la vitesse d'air dans une serre tunnel connaissait un régime permanent. Cela est dû à la basse température à l'intérieur, comme le montre les figures.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail concernel'étude du comportement thermique dedeux types de serres (serre tunnel, et serre à pieds droits) sous les mêmes conditions climatiques. Dans nos travaux, nous nous sommes concentrés sur l'interaction de différents phénomènes à l'intérieur de la serre (la répartition des mouvements d'air et la répartition des températures dans la serre).

D'après les résultats de notre étude, nous avons remarqué que la température du sol affecte le mouvement de l'air à l'intérieur de la serre car l'augmentation de la température du sol signifie une augmentation du mouvement de l'air au milieu de la serre. Cela conduit à son instabilité et nous avons remarqué nous diminuions la température du sol, la vitesse de l'air dans une serre était stationnaire (régime permanente).

Vu la complexité des phénomènes qui interviennent dans le comportement Thermique des serres agricoles, nous n'avons pas tout pris en considération dans ce travail, désormais nous suggérons dans le futur proche d'inclure ou de prendre en considération les phénomènes suivants :

- Les phénomènes de changement de phase (condensation, évaporation, et l'humidité.)

ملخص

أثبتت الصوبات الزراعية فعاليتها في مواجهة الطلب المتزايد على الإنتاج وفي السماح بالزراعة في غير موسمهامن خلال خلق بيئة اصطناعية تحمي النباتات من الظروف المناخية غير المرغوب فيها. هناك عدة أشكال من الصوبات الزراعية، كل هذه الأشكال يجب أن تسمح بخلق مناخ أكثر ملاءمة من المناخ الخارجي ويجب أن يكون هيكلها متيناً بما يكفي لمقاومة الأحمال المختلفة.

في هذا العمل، قمنا بدراسة نوعين من الصوبات الزراعية: (نفق، نفق بأرجل مستقيمة). حيث تمكنا من استكشاف المجال الديناميكي الهوائي والحراري، دون مراعاة تأثير نقل الرطوبة. وتمكنا من إجراء نمذجة تسمح لنا بتحديد الخصائص الرئيسية لأنواع الصوبات الزراعية التي تم استكشافها في هذه الدراسة.

Résumé.

Les serres agricoles ont prouvé leur efficacité face à la demande croissante de production et en permettant la culture hors saison en créant un milieu artificiel qui protège les plantes des conditions climatiques indésirables. Il existe plusieurs formes de serres agricoles, toutes ces formes doivent : permettre de créer un climat plus favorable aux cultures que le climat extérieur et sa structure doit être suffisamment robuste pour résister aux différentes charges.

Dans ce travail, nous avons fait une étude de deux types de serres agricoles : (tunnel, tunnel à pieds droits) . Nous avons exploré le champ hydrodynamique et thermique sans prendre en compte l'effet de transport d'humidité. Nous avons pu réaliser une modélisation qui nous permet d'identifier les principales caractéristiques des types de serres explorées.

Abstract.

Agricultural greenhouses have proved their effectiveness in the face of growing demand for production and in allowing off-season cultivation by creating an artificial environment that protects plants from unwanted climatic conditions. There are several forms of agricultural greenhouses, all these forms must allow to create a climate more favorable to the cultures than the external climate and its structure must be robust enough to resist the various loads.

In this work, we made a study of two types of agricultural greenhouses: (tunnel, tunnel with straight feet). We explored the hydrodynamic and thermal field without taking into account the moisture transport effect. We were able to carry out a model that allows us to identify the main characteristics of the types of greenhouses explored in the present study.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. KHERBOUCHE, A., *Analyse de comportement thermique des parois transparente a faible inertie thermique application aux serre agricole*, 18-12-2019.
2. Yassine, S., *Simulation numerique de la convection naturelle dans une serre agricole semi cylindrique fermeechauffee par le bas*. 2017.
3. J. BAILEY, B., "*Principles of environmental control* ». "*Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating*" (1988), 35-174.
4. BOUAICHA, Y. and D. Boubekeur, *Design and Simulation of Ventilation System For Agricultural Greenhouse*, 2017.
5. BOUZAFFA, M. and H.N. Eddine, *Étude expérimentale du bilan énergétique d'une serre tunnel à couverture de polyéthylène*.
6. Loukal, N. and O. Kebir, *Comparaison du champ thermique dans deux types de serre de culture*, 2018, UMMTO.
7. Dlim, M., S. Mohellebi, and K. Sadi, *Simulation numérique de l'ambiance interne d'une serre de culture sous un climat chaud et sec Promotion 2017*, 2018, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
8. LEBBAL, F., *Contribution à l'étude dynamique et thermique de l'air à l'intérieur d'une serre en verre de type Venlo dans les régions des Aurès; les hauts plateaux est d'Algérie (Etude de simulation*, 2010, Université de Batna 2.
9. Djeghel, R., *Modélisation thermique d'une serre agricole*, 2004, Ouargla, Université KasdiMerbah. Faculté des Sciences et Sciences de l'ingénieur .
10. Benmebarek, M. and C. Labiod, *Modélisation et simulation des écoulements a surface libre en présence de singularités du fond*, 2015, Université abderrahmane mira béjaia.
11. Silva, R.C.d., et al., *Simulation of ventilation systems in a protected environment using computational fluid dynamics*. Engenharia Agrícola, 2017.
12. BAKHTI Issameddine .TOUILEB Soheib, *Modélisation et modification d'une serre agricole avec recyclage d'eau et production d'énergie adapté à la zone saharienne*, 2019/2020, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen .