

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER ACADEMIQUE EN GENIE MECANIQUE
OPTION : ENERGETIQUE**

THEME

*Comparaison du champ thermique
dans deux types de serre de culture*

Présenté par :

Loukal nassima

kebir ouiza

Devant le jury composé de :

M^r. NEBBALI .R

M^r. SALHI.F

M^r.ZOUAOUI.S

Président

Promoteur

Examineur

Promotion 2017/2018

Chapitre I : Généralité

Table des matières

I-Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
II. Description d'une serre :	Erreur ! Signet non défini.
II.1 Les différents types de serre:	Erreur ! Signet non défini.
1.1 La serre chapelle:.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2La serre multi chapelle:	Erreur ! Signet non défini.
1.3.La serre tunnel:.....	Erreur ! Signet non défini.
1. 4 La serre gonflable :	Erreur ! Signet non défini.
1.5. la serre de multiplication:	Erreur ! Signet non défini.
III. Caractéristiques d'une serre :	Erreur ! Signet non défini.
III.1. Climat sous la serre :	Erreur ! Signet non défini.
1.1. Lumière :	Erreur ! Signet non défini.
1.2. Température :	Erreur ! Signet non défini.
1.3. Humidité :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.4. Teneur en gaz carbonique :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.5-l'effet de serre:.....	Erreur ! Signet non défini.
1.6 Orientation de la serre :	Erreur ! Signet non défini.
III.2. Aspects spécifiques d'une serre :	Erreur ! Signet non défini.
2.1. Photosynthèse :.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2. Respiration :	Erreur ! Signet non défini.
2.3. Evapotranspiration :	Erreur ! Signet non défini.
III.3. Source d'énergies dans les serres :	Erreur ! Signet non défini.
3.1. Géothermie :.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2.Énergie solaire :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4. Conditions climatiques d'une serre :	Erreur ! Signet non défini.
4.1. Échanges thermiques :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1 Échanges radiatifs :	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Échanges conductifs :	Erreur ! Signet non défini.
1.3Échanges convectifs :	Erreur ! Signet non défini.
III. 5. Mouvements de l'air :	Erreur ! Signet non défini.
III.6. Aération :	Erreur ! Signet non défini.

III.7. Hétérogénéité climatique :	Erreur ! Signet non défini.
III.8 .Les matériaux de couverture :	Erreur ! Signet non défini.
8.1 Le Verre :	Erreur ! Signet non défini.
8.2 Les matériaux plastiques :	Erreur ! Signet non défini.
• Les matériaux plastiques rigides :	Erreur ! Signet non défini.
• Les matériaux plastiques souples (films) :	Erreur ! Signet non défini.
IV. Caractéristiques de la serre solaire chinoise (serres bioclimatiques) :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.Structure fondamentale :	Erreur ! Signet non défini.
1.1. Parois:	Erreur ! Signet non défini.
1. 2. Le toit arrière:	Erreur ! Signet non défini.
1.3.Les poteaux et les supports:	Erreur ! Signet non défini.
1.4. La couverture en plastique et les rideaux d'isolation thermique.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.2.Les principes de fonctionnement :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.Amélioration de la structure de la serre solaires chinoises :	Erreur ! Signet non défini.
3.1.Amélioration sur la structure fondamentale :	Erreur ! Signet non défini.
3.2.Amélioration sur l'inclinaison :	Erreur ! Signet non défini.
3.3. Amélioration des murs, des films plastiques et des rideaux :	Erreur ! Signet non défini.
IV.4. Avantages de la serre solaire :	Erreur ! Signet non défini.
V-Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des symboles.....	iii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les serres	
I-Introduction :.....	3
II. Description d'une serre :.....	3
II.1 Les différents types de serre:	3
II.1.1.La serre chapelle	3
II.1.2La serre multi chapelle:.....	4
II.1.3.La serre tunnel:	4
II.1. 4. La serre gonflable :	5
II.1.5. la serre de multiplication:.....	6
III. Caractéristiques des serres :.....	6
III.1. Climat :.....	7
III.1.1. Lumière :.....	7
III.1.2. Température :.....	7
III.1.3. Humidité :	8
III.1.4. Teneur en gaz carbonique :	8
III.2. Orientation de la serre :.....	8
III.3. Le vent.....	9
III.4. Aspects spécifiques d'une serre :	9
III.4.1. Photosynthèse :	9
III.4.2. Respiration :.....	9
III.4.3. Evapotranspiration :.....	10
III.5. Source d'énergies dans les serres :.....	10
III.5.1. Géothermie :	10
III.5.2.Énergie solaire :	10

III.6. Conditions climatiques d'une serre :.....	10
III.6.1. Échanges thermiques :.....	10
III.6.1.1. Échanges radiatifs :.....	11
III.6.1.2.Échanges conductifs	Erreur ! Signet non défini.
III.6.1.3.Échanges convectifs.....	Erreur ! Signet non défini.
III. 7. Mouvements de l'air :	Erreur ! Signet non défini.
III.8. Aération :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.9. Hétérogénéité climatique :	Erreur ! Signet non défini.
III.10 .Les matériaux de couverture :	Erreur ! Signet non défini.
III.10.1. Le Verre :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.10.2. Les matériaux plastiques :	Erreur ! Signet non défini.
IV. Caractéristiques de la serre solaire chinoise (serres bioclimatiques) :.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.Structure fondamentale :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.1.Parois:.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1. 2. Le toit arrière:.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.3.Les poteaux et les supports:.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4. La couverture en plastique et les rideaux d'isolation thermique.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.2.Les principes de fonctionnement :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.Amélioration de la structure de la serre solaires chinoises :	20
IV.3.1.Amélioration sur la structure fondamentale :	20
IV.3.2.Amélioration sur l'inclinaison :	20
IV.3.3. Amélioration des murs, des films plastiques et des rideaux :.....	21
IV.4. Avantages de la serre solaire :.....	22
V-Conclusion :	22
Chapitre II :Model physique	
I. Introduction :.....	24
II. Equation en régime laminaire :.....	24

II.1. Rappel des équations qui décrivent les écoulements de fluide :	24
a-Équation de continuité :	25
b-Équation de quantité de mouvement :	25
c-Équation de l'énergie :	26
II.2 Hypothèses :	26
II.3 Système d'équation retenu :	27
a) équation de continuité :	27
b) équation de quantité de mouvement :	27
c) Equation d'énergie :	27
III. Equations en régime turbulent	28
III.1 La décomposition de Reynolds	28
III.5 Modèle à deux équations de transport (k- ϵ) :	29
III.6 Fermeture du système avec le modèle (k- ϵ) :	30
IV.1. Les conditions initiales et aux limites	31
VI.2 Bilan radiatifs sur la couverture :	32
V. Conclusion :	34

CHAPITRE III : Présentation du logiciel de calcul

I. Introduction	36
II. Choix de la Méthode numérique.....	36
II.1. La Méthode des volumes finis	37
II.2 Notion de maillage :	38
III. Présentation des logiciels GAMBIT et FLUENT :	39
III.1. GAMBIT :	39
III.1.1 Notice d'utilisation de gambit :	40
III.1.1.1 Démarrage de Gambit :	40
III.1.1.2 Créer la géométrie à étudier :	41
III.1.3 Construction du maillage :	42
III.1.4 Les Différentes formes de maillage des faces :	42
III.1.5 Les différentes grilles topologiques traitées par Fluent :	43
III.1.6 Choix de type de maillage :	43

III.1.6.1 Maillage structuré (Quadra/hexa) :	43
III.1.6.2 Maillage non structuré (Tri/Tétra) :	44
III.1.6.3 Maillage hybride :	44
III.1.7. Exportation du maillage de gambit :	45
III.2 FLUENT :	46
III.2.1 Description de la serre :	48
III.2.2 Maillage sous Gambit :	48
III.2.3 Condition sous FLUENT :	49
III.2.3.1 Propriétés du fluide :	49
III.2.3.2 Condition initial :	50
III.2.3.3 Condition aux limites :	52
a-Condition à l'entrée :	51
b- Condition de sortie :	53
c- Condition de top :	54
D- Condition aux parois :	54
IV. Conclusion :	55
CHAPITRE IV : Résultat et commentaire	
I. Introduction :	57
II.Résultat de la simulation :	57
II.1 Courbes des résidus :	57
II.2 Représentation des champs de températures dans les serres chinoises et tunnel :	58
II.3 Représentation des champs de vitesse dans les serres chinoises et tunnel :	61
III. représentation graphique de température moyenne en fonction de l'angle d'ouverture :	63
IV.Conclusion	64
Conclusion générales	65

Sommaire

I.Introduction :.....	Erreur ! Signet non défini.
II. Choix de la Méthode numérique :.....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.La Méthode des volumes finis :.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Notion de maillage :.....	Erreur ! Signet non défini.
III. Présentation des logiciels GAMBIT et FLUENT :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1. GAMBIT :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.1. Notice d'utilisation de gambit :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.1.1 Démarrage de Gambit :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.1.2. Créer la géométrie à étudier :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.3 Construction du maillage :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.4 Les Différentes formes de maillage des faces :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.5 Les différentes grilles topologiques traitées par Fluent :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.1.6 Choix de type de maillage :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.6.1 Maillage structuré (Quadra/hexa) :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.6.2 Maillage non structuré (Tri/Tétra) :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.6.3 Maillage hybride :	Erreur ! Signet non défini.
III.1.7. Exportation du maillage de gambit :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2 FLUENT :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1 Description de la serre :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.2. Maillage sous Gambit :.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2.3.Condition sous FLUENT :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.3.1-Propriétés du fluide :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.3.2-Condition initial :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.3.3.Condition aux limites :	Erreur ! Signet non défini.
IV. Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I. 1 : serre chapelle.....	4
Figure I.2 : multi chapelle.....	4
Figure I.3 : la serre Tunnel.....	5
Figure I.4: la serre gonflable.....	6
Figure I.5 : Serre de multiplication	6
Figure I.6. : Structure de la serre solaire chinoises.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.7 : serres solaires chinoises avec des poteaux en bambou. Erreur ! Signet non défini.	
Figure I.8 : Amélioration de la structure de la serre chinoise ; (A) Ancienne; (B) Nouvelle	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.9 : Amélioration de l'inclinaison de la serre . (A) Ancienne inclinaison (plane) ; (B) Nouvelle inclinaison arquée pour améliorer la transmission.....	21
Figure I.10 : La couette d'isolation thermique ; (A) la couette; (B) La structure de la couette (1 et 4: couches étanches à l'eau; 2: couche isolante; 3: couche de stockage de chaleur); (C) utilisation de la couette sur les SPG.....	Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE III :

Figure III.1 : volume de contrôle bidimensionnel.....	Erreur ! Signet non défini. 7
Figure III.2: La construction des volumes de contrôle et le maillage décalé.....	38
Figure III.3 : Vue globale de Gambit	39
Figure III.4 : Menu file.....	40
Figure III.5 : Menu Création des différents éléments de la géométrie.....	40
Figure III.6 : Exemple de maillage.....	44
Figure III.7 : Exportation du maillage.....	44
Figure III.8 : Démarrage de FLUENT	45
Figure III.9 : Vue globale de FLUENT	46

Figure III.10: représentation de la serre chinoise.....	47
Figure III.11: représentation de la serre tunnel.....	47
Figure III.12: Maillage de la serre.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure III.13 : conditions initiales de l'air.....	Erreur ! Signet non défini.9
Figure III.14 : conditions initiales de l'énergie	Erreur ! Signet non défini.9
Figure III.15 : conditions initiales de pression.	50
Figure III.16 : condition de viscosité	50
Figure III.17: conditions d'entrée d'air	51
Figure III.18 : les conditions de températures.....	52
Figure III.19 : les conditions de sortie d'air.	52
Figure III.20: interface de l'UDF pour le toit (solide).	53
Figure III.21 : les conditions de conductivité thermique.	54
Figure IV.1 : Courbes des résidus pour différentes équations.	56
Figure IV.2 : Représentation des champs de température pour angles d'ouverture 1°.....	57
Figure IV.3 : Représentation des champs de température pour angles d'ouverture 5°.....	58
Figure IV.4 : Représentation des champs de température pour angles d'ouverture 10°.....	59
Figure IV.5 : Représentation des champs de température pour angles d'ouverture 15°.....	59
Figure IV.6 : Représentation des champs de vitesse pour angles d'ouverture 1°.....	60
Figure IV.7 : Représentation des champs de vitesse pour angles d'ouverture 5°.....	61
Figure IV.8 : Représentation des champs de vitesse pour angles d'ouverture 10°.....	61
Figure IV.9 : Représentation des champs de vitesse pour angles d'ouverture 15°.....	62
Figure IV.10 : les températures moyennes en fonction de l'angle d'ouverture de serre chinoise et tunnel	63

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère

Mon mari et mon fils fouad .

Mes sœurs et mon frère.

Et toute ma famille.

Et toutes mes amies.

Loukal nassíma

Liste des tableaux

Tableau II.1 : les constantes usuelles du modèles k-ϵ	30
Tableau III.1 : Les différentes formes de maillage des faces.....	41
Tableau III.2 : grilles topologiques traitées par Fluent.....	42
Tableau III.3 : Description des types de maillages des faces.....	42

Remerciements

Tout d'abord on tient à remercier infiniment le bon Dieu le
tout Puissant pour la bonne santé, la volonté et la patience qu'il
nous accordés tout au long de nos études.

On présente nos sincères remerciements avec profonds respects à notre promoteur,

Mr SALHI.F. pour son suivi, sa patience,
ses conseils et son aide, tout au long de la réalisation de ce modeste
travail.

On remercie aussi les membres de jury d'avoir accepté
d'examiner et d'évaluer ce modeste travail.

sans oublier tous
nos enseignants qui ont contribué à notre formation pendant toute la durée de nos études.

Liste des symboles :

Les coordonnées d'un point M quelconque sont notées $(x_1, x_2)^T$ ou $(x, y)^T$.

Les composantes du vecteur vitesse $\vec{V}$ au point M sont notées $(v_1, v_2)^T$ ou bien $(u, v)^T$

a : diffusivité thermique	m^2s^{-1}
C : compacité	sans dimension
C_p ; Chaleur spécifique à pression.	J/Kg.K
C_D : constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension
C_μ : constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension
$C_{1\epsilon}$: Constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension
$C_{2\epsilon}$: constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension
g : l'accélération de pesanteur	$m.s^{-2}$.
K : énergie cinétique turbulente	$J Kg^{-1}$
L, l : Longueur	m
P : la pression.	$m^{-1}Kg s^{-2}$
T : La température	k
$\vec{U}$: Le champ de vitesse	$m.s^{-1}$

Caractères grecs :

α : angle	rad
β : coefficient d'expansion volumique à pression constante	K^{-1}
δ_{ij} : symbole de Kronecker	1 si $i=j$ si non .
ϵ : taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	J/m^3
λ : Conductivité thermique.	$m Kg s^{-3}K^{-1}$

μ : viscosite dynamique	$\text{m}^{-1}\text{Kg s}^{-1}$
ν : viscosité cinématique	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
ρ : la masse volumique de l'air	m^{-3}Kg
σ_ϵ : constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension
σ_k : constante empirique (modèle de turbulence)	sans dimension

Introduction générale

La serre vient du verbe « serrer », on peut donc en déduire, logiquement, qu'il s'agit d'un espace réduit, où on essaiera de faire tenir le plus grand nombre de plantes possibles. Ce n'est doute là qu'un aspect très partiel du rôle la serre moderne. La serre est conçue à l'origine comme un simple abri, ou une enceinte destinée à la culture ou à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire, elle est devenue un local industriel de production de la matière végétale où l'on tente d'adapter l'environnement immédiat de la plante, de façon à améliorer sa productivité et sa qualité, en l'affranchissant du climat extérieur, du sol local et même des saisons.[5]

La croissance des plantes dépend fortement des conditions extérieures; vitesse du vent, température et humidité et des moyens d'action intérieure de la serre tels que le chauffage, l'aération...etc. En plus de la fonction du végétale tel que la transpiration.

La température représente l'un des paramètres les plus importants pour la gestion du climat dans la serre malgré la difficulté de la contrôler. En fait, sa valeur optimale diffère d'une culture à l'autre et selon le stade cultural. Son importance réside dans le fait qu'elle influence la photosynthèse, la respiration et intervient dans la vitesse de croissance, le bourgeonnement, le calibre et la fermeté du produit. A noter que la différence de température entre le jour et la nuit constitue également un facteur essentiel. Ainsi pour maintenir une stratégie de contrôle du climat, le chauffage est nécessaire durant les périodes hivernales ou la température est inférieure à la température de consigne exigée par la plante et la ventilation est nécessaire durant les périodes chaudes.

L'objectif essentiel du présent travail est de faire une étude comparative, par simulation numérique (CFD **Fluent**), de la distribution de température à l'intérieur de deux types de serres en imposant les mêmes conditions climatiques extérieures. Dans le but d'améliorer la clarté de ce travail, nous avons jugé utile de structurer ce mémoire en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons exposé quelques généralités et caractéristiques des serres en générale puis des serres chinoises en particulier. On a consacré le deuxième chapitre aux rappels des équations qui décrivent les phénomènes physiques qui régissent les écoulements dans les serres en régime laminaire et turbulent ($K-\epsilon$) tout en en instruisant les hypothèses simplificatrices qui peuvent faciliter la résolution des équations.

Nous avons présenté dans le troisième chapitre les logiciels de génération de maillage (Gambit) et de simulation (Fluent), puis nous avons rassemblé dans le quatrième chapitre les principaux résultats numériques obtenus en comparant la distribution de température intérieure dans une serre chinoise avec la serre tunnel. Enfin, nous avons terminé ce travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

I-Introduction :

La serre est une structure qui peut être parfaitement close destinée en général à la production agricole, elle vise à protéger les cultures vivrières (légumes et fruits) ou de loisir (fleurs) des conditions climatiques rudes. Il s'agit d'apporter une meilleure gestion des besoins des plantes et accélérer ainsi leurs croissances ce qui permettra d'assurer une production indépendante le long de l'année.

En chine, l'apparition de la serre solaire en plastique SPG (solar plastic greenhouses) également appelée maison de soleil ou serre solaire, présente un point de repère et une révolution dans l'horticulture chinoise. La SPG se distingue des autres types de serres par la dépendance totale à l'énergie solaire. Aujourd'hui, les SPG sont largement utilisées en chine pour produire divers légumes, fleurs et fruits en saison froide. [1]

II. Description d'une serre :**II.1 Les différents types de serre :**

La classification des serres peut être faite soit de point de vue technologique, ou de point de vue professionnelle.

1.1 La serre chapelle :

La chapelle est l'unité de construction de la serre, formée par deux parois latérales verticales (ou très légèrement penchées) et un toit à deux pentes, généralement symétriques. La chapelle est caractérisée par sa largeur, les dimensions courantes sont approximativement entre (3, et 16m).



Figure 1 : serre chapelle.

1.2 La serre multi chapelle :

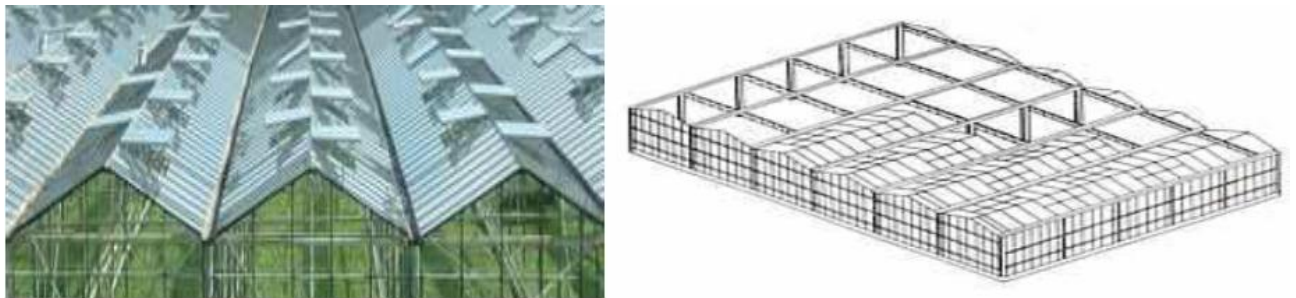


Figure2 : multi chapelle.

1.3. La serre tunnel :

En général, la serre tunnel se compose d'une série d'éléments juxtaposés constitués chacun par une armature en tube d'acier assemblés par des boulons. La largeur est de 3 à 9 m. Le film plastique se fixe par divers systèmes de clips.

La serre tunnel est spécialement dédiée aux cultures précoces. Elle est incontournable pour le potager puisqu'elle permet de prolonger la récolte de fruits et légumes hors saison, voire de

permettre des floraisons d'été. Elle doit son nom à sa forme demi-circulaire. Sa structure se maintient grâce à de grands arceaux métalliques. Elle est recouverte d'une bâche plastique spécialement conçue pour les serres. Cette bâche souple et transparente permet de doubler l'efficacité de la serre.



Figure 3 : la serre Tunnel.

1. 4 La serre gonflable :

La serre gonflable est une serre dont les parois sont flexibles de manière où son vrai volume avec l'état de son climat change (la température élevée provoque une détente qui fait augmenter la pression totale intérieure, la condensation de la vapeur d'eau diminue la pression totale, et provoque une dépression) par conséquent la paroi se rabat sur l'armature de la serre.



Figure 4 : la serre gonflable

1.5. La serre de multiplication :

La serre de multiplication est une serre de production rapide de plantes de semence. Elle est étroite et large, bien isolée de façon à pouvoir maintenir des températures élevées. La hauteur est basse et les largeurs de chapelles sont de l'ordre de 3 mètres.



Figure5 : Serre de multiplication

III. Caractéristiques des serres :

III.1. Climat :

Le climat spontané à l'intérieur de la serre dépend essentiellement du climat extérieur, des caractéristiques physiques de l'air intérieur, de la forme de la serre, du volume de l'abri, de son orientation et des qualités physico-chimiques des matériaux de la couverture utilisée. Les principaux facteurs du micro climat, qui sont modifiés par rapport à l'extérieur sont : la lumière, la température, l'humidité et les concentrations des gaz (CO_2 , O_2).

III.1.1. Lumière :

Les conditions d'éclairement à l'intérieur de la serre sont sous l'étroite dépendance du climat lumineux naturel, la meilleure utilisation de ce climat naturel sera liée au choix des matériaux de couverture (verre, pvc, polyéthylène) et aux conditions de leur mise en œuvre (structure, forme et orientation des serres) qui ont une grande influence sur l'utilisation raisonnable de ce climat lumineux naturel. [2]

III.1.2. Température :

La température de l'air, prise comme caractéristique du climat de la serre, est la résultante du bilan d'énergie établi sous la serre. L'effet de serre se présente généralement de la façon suivante :

Pendant la nuit la déperdition d'énergie par rayonnement infrarouge limite l'atténuation de refroidissement nocturne, dans le cas des nuits particulières et en absence de turbulences à l'intérieur de la serre ce phénomène peut entraîner des abaissements de température plus marqués, on parle alors d'inversement de température

L'élévation de température de l'air pendant le jour qui devient rapidement excessive lorsque le rayonnement solaire est intense, est dû aux effets conjugués des piégeages des apports radiatifs solaires et à la réduction d'échanges convectifs. Il est alors nécessaire d'intervenir en augmentant la vitesse de renouvellement de l'air par aération statique ou par ventilation dynamique. [3]

III.1.3. Humidité :

L'accroissement de la température de l'air dans la serre tend à créer un déficit de saturation et donc une diminution d'humidité, alors que le confinement et l'étanchéité de la serre la favorisent. Les conséquences de l'humidité sont :

- Pendant le jour : L'élévation de la température de l'air peut entraîner un abaissement exagéré de son humidité relative et provoquer un véritable "stress hydrique" au niveau de la végétation d'où la nécessité de prévoir un système de ventilation de la serre. [3]

- Pendant la nuit : Les serres étant généralement fermées, l'humidité relative est élevée. Au cours de la nuit, la température baisse. Il se produit fréquemment des condensations sur les parois et les gouttes condensées peuvent tomber sur la végétation (Conditions favorables au développement de certaines maladies...).

III.1.4. Teneur en gaz carbonique :

Dans le cas des serres très étanches (peu aérées), il est souhaitable de réaliser un enrichissement en CO₂ d'une façon judicieuse pour qu'il soit bénéfique, aussi bien pour le rendement que pour la photosynthèse. Dans les régions arides, où le besoin de refroidissement est important dès le début de la saison de culture, la ventilation est alors abondante pendant la majeure partie de la journée, l'enrichissement en CO₂ est peu applicable. [3]

III.2 Orientation de la serre :

Le réglage de l'orientation de la serre selon la course du soleil ainsi que selon la direction des vents a causé des difficultés pour éviter l'hétérogénéité de certaines conditions climatiques à l'intérieure de la serre. En chine par exemple l'orientation optimale de la serre, c'est plein sud pour profiter au maximum des rayons du soleil durant toute la journée. La comparaison entre le matin et le soir a montré que cette orientation permet d'avoir une meilleure homogénéité du flux lumineux, elle a l'avantage de réduire les effets néfastes des vents tant sur la structure que sur les déperditions énergétiques de la serre. [2]

III.3 Le vent :

Le vent est considéré comme un déplacement d'air s'effectuant surtout horizontalement. Ce déplacement peut être caractérisé par sa vitesse et sa direction.

Dans les stations météorologiques, la vitesse et la direction sont mesurées à dix mètres au-dessus du sol.

La vitesse diminue lorsque l'on se rapproche du sol et il est possible de calculer sa moyenne à une hauteur h au-dessus du sol en connaissant la vitesse de référence à 10 m (selon la formule d'Hellman). [4]

$$V_h = V_{10} [0,233 + 0,656 \log (h + 4,75)]. \text{ (m/s)}$$

Avec : V_h = vitesse à hauteur h

V_{10} = vitesse à 10 m.

III.4. Aspects spécifiques d'une serre :**III.4.1. Photosynthèse :**

La photosynthèse est un processus de conversion d'énergie radiative en énergie chimique, transportable et réutilisable. Elle repose sur la transformation de l'oxyde de carbone et d'hydrogène à faible énergie chimique potentielle, en hydrates de carbone à énergie potentielle chimique élevée. [3]

III.4.2. Respiration :

Les hydrates de carbone formés par la photosynthèse sont distribués dans tout l'organisme et peuvent alors être soit polymérisés en macromolécules destinées à l'élaboration des parois cellulaires, soit mis en réserve sous forme de sucre ou de graisse, soit finalement utilisés comme source d'énergie lors de synthèse d'autres substances organiques. La récupération de l'énergie chimique emmagasinée dans les hydrates de carbone s'effectue par un processus de dégradation oxydative, dénommé respiration, qui peut être considéré dans une certaine mesure comme la réaction inverse de la photosynthèse. [3]

III.4.3. Evapotranspiration :

Les transferts d'eau du système sol-végétation dans la serre peuvent s'effectuer selon deux canaux. Soit par évaporation directe de l'eau du sol soit par transpiration des végétaux préalablement prélevée dans le sol par leurs systèmes racinaux. L'évaporation directe se produit essentiellement dans une zone de faible épaisseur située immédiatement sous la surface du sol. Les deux processus se produisent simultanément et de telle manière qu'il est difficile de les distinguer. Ils sont englobés sous le terme général d'évapotranspiration. [5]

III.5. Source d'énergies dans les serres :**III.5.1. Géothermie :**

Il s'agit d'exploiter des poches d'eau situées dans les couches profondes du sous-sol ; vers 1000 à 2000 [m] de profondeur. L'eau contenue dans ces poches se distingue par des températures de l'ordre de 50 à 70 °C. Cette énergie géothermique est utilisée dans plusieurs pays dans le domaine de l'agriculture pour le chauffage des serres agricoles en vue d'amélioration des cultures sous serre. [6]

III.5.2. Énergie solaire :

La serre elle-même est un capteur solaire à la fois biologique (photosynthèse) et thermique. Le capteur thermique est même souvent trop efficace puisqu'il faut fréquemment aérer la serre et donc rejeter la chaleur à l'extérieur par ventilation. Un système de stockage de cette chaleur doit être prévu au vu non seulement des rapports d'ensoleillement jour/nuit mais aussi des rapports hiver/été ce qui représente un obstacle majeur. [6]

III.6. Conditions climatiques d'une serre :**III.6.1. Échanges thermiques :**

Les serres agricoles constituent un système biologiques et énergétique complexe dans lequel la plupart des modes de transfert thermiques sont mis en jeu.

Les conditions climatiques au voisinage du sol résultent des échanges de chaleurs et de masse entre le sol, la végétation et l'atmosphère. Ainsi l'agro système serre peut être décrit à partir des transferts d'énergie et de masse. Ces transferts peuvent s'effectuer sous trois formes différentes par rayonnement, convection et conductions. [6]

Les échanges radiatifs : Le rayonnement solaire constitue une source d'énergie naturelle faisant chauffer le système terrestre. La partie qui nous parvient se situe dans une bande spectrale grossièrement comprise entre 0.3 et 2.5 μm de longueur d'onde.

Les échanges convectifs : La convection est le mécanisme le plus important dans le transfert de chaleur sous serres. Il est évident que les transferts convectifs dans ce système s'effectuent entre leurs composantes solides (sol, parois) et l'air [6].

Les échanges conductifs : concernent essentiellement les transferts thermiques entre la surface du sol et les déperditions thermiques à travers les parois ou les vitres.

La modélisation et l'établissement du modèle mathématique, traduisant les phénomènes considérés, aboutissent alors à la résolution d'un système d'équations, ici par des méthodes numériques considérées.

III.6.1.1. Échanges radiatifs :

- Courtes longueurs d'onde : La propriété de transparence de la couverture des serres vis-à-vis de certains rayonnements permet de pénétrer une grande partie du rayonnement solaire et plus précisément celui qui est compris entre 0.4 et 0.7 [μm] (rayonnement visible) et qui contribue au processus de la photosynthèse. C'est pourquoi les échanges radiatifs de court longueur d'onde ont été analysés en détail. (Nisen, 1969 ;Nisen et Dogniaux,1975) [7,8]. Des programmes de calcul numérique ont été développés pour traiter les différentes aspects de ce problème (Kozai et al ; 1978) [9]

Sur un plan quantitatif, la portion du rayonnement extérieur transmis dans la serre a été estimée d'environ 60%, le reste étant absorbé ou réfléchi par les parois et les différentes structures. La grande partie du rayonnement pénétrant est interceptée ou absorbée par la culture surtout lorsque la culture est bien développée. La partie qui contribue à la photosynthèse peut être négligée car elle ne représente que 1 à 2 [%] du rayonnement global

incident au sommet de la culture, mais la part du rayonnement réfléchi vers l'extérieur n'est pas négligeable dans certains cas, notamment le cas de cultures hors sol. [10]

- Grandes longueurs d'onde : Les échanges se produisent essentiellement en grande partie entre le sol, les plantes, les parois, et l'extérieur. La nature de couverture (**Nisen, 1969**) [6]. Joue un rôle très important dans ce genre d'échange car les propriétés de transmission dans l'infrarouge thermique varient suivant la nature du matériau. Les matériaux utilisés pour la couverture doivent être le plus transparent possible dans le domaine du visible et bloquer les infrarouges et donnent naissance à ce que l'on appelle (l'effet de serre) c'est le cas du verre opaque aux grandes longueurs d'onde. Du fait de son importance, les échanges radiatifs entre les différents constituants de la serre ont été profondément étudiés par nombreux auteurs, où la simulation du rayonnement était l'objectif principal de ces études. Par conséquent, ces travaux ont conduit à élaborer des modèles très détaillés qui prennent en compte l'ensemble des échanges radiatifs en fonction de facteurs caractéristiques.

III.6.1.2 Échanges conductifs :

Les échanges de chaleur par conduction concernent essentiellement les transferts thermiques dans le sol et à travers les parois. Compte tenu de la faible épaisseur des parois ces conductions peuvent être négligées (**Issanchou, 1991**) [11]. Le sol n'est pas homogène verticalement, il peut être constitué par différentes couches qui ont des propriétés thermiques différentes (composition, humidité). De plus, les propriétés thermiques du sol peuvent varier en fonction du temps. C'est pourquoi on utilise des modèles numériques complexes, dans lesquels le sol peut être représenté comme l'empilement de couches homogènes ou les équations de base, régissant le phénomène de conduction, peuvent être appliquées. (**Kimball, 1986**) [12]

III.6.1.3 Échanges convectifs :

Les échanges convectifs sous serre ont lieu entre l'air et les parois, entre l'air et les cultures et entre l'air et le sol. On a l'habitude de distinguer trois types de convection : libre, forcée ou mixte et l'écoulement peut être laminaire ou turbulent. On détermine chaque régime

d'écoulement en faisant intervenir les nombres sans dimensions tel que le nombre de Reynolds et le nombre de Grashof.

- Convection libre : La convection est dite libre lorsque le mouvement du fluide est dû à l'action simultanée des différences de température qui existent dans le milieu et d'un champ de force massique. Par exemple, au cours de la journée, la surface du sol s'échauffe car son bilan radiatif est positif. La température de l'air croît et sa masse volumique décroît. Une particule d'air chaud reçoit ainsi de la part de l'air environnant plus froid, une poussée d'Archimède. Cette particule d'air s'élève donc est remplacée par de l'air plus froid qui s'échauffe à son tour et le processus continue. Cet exemple ne fait intervenir que des forces de pesanteur et la convection libre est alors qualifiée de convection naturelle.

- Convection forcée : La convection est dite forcée lorsque le mouvement du fluide est provoqué par un champ de force extérieur. Le coefficient de convection forcée entre une paroi et l'air dépend de la vitesse du vent qui est lui-même la résultante du gradient local de la pression atmosphérique.
- Convection mixte : Ce cas se rencontre souvent, quand la vitesse du vent est faible. Les mouvements de l'air sont alors produits à la fois par les facteurs qui entretiennent le vent et par les gradients verticaux de température. Les transferts de chaleur et de masse sont alors dus en partie à la convection naturelle et en partie à la convection forcée.

III. 7. Mouvements de l'air :

L'une des différences majeures entre les conditions climatiques à l'intérieur de la serre et celles qui règnent à l'extérieur concerne les vitesses du vent qui entrent en jeu. La vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 4m.s^{-1} à l'extérieur tandis qu'elle est nettement plus faible à l'intérieur. Le rôle d'abri joué par la structure de la serre est essentiel car la croissance des plantes est sensiblement réduite lorsqu'elles sont soumises à des vitesses d'air très supérieures à 0.5m.s^{-1} . Néanmoins, le mouvement d'air est nécessaire car il facilite les échanges de chaleur, de vapeur d'eau et du dioxyde de carbone entre les plantes et l'air environnant. Même

dans le cas d'une serre fermée, l'air à l'intérieur n'est pas complètement au repos du fait qu'il existe des gradients thermiques (différence de températures). Ces gradients créent des mouvements d'air convectifs. Par ailleurs, la serre n'étant pas complètement étanche, des mouvements d'air peuvent être induits par le vent extérieur. Parfois également, les mouvements d'air sont créés par l'utilisation du chauffage ou de ventilateurs pour contrôler le microclimat à l'intérieure de la serre.

Nous distinguons donc deux mécanismes prépondérants qui mettent en mouvement l'air dans la serre :

- Les forces de flottabilité qui correspondent à la poussée d'Archimède : Elles sont fonction de la densité de l'air. Elles même dépendent de la température.
- La force motrice générée par le vent extérieur (ou par les ventilateurs). Elle met en action les masses d'air dans la serre et crée des zones de surpression ou de dépression.

III.8. Aération :

Le but primordial de la ventilation est de dissiper l'excès de chaleur, assurer l'échange de CO₂ et d'O₂, et maintenir l'humidité à un niveau acceptable. En hiver, la ventilation évacue le surplus d'humidité et assure des conditions climatiques convenables, alors qu'en été la ventilation présente un moyen de refroidissement et d'extraction de vapeur d'eau. En outre, il est parfois nécessaire d'utiliser filets anti insectes de très petites mailles afin de contrer la menace des insectes vecteurs de virus sur les cultures sous abris serre. Malheureusement la présence de ces filets sur les ouvrants d'aération provoque une chute du taux de renouvellement d'air entraînant une augmentation de température et d'humidité de l'air. Ces conditions sont éprouvantes pour la culture car elles pénalisent le rendement et la qualité des produits. Dans ces conditions, les performances en ventilation des serres constituent un facteur majeur de la production.

L'aération naturelle des serres est la méthode de ventilation la plus couramment utilisée, car la plus pratique et la plus économique. L'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur de la serre par aération naturelle contribue à évacuer l'excès d'énergie captée par la serre et à limiter la surchauffe de l'air interne. Elle constitue aussi un paramètre clef pour la maîtrise du microclimat de la serre ou les échanges entre la serre et son environnement car elle intervient dans son bilan d'énergie et de masse (air, CO₂ et H₂O).

Le renouvellement d'air ou l'aération peut être caractérisé par :

- a. Le taux de ventilation : V_E [m^3/m^2h] qui représente le débit volumique échangé par heure par unité de surface du sol de la serre ;

$$V_E = V_V / A_G \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{h]}$$

Où : V_V est le débit de ventilation en [m^3/h ou m^3/s] , A_G est la surface du sol de la serre en [m^2]

- b. Nombre d'air échangé défini par :

$$N = V_V / V_G \text{ [m}^3/\text{m}^3\text{h} = 1/h = h^{-1}]$$

Où : V_G est le volume de la serre en [m^3]

Et avec une hauteur moyenne de la serre h , la relation entre les deux caractéristiques devient :

$$V_E = h \times N$$

- c. Efficacité de la ventilation : qui représente le rapport du débit de ventilation V_V et l'aire des ouvrants A_V

$$V_{eff} = V_V / A_V \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{h}] \quad \text{ou} \quad V_{eff} = N / A_V \text{ [1/m}^2\text{h]}$$

III.9. Hétérogénéité climatique :

L'hétérogénéité climatique des serres a un effet important sur la variabilité de l'activité des cultures, notamment sur la transpiration et la photosynthèse. Cette hétérogénéité pourrait être particulièrement forte dans les serres plastiques de type tunnel. Les transferts radiatifs et convectifs contribuent principalement à cette hétérogénéité. Quelques études (**Haxaire et al ; 1999**)[14] ont mis en évidence cet aspect et ont comparé des données mesurées et simulées, aussi bien sous ciel dégagé que sous ciel nuageux.

III.10. Les matériaux de couverture :

III.10.1 Le Verre :

Le verre minéral plat transparent ou translucide est un silicate de chaux et soude (silice 71 à 74 % chaux 10 à 15 % et Soude 13 à 17 %). Les différents types de verre utilisés dans les cultures sous serre sont : Le verre transparent ou clair (appelé verre horticole) ; Le verre martelé ou cathédrale (verre horticole coulé), le verre horticole à faible émissivité, le double vitrage, le verre isolant, le verre trempé, le verre armé, et le verre feuilleté. [15]

III.10.2 Les matériaux plastiques :

- **Les matériaux plastiques rigides :**

Ces matériaux appelés également verres organiques, se présentent soit sous forme de plaques rigides d'une épaisseur de l'ordre du 4 mm (PVC, Polyester), soit sous forme de plaques à double ou triple paroi (polycarbonate, poly-méthacrylate de méthyle).

Ces caractéristiques sont :

- Plus léger, moins rigides.
- Résistance aux chocs (grêle) nettement supérieure.
- Isolation thermique proche du verre.
- Propriétés optiques voisines du verre, mais moins durables et inflammable.

On peut citer quatre types principaux de ce type de plastique rigide : Le polyester armé de fibres de verre (PRV), le chlorure de polyvinyle biorienté (PVC biorienté), le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA). [15]

- **Les matériaux plastiques souples (films) :**

Ce sont des matériaux plastiques souples ou films souples utilisés sur des structures simples et économiques sur des constructions plus élaborées, mais à charpente plus légère que celles des serres vitrées.

Le choix de l'utilisation se fait généralement à partir des caractéristiques de ces matériaux qui dépendent en grande partie de leur composition chimique. Les films les plus utilisés sont à base de polyéthylène ou plus exactement de polyéthylène à basse densité (PE bd) avec de nombreux produits dérivés, (PE thermiques).

Ces caractéristiques sont :

- Légers et de faible densité (de 0,9-1,7).
- Résistance mécaniques élevée, même pour de faibles épaisseurs.
- Une bonne résistance chimique.

- Propriétés optique proches de celles de verre quand ils sont neufs, performance thermique plus variable.
- Imperméables pour éviter l'infiltration lors de condensation et de gouttage sur la paroi froide. [15]

IV. Caractéristiques de la serre solaire chinoise (serres bioclimatiques) :

IV.1. Structure fondamentale :

Les serres chinoises sont principalement chauffées par le rayonnement solaire. Afin de maximiser l'absorption de la lumière du soleil, presque toutes les serres sont orientées de l'est à l'ouest avec une seule pente ou arche tournée vers le sud. La structure fondamentale se compose de quatre parties principales (**figure 1**). [1]

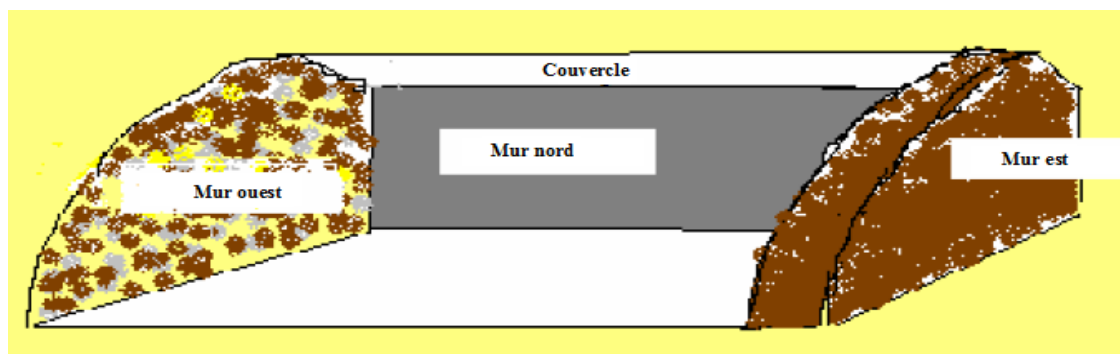


Figure 6 : Structure de la serre solaire chinoises.

IV.1.1 Parois :

Une serre solaire chinoise comprend les parois latérales : est, nord et ouest pour supporter le poids de la serre et la pression extérieure. Les murs sont habituellement de 2.1 à 2.3 m de hauteur et de 1 à 1,5 m d'épaisseur. Ces murs épais et rentables sont fabriqués à partir de briques et / ou d'argiles, de sorte qu'ils servent également à stocker la chaleur.

IV. 1. 2. Le toit arrière :

Le toit arrière ou toit nord, angulaire de 35-45 ° avec une largeur d'environ 1,7 m et une épaisseur d'environ 60-80 cm. Sur ce toit se placent des couvertures d'isolation thermique, des rideaux ou des tapis, pour fournir un espace de travail si le roulement manuel des couvertures

est appliqué et pour augmenter l'espace intérieur de la serre. Il est généralement composé de tiges de maïs, ou de pailles, qui sont mélangées à de l'argile. Ce type de toit est bon marché et bien isolé, mais généralement il n'est pas durable et pourrait s'effondrer pendant la saison des pluies. Les agriculteurs ont tendance à fabriquer un toit en béton ou en acier recouvert de matériaux isolants pour assurer la durabilité et la stabilité. Le toit arrière est généralement soutenu par des poteaux en acier ou en béton.

IV.1.3. Les poteaux et les supports :

Les poteaux et les supports sont des structures qui soutiennent les films plastiques, et les rideaux de paille, et qui supportent la pression du vent, de l'eau de pluie ou des neiges.

La plupart des serres solaires chinoises ont des poteaux de bambou bien que les plus récentes utilisent des tubes en acier. Les anciens agriculteurs serres solaires chinoises préfèrent toujours utiliser du bambou à cause de son faible coût, sans tenir compte de ses inconvénients : chaque poteau de bambou a besoin de 3-4 supports, entraînant de l'ombre dans la serre et pénalisant les opérations internes (**figure 2**), le bambou est moins durable que les tubes en acier, de sorte que les tubes en acier sont recommandés pour la construction des nouvelles serres chinoises.



Figure 7 : serres solaires chinoises avec des poteaux en bambou.

IV.1.4. La couverture en plastique et les rideaux d'isolation thermique :

La pente avant de la serre chinoise est couverte par des matériaux durables films anti-gouttes PE, qui peuvent transmettre la plupart des rayons solaires dans la serre. Les films PE sont modifiés chaque année pour une meilleure transmission de lumière. La nuit, les films PE

sont recouverts d'une autre couche, des rideaux d'isolation thermique, également appelés couvertures, tapis ou revêtements. Les rideaux, qui ont généralement une largeur de 1,5 m et une épaisseur de 0,05 m, bloquent les pertes de la chaleur vers l'extérieur et préservent grandement la chaleur à l'intérieur de la serre. La longueur des rideaux correspond à l'envergure de la serre [1].

Les serres chinoises varient en taille. Les Années de pratique et de recherche ont prouvé que plus la serre est grande, plus elle accumule de la chaleur pendant la journée. Les plus grandes serres ont généralement moins de variations de température et une plus grande capacité que les plus petites[1].

IV.2. Les principes de fonctionnement :

Une serre chinoise solaire utilise uniquement l'énergie solaire pour la production de légumes. La lumière transmise dans la serre est responsable de la maintenance des températures intérieures à un certain niveau, comme elle est responsable des activités photosynthétiques des plantes. [1].

Les films PE, la couche thermiques isolante et les parois épaisses travaillent ensemble pour maintenir les températures nocturnes minimales supérieures à 10 ° C, tandis qu'à l'extérieur les températures de l'air pourraient être de -5 ° C ou moins, ce qui rend la production des légumes dans les serres solaires chinoises possible et même privilégiée. Le film PE a deux rôles, c'est-à-dire qu'il transmet les rayonnements solaires dans la serre mais empêche les déperditions. [1].

Pendant la journée, l'énergie des rayonnements solaires est transmise à la serre, ce qui élève rapidement la température de l'air. Le surplus de chaleur sera alors sauvegardé dans les murs épais et dans les sols, ou bien sort par la ventilation si la température de l'air intérieur devient trop élevée. La température de l'air à l'intérieur de la serre chinoise peut être de 20 à 30 ° C supérieure à celle de l'extérieur. La nuit, la chaleur absorbée et conservée dans les murs, le toit nord et les sols pendant la journée, sera progressivement libérée pour diminuer la chute de la température intérieure. La chaleur dégagée et les rideaux d'isolation thermique qui bloquent les déperditions de chaleur nocturne, gardent la température de l'air au-dessus de 10 ° C.

IV.3. Amélioration de la structure de la serre solaire chinoise :

IV. 3.1. Amélioration sur la structure fondamentale :

La structure fondamentale de la serre solaire chinoise a été changée de façon continue ; La structure en acier a remplacé progressivement celle en bambou et en bois, puisque cela permet d'agrandir la serre, selon le terrain et l'emplacement. Les colonnes qui supportent le bambou sont devenues inutiles vue la solidité de l'acier. L'agrandissement de l'espace intérieur a permis une meilleure transmission de la lumière, une meilleure conservation de la chaleur et de la température[1].

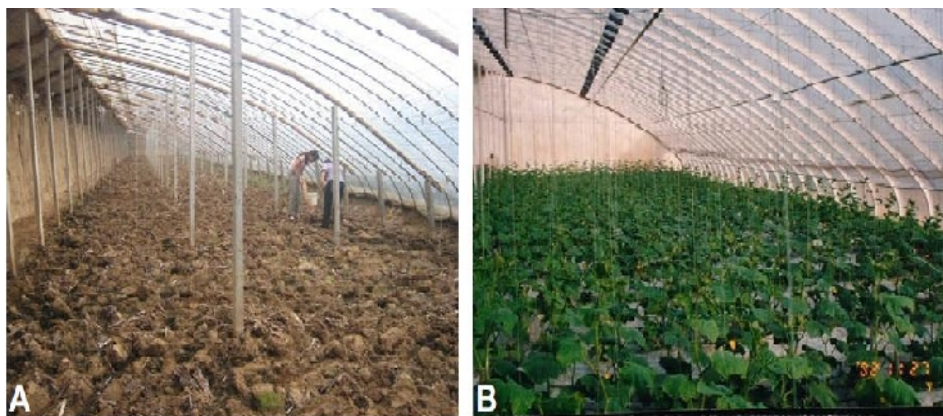


Figure 8 : Amélioration de la structure de la serre chinoise ; (A) Ancienne ; (B) Nouvelle .

IV.3.2. Amélioration sur l'inclinaison :

La serre solaire chinoise dépend seulement de l'énergie solaire ; par conséquent la transmission de la lumière solaire dans la maison doit être maximale. Depuis que l'angle d'incidence détermine la transmission de lumière à travers la couverture de film PE, l'inclinaison de la serre solaire chinoise (toit sud) qui définit l'angle d'incidence est devenu très importante. À travers les années, le toit sud a changé pour voûter la forme d'inclinaison plane [1].

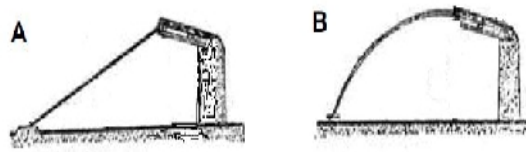


Figure 9 : Amélioration de l'inclinaison de la serre . (A) Ancienne inclinaison (plane) ; (B) Nouvelle inclinaison arquée pour améliorer la transmission.

IV.3.3. Amélioration des murs, des films plastiques et des rideaux :

La nuit, les chutes de température dans la serre sont équilibrées par la libération de la chaleur conservée dans les murs et les sols, et l'isolation des rideaux. Au début les murs ont été construits avec de l'argile, qui est bon marché et stocke bien la chaleur, mais l'argile a été remplacé à cause du risque d'effondrement pendant les saisons de pluie, par des briques et des garnitures isolantes, qui coûtent plus cher mais qui sont beaucoup plus durables [1].

Les films plastiques ont été considérablement modifiés ; le film en polychloro-éthylène a été changé en film anti-gouttes PE qui empêche l'égouttage de vapeurs d'eau condensées sur la surface intérieure des films. L'eau condensée descend vers le bas du toit sud, réduisant ainsi les risques de maladies des cultures [1].

La couche d'isolation thermique, faite de pailles ou de tiges de maïs avant, a été remplacée avec la couette de stockage de chaleur, qui a quatre couches : la couche supérieure et inférieure sont faites de matériaux imperméables, au milieu y a une couche isolante et une couche de stockage de chaleur. Cette couette coûte plus que le tapis de paille mais est beaucoup plus légère, isole bien et ne salie pas le film PE [1].

La nature de la couverture joue un rôle déterminant. Dans les serres plastiques, c'est le polyéthylène qui est le plus utilisé pour la couverture. Ce matériau est transparent dans le domaine du visible, afin de favoriser la photosynthèse et dans le domaine des infrarouges thermiques pour diminuer l'effet de serre.

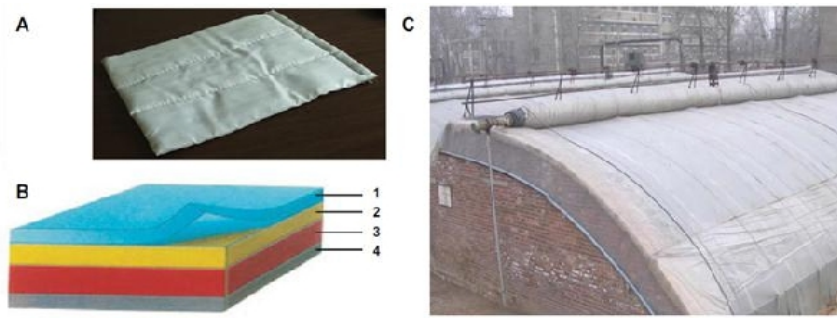


Figure 10 : La couette d'isolation thermique ; (A) la couette ; (B) La structure de la couette (1 et 4: couches étanches à l'eau; 2: couche isolante; 3: couche de stockage de chaleur); (C) utilisation de la couette sur les SPG.

IV.4. Avantages de la serre chinoise :

- Des légumes produits habituellement dans des régions chaudes peuvent être produits dans des régions froides, en utilisant seulement l'énergie solaire.
- Le coût de la maintenance et de la production végétale dans les serres solaires chinoises est beaucoup plus faible que celui des autres serres.
- La serre solaire chinoise pourrait ne pas avoir l'air chic, mais elle a un grand potentiel depuis qu'elle utilise la production agricole à économie d'énergie.

V-Conclusion :

La serre solaire à économie d'énergie qui désigne la serre à pente unique avec un rideau d'isolation thermique est devenue la principale mesure de culture protégée et la serre typique de Chine. En raison de son faible coût en capital, le large choix de matériaux structurels et la très faible consommation de charbon qui était l'énergie principale pour la serre en Chine, elle a atteint des avantages économiques élevés et ne cause pas ou cause peu de pollution à l'environnement. Cependant, les formes de structure de ces serres sont très différentes les unes des autres, leurs caractéristiques thermiques sont également différentes, ne sont pas satisfaisantes et nécessitent une amélioration.

La Chine l'a prouvé. Bien que des problèmes existent, il n'y a pas de doute que la serre solaire soit utilisée plus largement pour une utilisation efficace de l'énergie solaire et pour une meilleure qualité et un meilleur rendement des cultures. Les problèmes existants entraîneraient des innovations qui perfectionneraient la structure des serres et les techniques de culture à l'avenir.

Chapitre II : le model physique.

I. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les équations du bilan énergétique qui régissent le phénomène de la convection naturelle en régime turbulent a l'intérieure d'une serres, les hypothèses simplificatrices et les conditions aux limites et initiales de toute la frontière du domaine.

La modélisation des écoulements fluidiques consiste à déterminer en tout point et à chaque instant les variables d'état représentatives de l'écoulement, soient:

- La température.
- Le champ de vitesse.
- la pression p .

Nous nous intéressons aux équations de bilan régissant le mouvement du fluide et aux conséquences de la turbulence sur la résolution de ces équations. Pour résoudre toutes les équations considérées dans cette étude, il est nécessaire de spécifier les conditions initiales et les conditions aux limites de toute la frontière du domaine d'écoulement.

II. Equation en régime laminaire :

Ce sont des équations où les lignes de courant ont un aspect régulier, les différentes couches de fluide glissent alors les unes sur les autres sans échanger de matière.une définition simple de l'écoulement laminaire serait de dire que l'on appelle solution laminaire toute solution des équations de Navier_stokse stationnaires.

II.1. Rappelles des équations qui décrivent les écoulements de fluide :

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.

Dans notre étude, on suppose que le milieu est continu et isotrope et pas de source ou de puits de matière de sorte que les équations dont nous disposons sont les suivantes :

a-Equation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = 0 \quad (\text{II.1})$$

Où : ρ est la masse volumique de l'air et $\vec{u}$ le vecteur vitesse.

b. Equation de quantité de mouvement :

Elle est déduite de la deuxième loi de la mécanique classique (le principe fondamental de la dynamique) :

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \rho \vec{f} - \nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} \quad (\text{II.2})$$

Cette équation exprime l'équilibre entre le taux de variation de quantité de mouvement et par unité de volume et les forces extérieures appliquées à l'unité de volume : les forces de volume $\rho \vec{f}$, la force de pression $-\nabla p$ et la force de viscosité $\nabla \cdot \vec{\tau}$.

Dans le cas des fluides newtoniens, l'équation (2.2) prend la forme simplifiée des équations de *Navier-Stokes* :

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \rho \vec{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{u}) \quad (\text{II.3})$$

Où : μ est la viscosité dynamique de l'air. Elle caractérise ses propriétés visqueuses.

c. Equation de l'énergie :

Pour établir l'équation d'énergie, on applique le premier principe de la thermodynamique sur un élément de volume et on obtient à la fin, le bilan énergétique du système considéré, soit:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) = \underbrace{\vec{\nabla}(\lambda \vec{\nabla} T)}_a + \underbrace{T \beta \frac{dp}{dt}}_b + \underbrace{\mu \phi}_c + \underbrace{q}_d \quad (\text{II.4})$$

Les quatre termes du membre de droite équilibrent la variation totale d'énergie du système $\rho c_p T$. Il s'agit de la variation due à la conduction (a), de la variation d'énergie due à la compressibilité (b), de l'énergie de dissipation visqueuse (c) et de la production interne de chaleur (d).

λ ; Conductivité thermique.

C_p ; Chaleur spécifique à pression.

II.2 Hypothèses :

On a abouti à un système d'équations aux dérivées partielles, couplées et non linéaires. La résolution d'un tel système avec un ensemble de conditions initiales et aux limites est très complexe. En vue de réduire ce système et faciliter sa résolution, nous posons certaines approximations et hypothèses simplificatrices :

- Le fluide (ici, 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.
- Les forces volumiques sont limitées aux forces de gravitation.
- Le terme $T \beta \frac{dp}{dt}$ (puissance d'échauffement par compression) est négligeable en raison des faibles vitesses mises en jeu.

II.3 Système d'équation retenu :

En tenant compte de ces hypothèses, nous obtenons un système d'équations moins compliquées décrivant l'écoulement d'air sous serres :

a. Equation de continuité :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0 \quad (\text{II.5})$$

b. Equation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{u}) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{f} \quad (\text{II.6})$$

c. Equation d'énergie :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (T \vec{u}) = \alpha \Delta T + \frac{q}{\rho \cdot c_p} \quad (\text{II.7})$$

Avec : $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_n}$ est la diffusion thermique du fluide et $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ est la viscosité cinématique .

➤ Le système d'équation retenu se réduit alors à :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{u}) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{f} \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (T \vec{u}) = \alpha \Delta T + \frac{q}{\rho \cdot c_p} \end{array} \right. \quad (\text{II.8})$$

III Equations en régime turbulent :

Un écoulement turbulent peut être caractérisée par quelques propriétés : c'est un phénomène tridimensionnel, irrégulier dans l'espace et le temps, rotationnel, diffusant fortement toute quantité transportée, et dissipant de façon importante l'énergie cinétique en chaleur (Piquet, 1983)[16]. Il n'est plus possible de prédire la vitesse et la température d'un élément de fluide à un instant donné ; seules leurs valeurs moyennes peuvent être connues.

Afin de pouvoir simuler l'écoulement à l'intérieur d'une serre, nous nous intéressons aux équations de bilans régissant le mouvement moyen du fluide. La présence de la turbulence au sein d'un écoulement est indiquée par des fluctuations des composantes de vitesse. La turbulence est difficilement prévisible car une faible variation des conditions aux limites de l'écoulement peut provoquer des modifications importantes du champ des diverses grandeurs. La difficulté de calculer directement les fluctuations de vitesse nécessite le recours à des hypothèses simplificatrices. Pour ces raisons, on est donc amené à emprunter une approche statistique qui nous conduisant à la décomposition de Reynolds (Chassaing, 2000).[17]

III.1 La décomposition de Reynolds :

La décomposition de Reynolds l'écoulement en un champ moyenne et un champ fluctuant autour de ce champ moyenne nous permet l'analyse et la modélisation des phénomènes turbulents.

Le champ de vitesse $\vec{U}(t)$ sera écrit de manière suivante :

$$\vec{U}(t) = \bar{\vec{U}} + \vec{u}'(t) \quad (\text{II.9})$$

Avec $\bar{\vec{U}}$ Vitesse moyenne dans le temps du vecteur vitesse.

$\vec{u}'(t)$, Vitesse fluctuante à moyenne nulle, soit : $\bar{\vec{U}} = 0$

On utilise les propriétés de la moyenne et les relations suivantes :

$$\overline{u_i \cdot u_j} = \overline{(\bar{u}_i + u'_i) \cdot (\bar{u}_j + u'_j)} = \bar{u}_i \cdot \bar{u}_j + \overline{u'_i + u'_j} \quad (\text{II.10})$$

$$\overline{u_i \cdot T} = \overline{(\bar{u}_i + u'_i) \cdot (\bar{T} + T')} = \bar{u}_i \cdot \bar{T} + \overline{u'_i \cdot T'} \quad (\text{II.11})$$

En injectant ces équations dans les équations du système (II.8)

, on obtient un système d'équations dites Reynolds, dans les lesquelles apparaissent les tenseurs de Reynolds $R_{ij} = \overline{u'_i \cdot u'_j}$:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \cdot \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u'_j u'_i} \right] + F_i \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_j \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \overline{u'_j T'} \right) + \frac{q}{\rho c_p} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

III.2 Modèle à deux équations de transport (k-ε) :

L'utilisation d'une seule équation de transport ne permet pas la détermination de l'échelle caractéristique de turbulent (l), comme la distribution de cette échelle n'est pas connue, et la spécification empirique de l s'avère difficile.

Dans le but de contourner la difficulté de spécifier cette échelle de longueur caractéristique, on introduit une seconde équation de transport, qui permettra la résolution de l'incertitude sur l présentée précédemment. En faisant toute variable combinant k et l de forme : $k = l^m \cdot \epsilon^n$.

Cette forme est la plus utilisée pour la description de la turbulence, le choix le plus courant à ce jour consiste à prendre $m = \frac{3}{2}$ et $n = -1$, la variable Z représente le terme de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ϵ .

Différents modèles de ce type ont été mis au point et testés, il se trouve le modèle (**k-ε**) est le plus répandu.

En effet, il ne nécessite pas l'introduction de termes supplémentaires, et présente un avantage d'utiliser la variable (ϵ) qui apparaît explicitement dans l'équation de conservation d'énergie cinétique turbulente.

Le modèle (**k-ε**), établi en 1974 par Launder et Spalding [18], reprend l'équation de l'énergie cinétique turbulente et la dissipation visqueuse qui sont exprimées par la relation de viscosité turbulente établie par Prandtl-Kolmogorov soit :

$$\nu_t = C_\mu \cdot \frac{k^2}{\epsilon} \quad (\text{II.13})$$

Le taux de dissipation (ϵ) est donné par l'équation de transport suivant :

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} \cdot \left[C_{1\epsilon} \cdot \left(-\overline{u_i' u_j'} \cdot \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} \right) - C_{2\epsilon} \cdot \epsilon \right] + S_{\epsilon, P} \quad (\text{II.14})$$

Les constantes, sont des coefficients semi empiriques illustrées dans le tableau suivant :

$C_{1\epsilon}$	$C_{2\epsilon}$	C_μ	σ_k	σ_ϵ
1.44	1,92	1,09	1,0	1,3

Tableau II.1 : les constantes usuelles du modèles **k-ε**

Ce modèle se base essentiellement sur la détermination de cinq coefficients empiriques, la sensibilité des résultats à la variation des ces coefficients à été largement étudiée, il s'avère que les valeurs généralement proposée s'accordent bien avec la plus part des écoulements rencontrés.

Les modifications des équations de transport de **k** et **ε** permettent le calcul des écoulements de faibles valeurs de nombre de Reynolds, ces améliorations sont particulièrement utiles dans le calcul de couche limite turbulent.

Le modèle (**k-ε**) est le plus utilisé dans un grand nombre d'application dans les codes commerciaux, cependant il ne donne pas une réponse définitive au problème de modélisation de la turbulence.

III.6 Fermeture du système avec le modèle (k-ε) :

En tenant compte des équations de transport de l'énergie cinétique turbulente et du taux de la dissipation visqueuse **ε**, le système d'équation sera alors donnée par :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} = 0 \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \cdot \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u'_j u'_i} \right] + F_i \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_j \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(a \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \overline{u'_j T'} \right) + \frac{q}{\rho c_p} \\ v_t = C_\mu \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} \cdot \left[C_{1\varepsilon} \cdot \left(-\overline{u'_i u'_j} \cdot \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} \right) - C_{2\varepsilon} \cdot \varepsilon \right] + S_{\varepsilon,P} \end{array} \right. \quad (II.15)$$

IV.1. Les conditions initiales et aux limites

Une fois les équations gouvernantes, les conditions aux limites doivent être adaptées soigneusement et précisément du fait de leur influence directe sur les champs dynamiques et thermiques.

Il faut fournir au modèle numérique des conditions initiales qui représentent l'état de base du modèle à l'instant où commence la simulation. Si les variables possèdent des valeurs initiales constantes, il est possible de les porter de manière directe au logiciel.

A l'instant $t = 0$, les grandeurs physiques sont donc prises comme suit:

- pression $p = 101325$ pascal.
- La vitesse transversale, $v = -5\text{m/s}$
- La température $T_0 = 308\text{ K}$.
- l'accélération de pesanteur $g = -9.81\text{m/s}$.

VI.2 Bilan radiatifs sur la couverture :

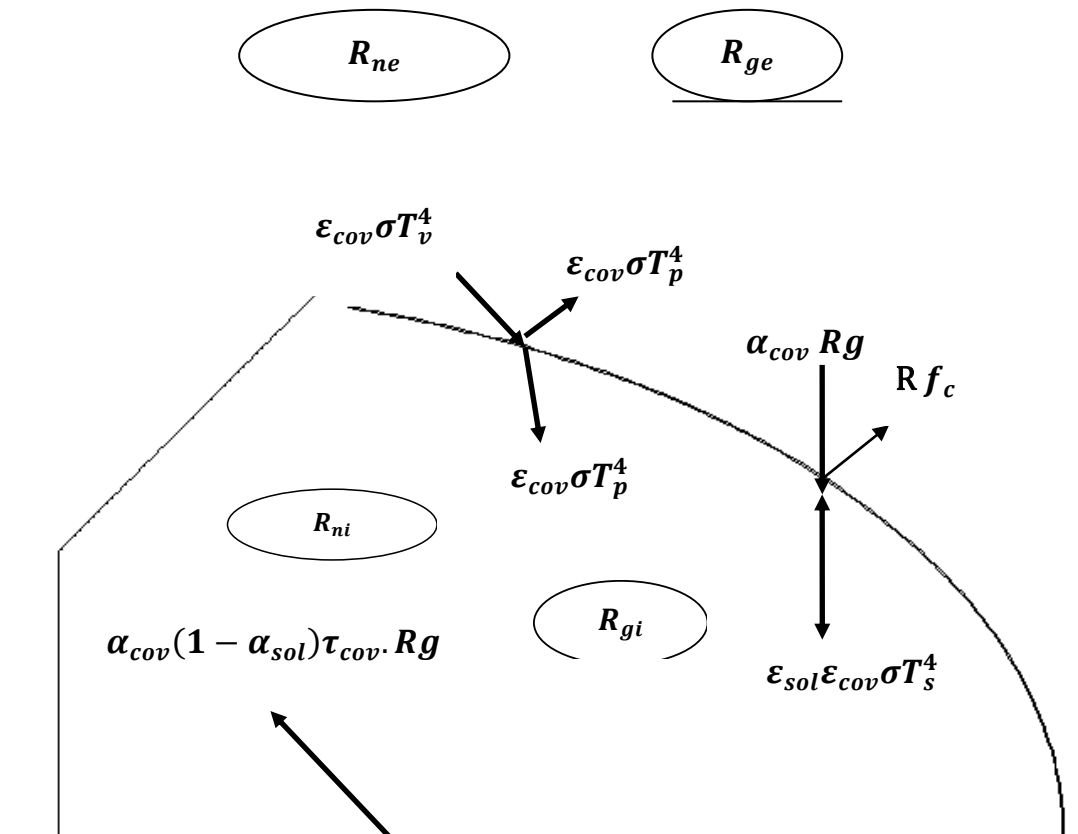


Figure 11 : bilan radiatif établi sur la paroi de la serre.

σ : Constante de STEFAN-BOLTZMANN [$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$]

α_{sol} : Coefficient d'absorption du sol (0.25).

τ_{clo} : Coefficient de transmission du rayonnement solaire sans dimension (0.6)

α_{cov} : Coefficient d'absorption de la couverture (0.3).

ε_{sol} : Émissivité de sol (0,85).

ε_{cov} :Émissivité de la couverture en polyéthylène (0,3).

R_g : Rayonnement global extérieur.

T_v : Température de la voute céleste.

T_{air} : Température de l'air.

T_p : Température de la paroi.

T_s : Température de sol.

R_{ag} : Le flux de chaleur radiatif au niveau de la paroi (grande longueur d'onde).

R_{fc} : Le rayonnement réfléchi au niveau de la paroi (courte longueur d'onde).

R_{ge} : Rayonnement globale extérieure (courte longueur d'onde).

R_{ne} : Rayonnement net extérieure (courte longueur d'onde).

R_{tc} : Le rayonnement transmise au niveaux de la paroi (courte longueur d'onde)

R_{ac} : le flux de chaleur radiatifs aux niveau de la paroi(courte longueur d'onde)

$\alpha_{cov}R_g$: La puissance de rayonnement absorbé par la couverture.

$-2\sigma \varepsilon_{cov}T_P^4$: La puissance de rayonnement émet par la couverture.

$\sigma \varepsilon_c T_v^4$: La puissance de rayonnement échangé entre la voute et la couverture.

$\alpha_{cov}(1 - \alpha_{sol})\tau_{cov} \cdot R_g$: La puissance de rayonnement réfléchi par le sol et absorbé par la couverture.

$\varepsilon_{sol}\varepsilon_{cov}\sigma T_s^4$: La puissance de rayonnement échangé entre la couverture et le sol.

Le bilan radiatif de grandes longueurs d'onde sur la couverture, nous donne :

$$R_{ag} = \sigma \varepsilon_c T_v^4 + \varepsilon_{sol}\varepsilon_{cov}\sigma T_s^4 - 2\sigma \varepsilon_{cov}T_P^4 \quad (II.16)$$

V. Conclusion :

Le modèle mathématique qu'on a obtenu est constitué d'un système d'équations complétées par des conditions initiales et des conditions aux limites. Il s'agit d'un système complexe formé par des équations qui sont issues de la thermodynamique et de la mécanique des fluides. Pour l'étude de notre cas nous avons considéré un écoulement permanent ; turbulent.

le model de turbulence utilisé est de modèle **K- ϵ** à coefficient dites standard ; pour les raisons suivantes :

- model largement répandu ;

- Relative simplicité de mise en œuvre ;

Modèle qui est généralement très utiliser dans des codes de simulation d'écoulement fluide ;

- le plus utiliser pour les application industrielles.

- Le modèle qui nous s'adapte a notre cas.

I. Introduction :

Le développement actuel des méthodes numériques et des puissances de calculateurs a conduit à mettre en œuvre des codes de calcul de la dynamique des fluides (*CFD*) qui facilitent l'étude et l'analyse de l'hétérogénéité du climat sous serres par la résolution numérique des équations de Navier- Stokes et de l'équation de chaleur dans le domaine de calcul considéré. Cette approche CFD a permis de réaliser des simulations réelles pour une large gamme des conditions géométrique et aux limites qui peuvent aider les ingénieurs et les agriculteurs à améliorer le design et le contrôle des serres.

Le premier travail à accomplir dans la réalisation d'une simulation numérique est la définition d'un maillage adapté à la nature de l'écoulement.

Les principales étapes à suivre lors du travail sur le logiciel de calcul FLUENT nécessitent la connaissance de certaines notions théoriques de base.

II. Choix de la Méthode numérique :

Pour obtenir une solution numérique d'un phénomène physique étudié, on doit transformer les équations différentielles du modèle mathématique au moyen d'un processus de discrétisation en un format facile pour le processus numérique. Ce format n'est autre que le système d'équation algébrique obtenu après la discrétisation.

Parmi les techniques ou les méthodes de discrétisation les plus utilisées dans les problèmes d'écoulements et de transferts thermiques, la méthode des différences finies, la méthode des volumes finis et la méthode des éléments finis.

Pour notre présente étude, nous avons choisi la méthode des volumes finis, car elle présente des avantages considérables du fait qu'elle soit simple, qu'elle garantisse la conservation de masse et de la quantité de mouvement dans chaque volume de contrôle et dans tout le domaine de calcul et qu'elle soit applicable pour les géométries complexes.

10.

II.1. La Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis consiste à transformer les dérivées dans les EDP en expressions algébriques faciles à résoudre. La résolution avec cette méthode passe par quatre étapes principales :

- a) Effectuer un maillage du domaine d'étude : ceci se fait en plaçant un certain nombre de nœuds dans ce domaine et en construisant un volume fini ou un volume de contrôle autour de chaque nœud. Ce volume de contrôle est délimité par des interfaces.
- b) Intégrer l'équation aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle.
- c) Choisir un profil de variation de la quantité à trouver (par exemple : température, pression, etc...) entre deux nœuds consécutifs pour pouvoir évaluer les dérivées à l'interface.
- d) Résoudre le système d'équations obtenu par l'une des méthodes de résolution des équations algébriques linéaires.

Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous domaines élémentaires, appelés volumes de contrôle. La méthode des volumes finis consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles, elle comporte essentiellement : à

- La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle ;
- La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles ;
- Le choix d'un schéma représentant la variation de la quantité physique et l'assemblage des diverses équations ;
- Le modèle doit être stable et convergent ;

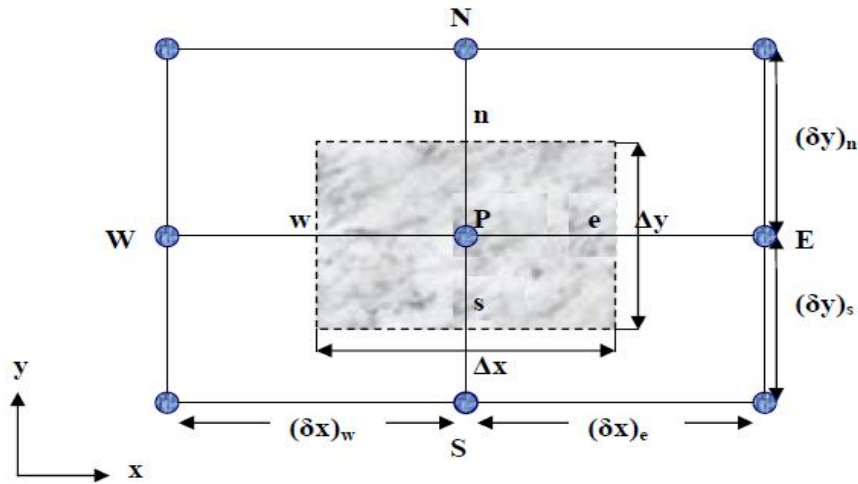


Figure III.1 : volume de contrôle bidimensionnel

Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous-domaines élémentaires, appelés volume de contrôle, comme indiqué dans la figure (III.1). Chacun de ces derniers englobe un nœud dit nœud principal P, les point E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. le volume de contrôle entourant P est montré par les lignes discontinues. Les faces du volume de contrôle sont localisées aux points *e* et *w* dans la direction x, *n* et *s* dans la direction y.[17]

II.2 Notion de maillage :

C'est la subdivision du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales dont l'intersection représente un nœud, où on trouve la variable P et les composantes *u* et *v* de la vectrice vitesse qui se trouve au milieu des segments reliant deux nœuds adjacents. La discrétisation du domaine est obtenue par un maillage constitué d'un réseau de points (nœuds).

Ainsi un élément de volume (volume de contrôle) est défini autour de chaque nœud.

Les grandeurs scalaires pression, température, énergie cinétique et taux de dissipation sont stockées dans le nœud P du maillage, tandis que les grandeurs vectorielles *U* et *V* sont stockés aux milieux des segments reliant les nœuds. L'équation générale du transport est

intégrée sur le volume de contrôle associé aux variables scalaires et les équations de quantité de mouvement sont intégrées sur le volume de contrôle associé aux composantes de vitesse.[18]

Le volume de contrôle de la composante longitudinale U est décalé suivant la direction x par rapport au volume de contrôle principale, celui de la composante transversale V est décalé suivant la direction de y . Ce type de maillage dit “maillage décalé” permet une bonne approximation des flux convectifs et une meilleure évaluation des gradients de pression ainsi qu’une stabilisation numérique de la solution.

La construction des volumes de contrôle et le maillage décalé sont montrés dans le schéma suivant :

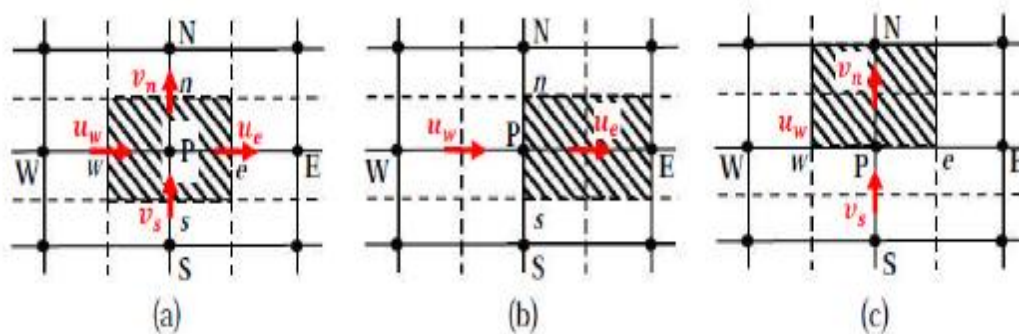


Figure III.2: La construction des volumes de contrôle et le maillage décalé.

III. Présentation des logiciels GAMBIT et FLUENT :

III.1. GAMBIT :

GAMBIT est un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) utilisé en industrie (automobile, aéronautique, spatiale, etc.) en raison de son interface graphique puissante, il permet aussi de réaliser tout type de géométries complexes (fixes ou mobiles) associées à des maillages fixes ou adaptatifs qui peuvent être utilisées en particulier sous FLUENT.

La résolution par GAMBIT d’une manière générale, suit les étapes suivantes :

- Création de la géométrie sous le Logiciel GAMBIT.
- Choix de la stratégie de maillage et création de plusieurs grilles.
- Définition des conditions aux limites dans GAMBIT.[19]

III.1.1 Notice d'utilisation de gambit :

Les différentes étapes d'utilisation de GAMBIT sont définies dans la notice suivante.

III.1.1.1 Démarrage de Gambit :

Le chemin d'application de gambit est le suivant :

: /Fluent .Inc/ntbin/ntx86/Gambit.exe

Vous pouvez créer un raccourci dans la barre des tâches. S'il y a un problème d'exécution, supprimer tous les fichiers*.Lok dans le répertoire

: /Fluent.Ic/ntbin/ntx86 et relancer Gambit.exe.

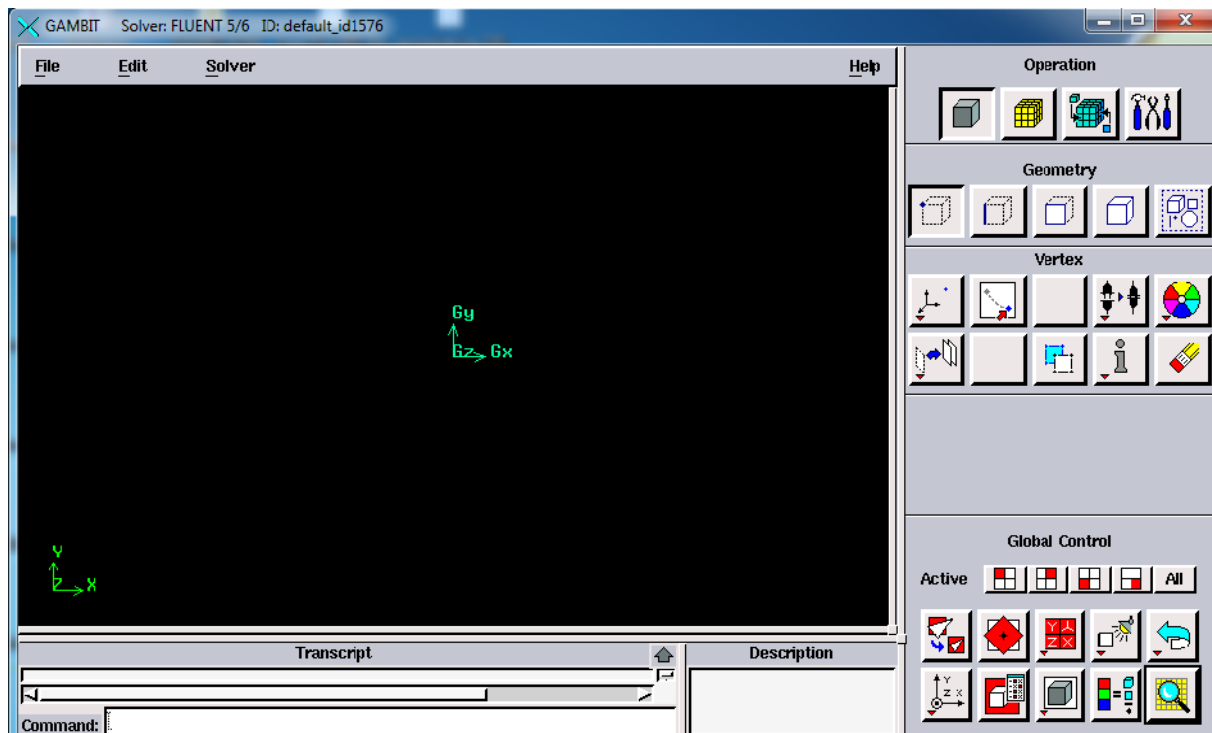


Figure III.3 : Vue globale de Gambit

Si on désire ouvrir un projet déjà existant, utiliser le menu file **Figure III.4**, open ou import dans le cas d'un maillage. Il se peut que cette combinaison ne marche pas alors il faudra lire le journal (run journal) ce qui refera pas à pas tout ce qui était fait dans la géométrie sauvegardée

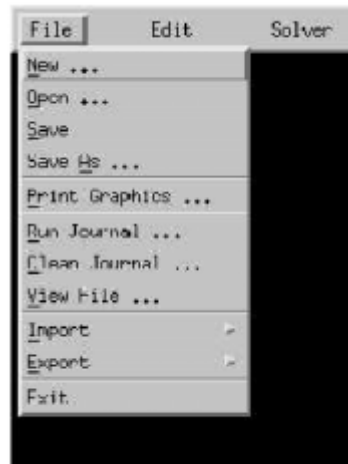


Figure III.4 : Menu file

III.1.1.2 Créer la géométrie à étudier :

Deux possibilités se présentent :

Créer point par point (extrémités) du système, ligne, face, volume (conseillé pour des géométries complexes)

Créer des surfaces simples existantes (cube, cylindre, sphère...) puis extruder pour obtenir les volumes ou les surfaces voulus.

Pour ce faire il suffit de sélectionner la commande : Construction de la géométrie. [20]

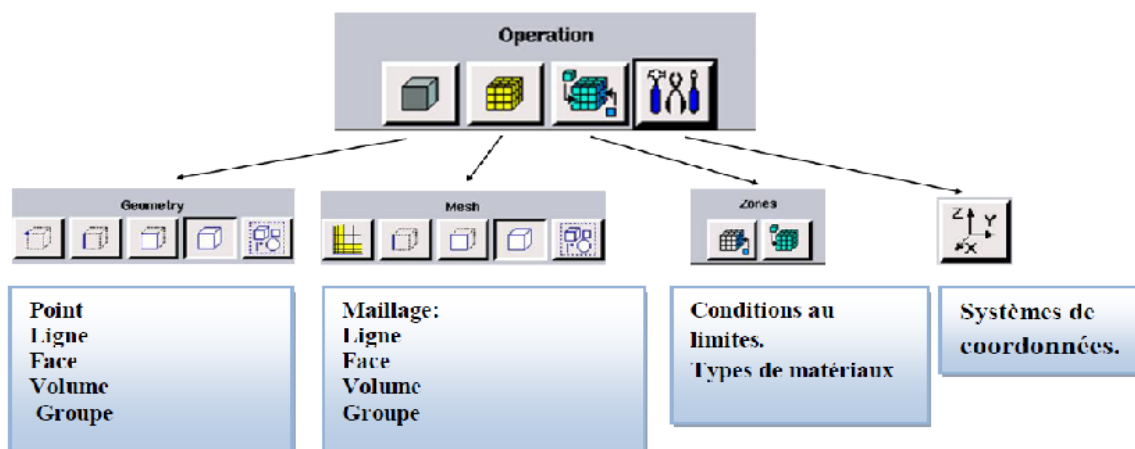


Figure III.5 : Menu Création des différents éléments de la géométrie.

III.1.3 Construction du maillage :

Le choix du maillage est un point essentiel dans la précision et l'exactitude des résultats numériques. Pour ce faire, on doit déterminer les paramètres optimaux.

Pour construire un maillage, il est bon de suivre la démarche suivante :

- définir la géométrie.
- réaliser le maillage.
- définir les paramètres des zones de calcul.

La géométrie comprend les positions physiques des points caractéristiques définissant la zone qu'on a à mailler : coordonnées spatiales des quatre sommets d'un carré ; du point de départ et du point d'arrivée d'une ligne ; du centre et de l'ouverture angulaire d'un arc de cercle. Il faut pouvoir représenter la zone à étudier par un ensemble de figures géométriques simples raccordées les unes aux autres.

Pour des maillages structurés, on peut faire la liaison entre la géométrie et le maillage, Aussi, avant de réaliser le maillage, il faut spécifier par écrit d'une part la géométrie adoptée pour définir la zone à mailler, d'autre part les numéros des mailles correspondant aux points caractéristiques de la géométrie. Un nœud pourra alors être repéré par ces coordonnées physiques x et y ou indices I et J. [20]

III.1.4 Les Différentes formes de maillage des faces :

	Description
Quad	Maille quadrilatérale.
Tri	Maille triangulaire.
Quad/Tri	maillage composé principalement des mailles quadratiques mais inclut les mailles faisant le coin triangulaire aux endroits choisis par l'utilisateur

Tableau III.1 : Les différentes formes de maillage des faces.

III.1.5 Les différentes grilles topologiques traitées par Fluent :

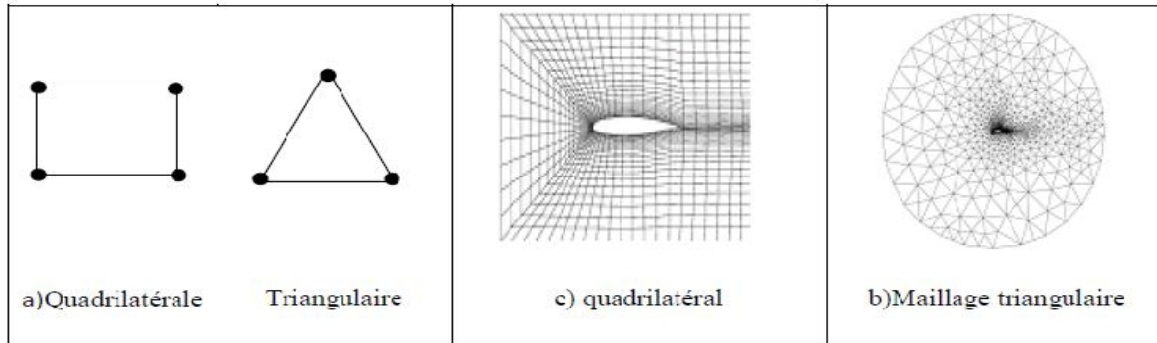


Tableau III.2 : grilles topologiques traitées par Fluent.

Aussi il permet de choisir le type de maillage des faces selon les options suivantes:

	Description
Map	Crée une grille régulière et structurée des éléments du maillage.
Sub map	Divise une face en plusieurs régions de façon à ce qu'on puisse leur appliquer Map.
Pave C	Crée une grille non structurée des éléments du maillage.
Tri primitive	Divise une face en trois régions quadrilatérales et crée un maillage dans chaque région de la face.

Tableau III.3 : Description des types de maillages des faces.

III.1.6 Choix de type de maillage :

III.1.6.1 Maillage structuré (Quadra/hexa) :

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie en outils bloque, il présente les avantages suivants :

- Economique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de maille par rapport à un maillage non structuré équivalent.
- Réduit les risques d'erreur numérique car l'écoulement est aligné avec le maillage

Ses inconvénients :

- Difficile à les générer dans le cas d'une géométrie complexe
- Difficile d'obtenir une bonne quantité de maillage pour certaines géométries complexes.

III.1.6.2 Maillage non structuré (Tri/Tétra) :

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

Ses avantages :

- Peut-être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (Tri/Tétra) sont très automatisés.

Ses inconvénients :

- Très gourmand en nombre de maille comparativement au maillage structuré
- Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion) qui peuvent être plus importantes si l'on compare avec le maillage structuré.

III.1.6.3 Maillage hybride :

Maillage généré par mélange d'éléments de différents types triangulaire ou quadrilatéraux en deux dimensions, tétraédriques, prismatiques ou pyramidaux en trois dimensions.

Ses avantages :

- Combine entre les avantages du maillage structuré et ceux du non structuré.[20]

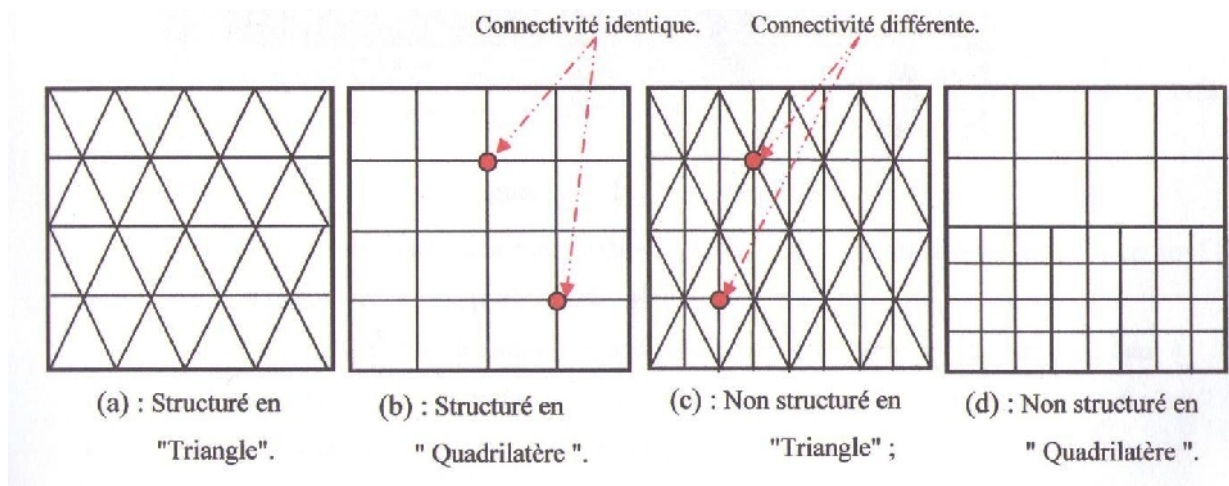


Figure III.6: Exemple de maillage

III.1.7. Exportation du maillage de gambit :

Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, il faut exporter le maillage, en *.msh (*mesh* = maillage en anglais) pour que Fluent soit capable de le lire et de l'utiliser.

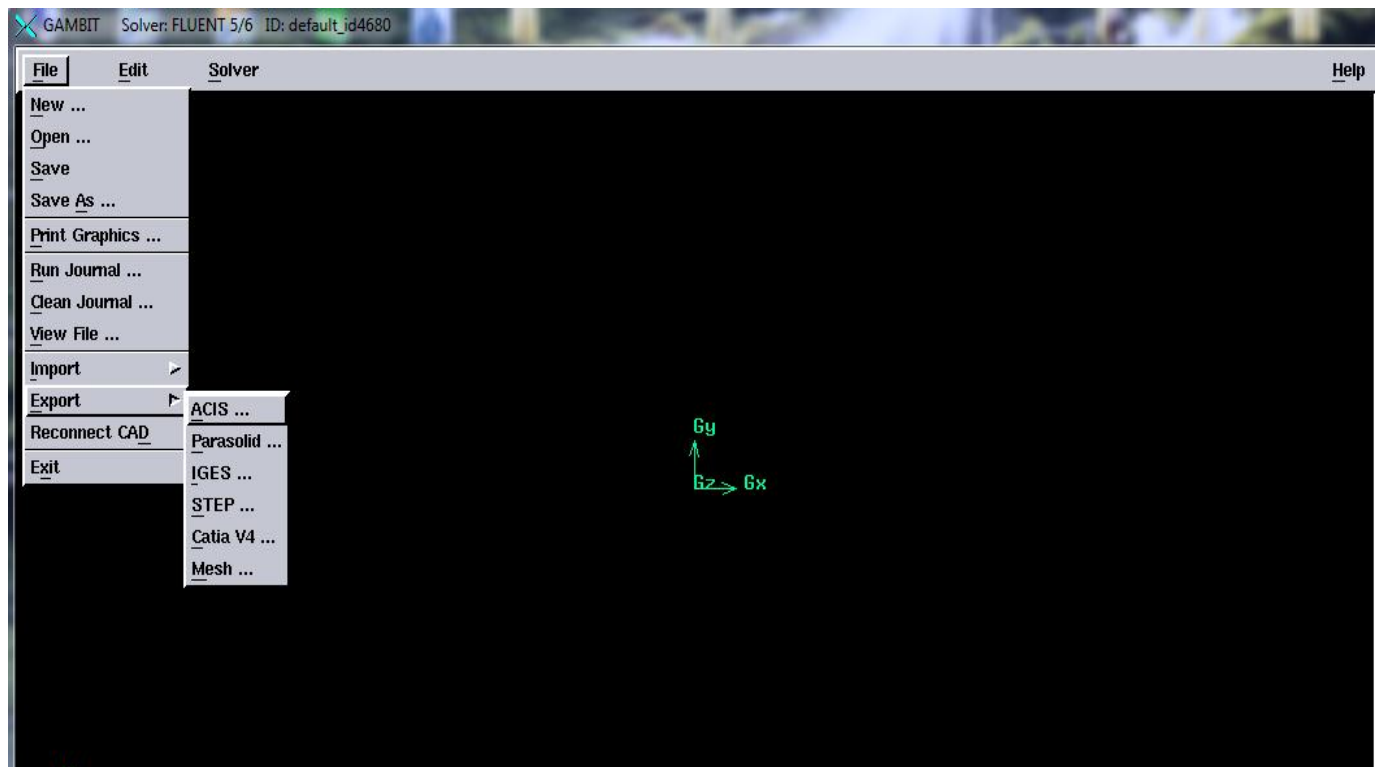


Figure III.7 : Exportation du maillage.

III.2 FLUENT :

Fluent est un code CFD commercial très utilisé dans l'industrie ;qui se base sur la méthode des volumes finis pour discrétiser le domaine d'études et résoudre les équations différentielles.

Il permet de résoudre les écoulements fluides (champs de vitesses, de température...), c'est la raison pour laquelle nous l'avons choisi pour réaliser notre simulation.

La résolution numérique par Fluent d'une manière générale, suit les étapes suivantes :

- Définition du problème sous le logiciel FLUENT, étude des différentes grilles de maillage et sélection du maillage retenue.
- Calcul avec FLUENT pour les différents cas retenus.
- Analyse des résultats obtenus.

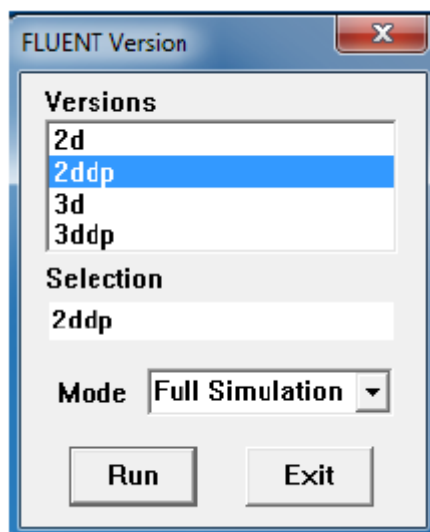


Figure III.8 : Démarrage de FLUENT

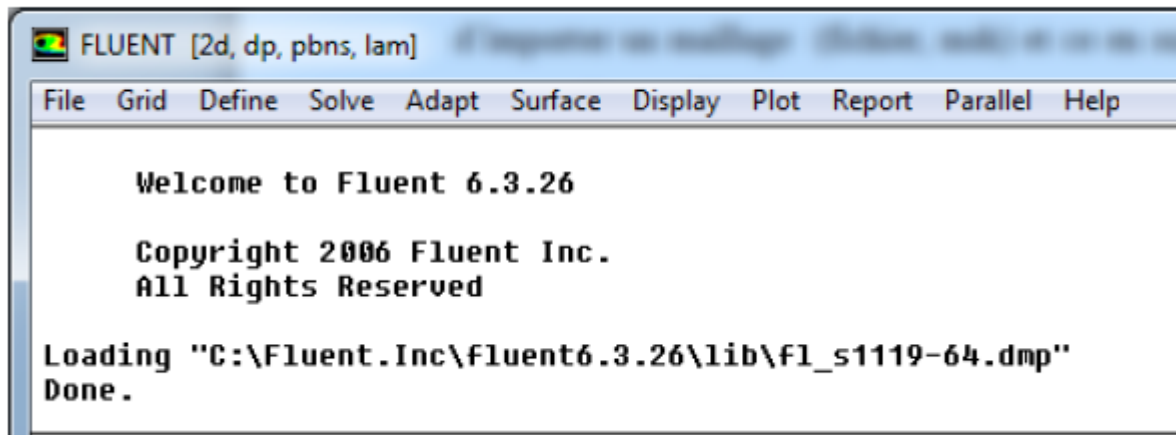


Figure III.9 : Vue globale de FLUENT

FLUENT est écrit en langage de programmation C et utilise pleinement la flexibilité et la puissance offerte par ce langage (exp : allocation de la mémoire dynamique). En outre, il utilise une architecture qui lui permet d'exécuter plusieurs processus simultanément sur le même poste de travail ou sur des postes séparés pour une exécution plus efficace.

FLUENT s'utilise à travers une interface graphique. L'utilisateur avancé peut adapter ou augmenter aux besoins l'interface en écrivant des macros et des fonctions de menu, afin d'automatiser certaines procédures.

Ce logiciel de modélisation permet de spécifier si :

- Ecoulements 2D ou 3D ;
- Ecoulement stationnaire ou instationnaire ;
- Ecoulements incompressibles ou compressibles (subsoniques, transsoniques, supersoniques ou hypersoniques) ;
- Ecoulements non visqueux, laminaires ou turbulents ;
- Fluide Newtonien ou non Newtonien ;
- Existe-il un transfert de chaleur et de quel type ? Transfert de chaleur, par conduction, par convection (forcé ou naturel) ou les deux conjugué sou radiatif ;
- Ecoulements avec changements de phases ;
- Ecoulements en milieu poreux.

III.2.1 Description de la serre :

La serre utilisée est de type chinois et tunnel, de dimensions de vue de face suivant x et y (voir figure III.10 et le figure III.11) :

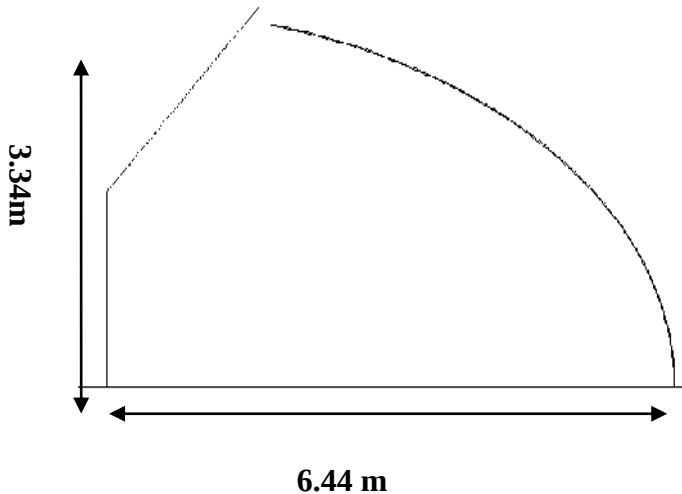


Figure III.10 : représentation de la serre chinoise

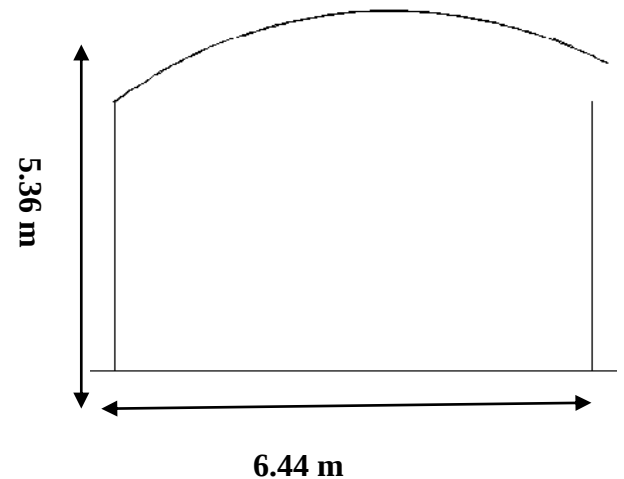


Figure III.11 : représentation de la serre tunnel

III.2.2 Maillage sous Gambit :

La création de la géométrie ainsi que le maillage se font le logiciel GAMBIT. Le choix de maillage dépend de la complexité de la géométrie.

La serre a été maillée avec un maillage de type structuré, la hauteur des mailles est de 0.1m, et la densité des mailles augmente aux endroits où les gradients de vitesse et de température sont importants, il est nécessaire d'affiner le maillage pour garder une bonne précision du calcul, à ces endroits la hauteur des mailles est inférieure à 0.1 m, comme c'est le cas le long des parois et des entrées et sortie d'air.

Minimiser la hauteur des mailles permet d'obtenir des résultats plus précis

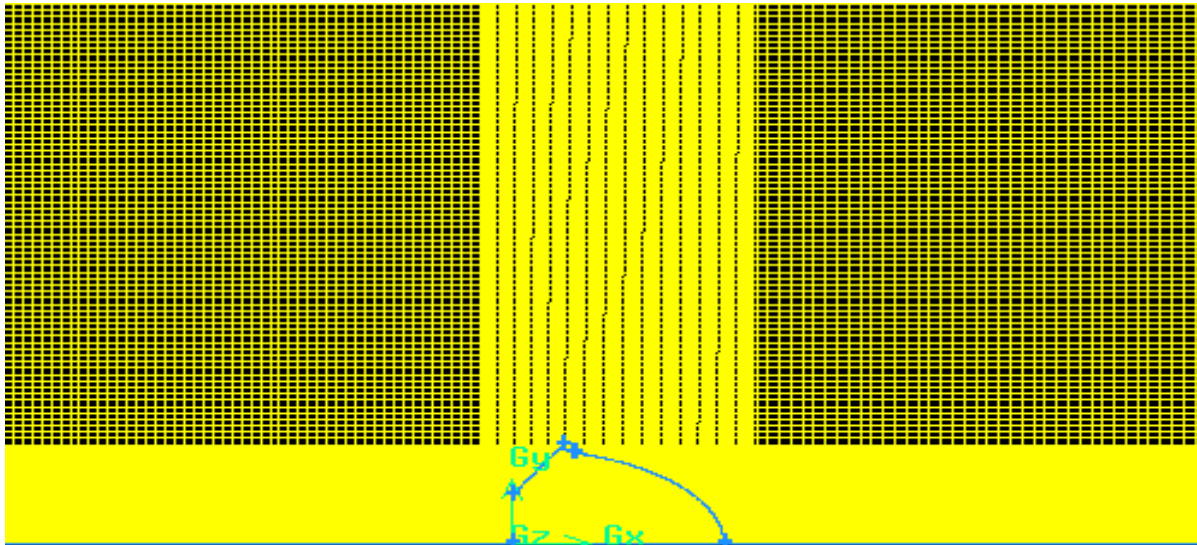


Figure III.12: Maillage de la serre

III.2.3 Condition sous FLUENT :

III.2.3.1 Propriétés du fluide :

Nous considérons le fluide comme un gaz incompressible, en effet, nous prenons comme hypothèse que sa masse spécifique varie faiblement avec la pression ou la température,

Pour les autres caractéristiques, nous avons choisi de considérer l'air dans les conditions normales de température et de pression.

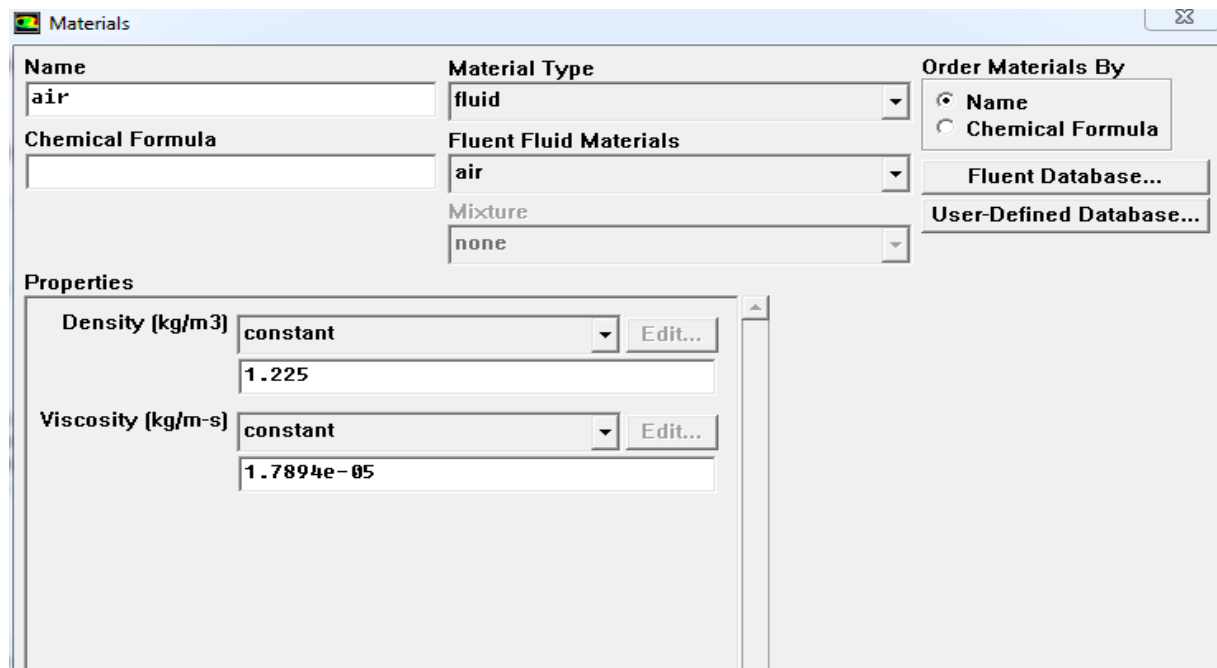


Figure III.13 : Interface Materials.

III.2.3.2 Condition initial :

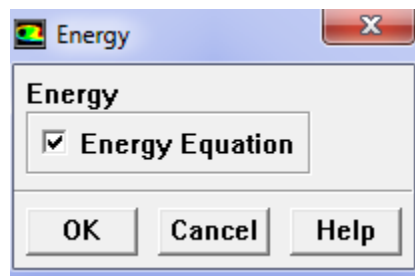


Figure III.14 : Interface Energy

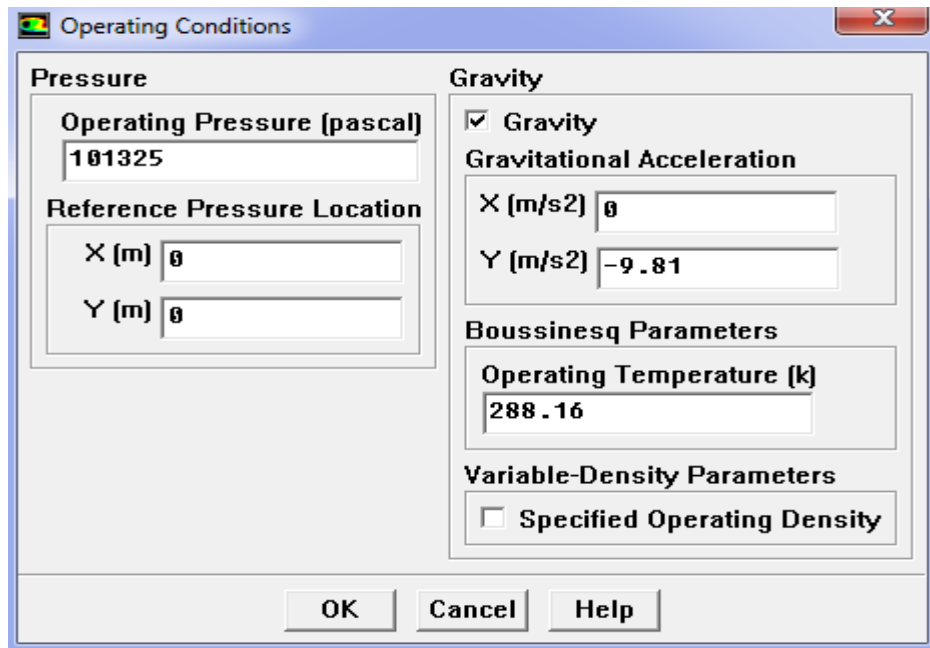


Figure III.15 : Interface Operating conditions

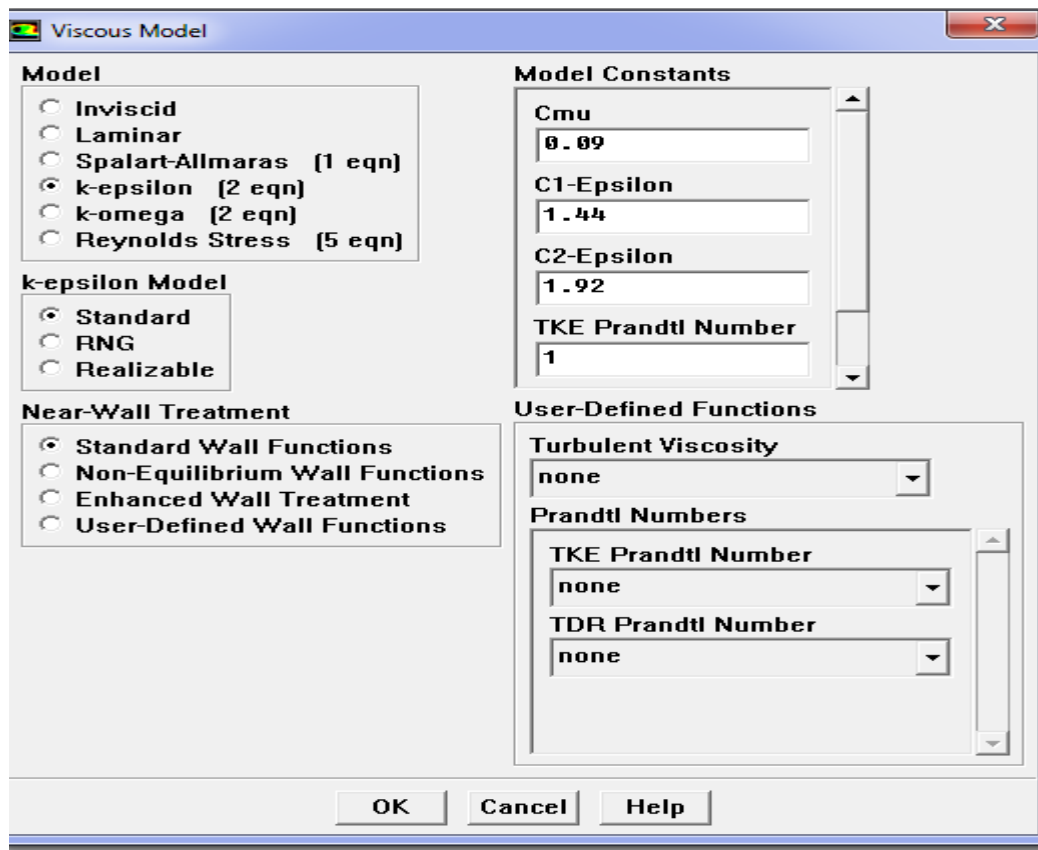


Figure III.16 : Viscous Model

II.2.3.3 Condition aux limites :

a. Condition à l'entrée :

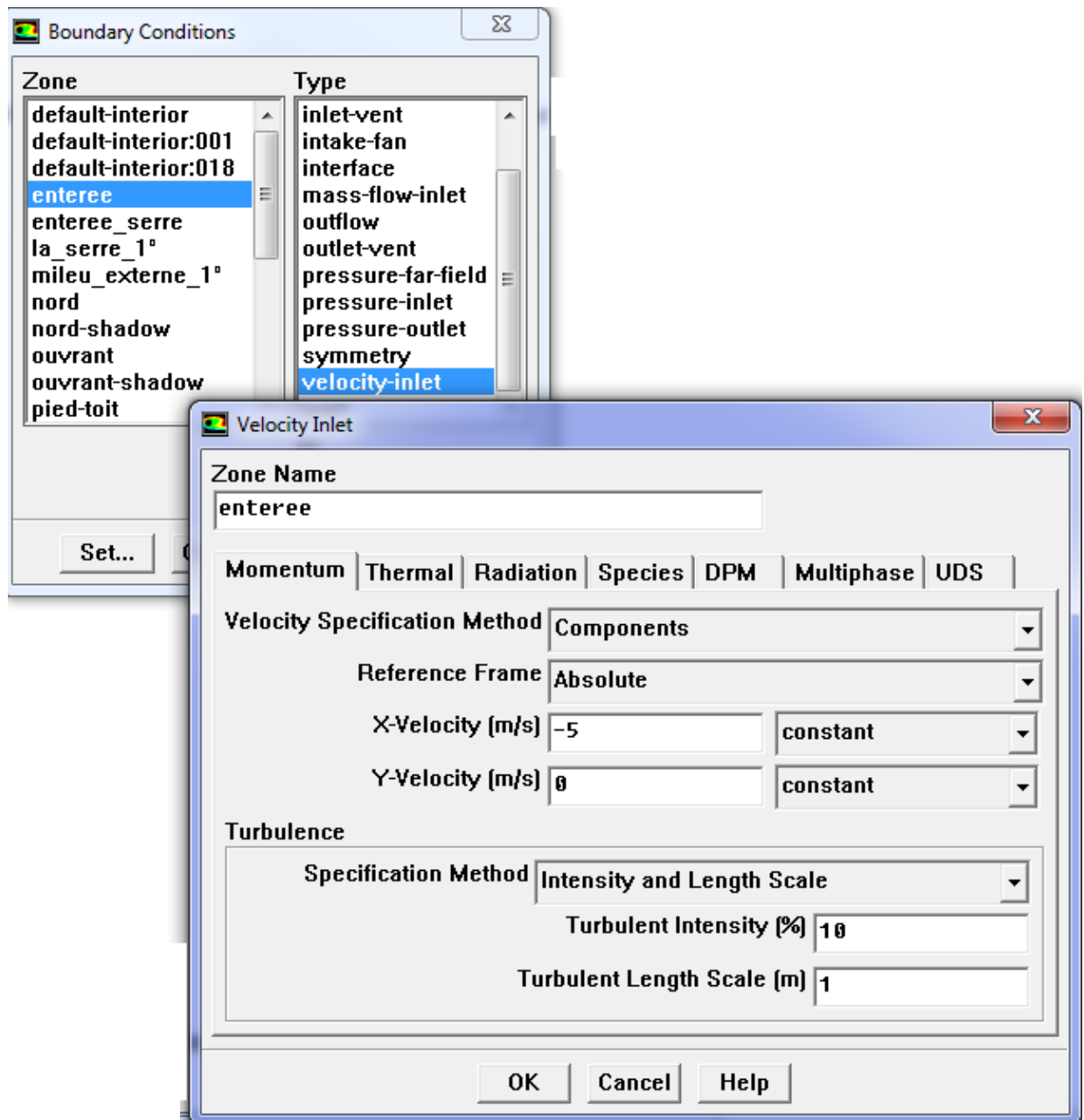


Figure III.17: Interface Boundary conditions

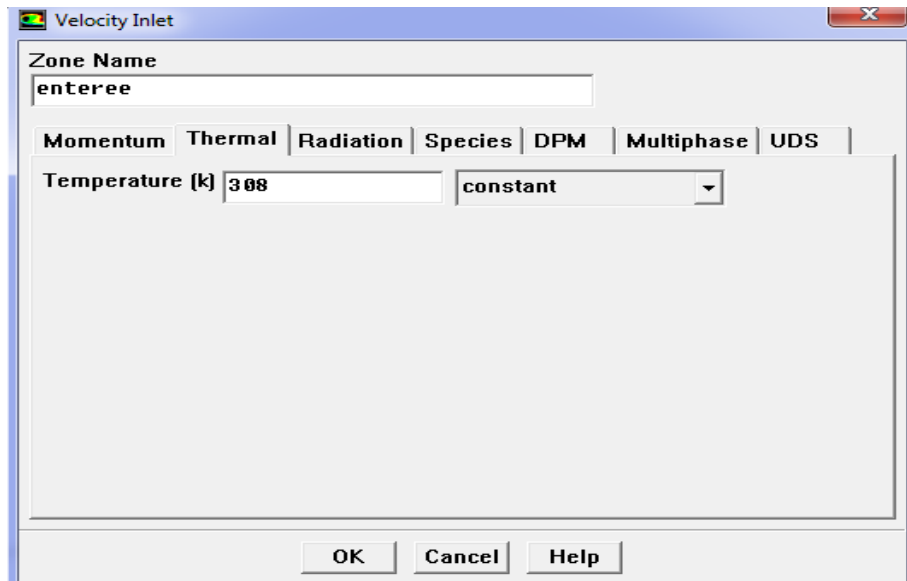


Figure III.18 : les conditions de températures.

b- Condition de sortie : $T=308$ K

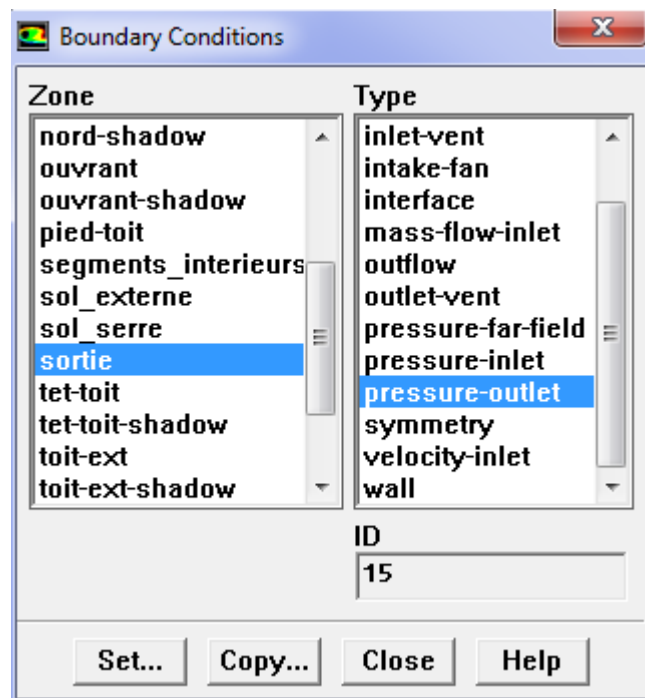


Figure III.19 : les conditions de sortie.

c- Condition de top :

Sont des mêmes conditions avec l'entrée

La vitesse suivant $x = -5$ m/s

La température $T = 308$ K

D- Condition aux parois :

Les conditions aux parois est fait par l'interprétation des UDF (exemple le toit).

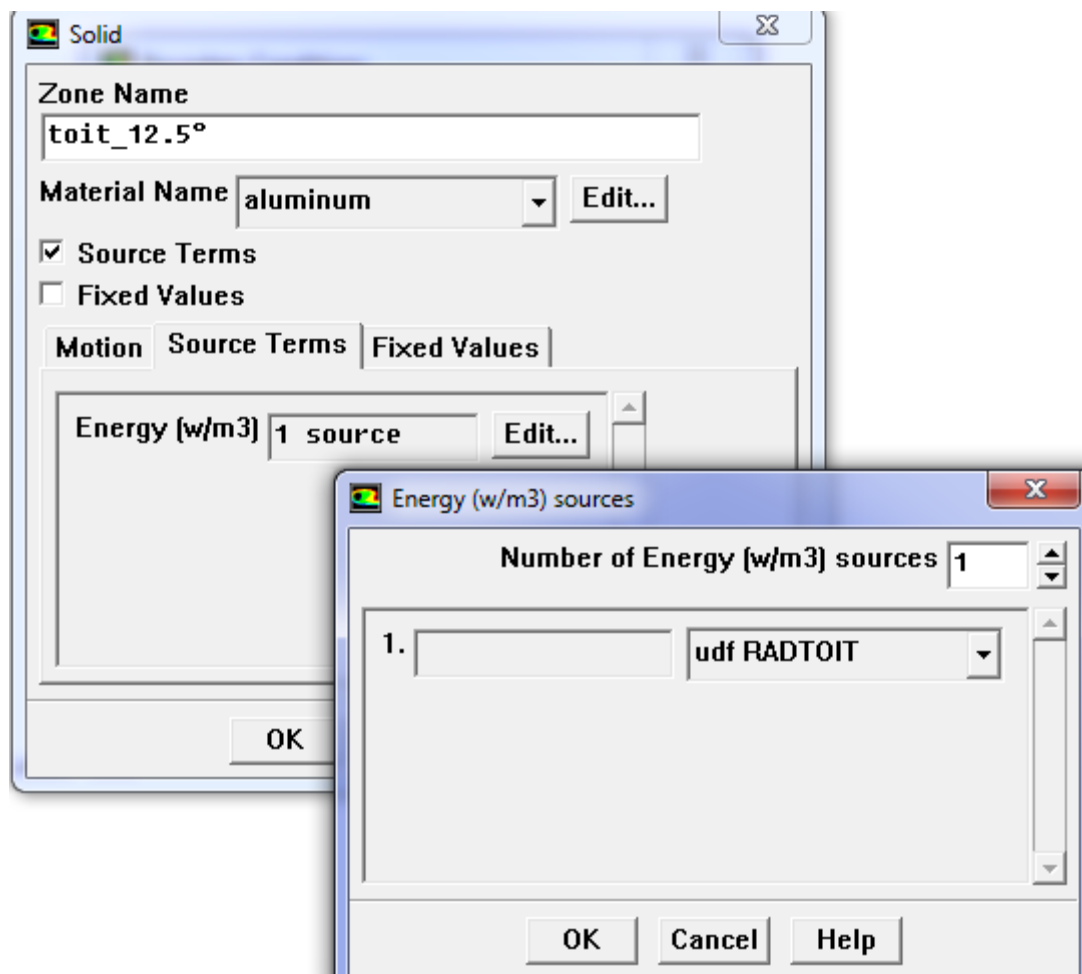


Figure III.20 : interface de l'UDF pour le toit (solide).

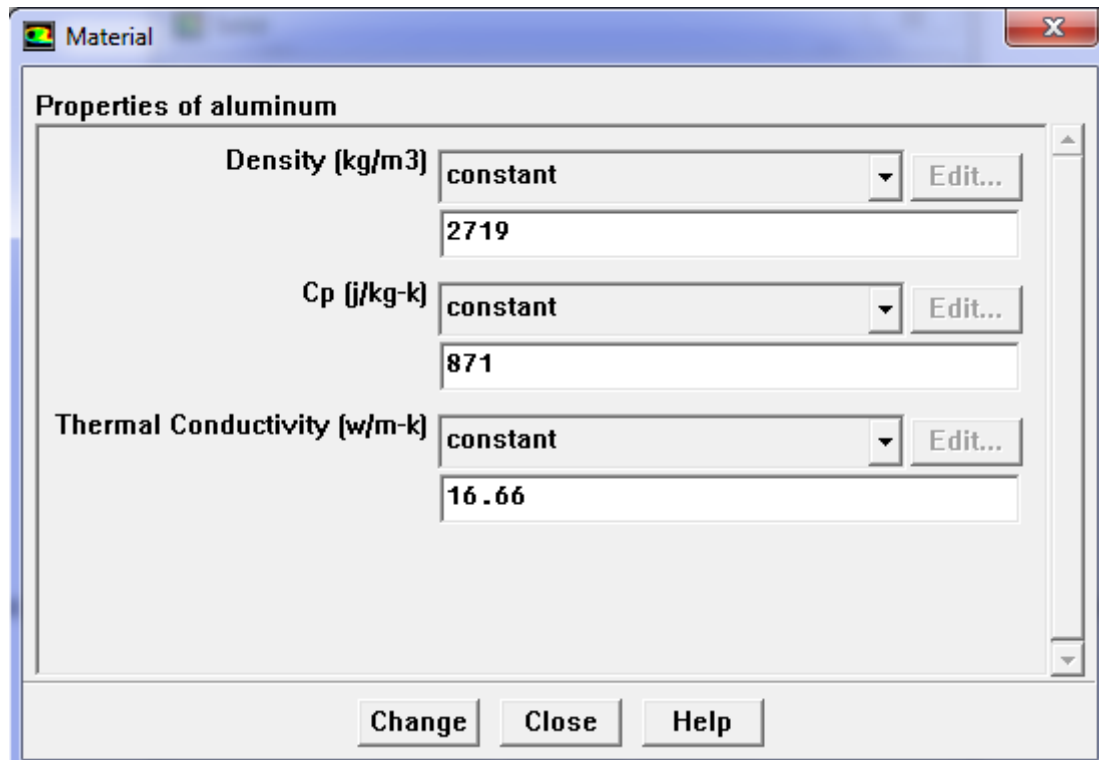


Figure III.21 : les conditions de conductivité thermique.

IV. Conclusion :

Après avoir présenté la géométrie du problème et les équations qui régissent le phénomène de la convection en régime turbulent à l'intérieur d'une serre.

Nous avons spécifié les conditions aux limites de toute la frontière de domaine d'écoulement pour résoudre les équations de la dynamique des fluides qui se fait par l'utilisation de la méthode numérique volume fini.

Introduction :

Le logiciel FLUENT propose un nombre assez important d'options qui déterminent la forme des équations de Navier-Stokes et des équations de transport ; L'utilisateur a le choix entre un écoulement tridimensionnel ou bidimensionnel , monophasique ou multiphasique (homogène ou non) turbulent ou laminaire , permanent ou transitoire , compressible ou incompressible, avec ou sans transfert de chaleur, avec ou sans introduction de substances chimiquement réactives ou non.

Dans ce chapitre, nous discuterons les résultats obtenus à l'aide du logiciel Fluent.

Les serres étudiées ont la même surface du sol et sont couvertes de polyéthylène de 1.0 Cm d'épaisseur. L'aération des deux types de serres a été assurée par un ouvrant au toit.

Il s'agit de visualiser la distribution de température et de vitesse à l'intérieur des deux serres (chinoise et tunnel) en imposant des conditions climatiques concrétisées par un flux de chaleur au toit et des températures et vitesses extérieures invariables (35°C et 5 m/s) respectivement.

II.Résultat de la simulation :

II.1 Courbes des résidus :

La figure ci-dessous qui représente l'évolution des résidus affirme la convergence des calculs

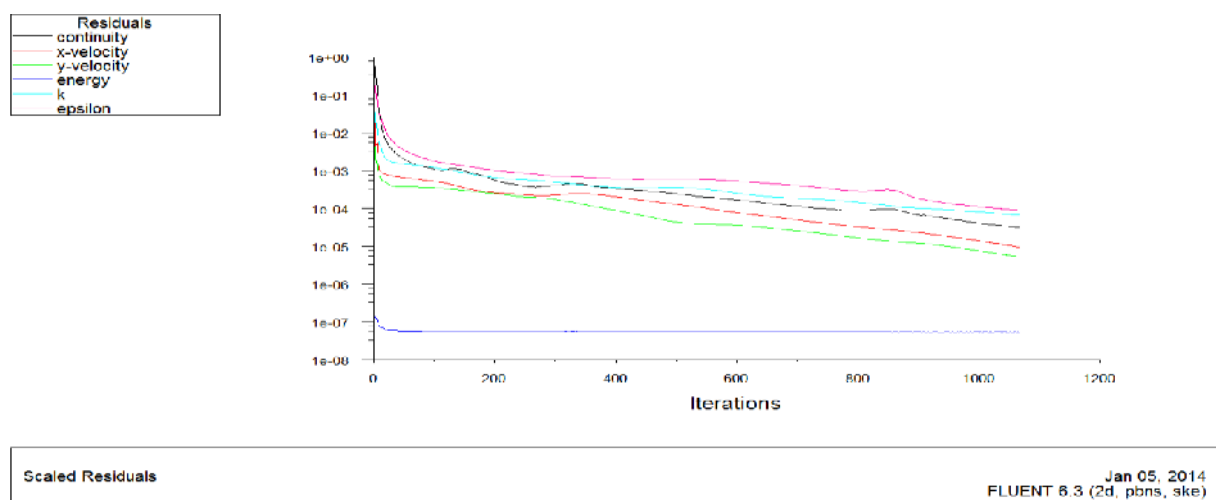


Figure VI.1 : Courbes des résidus pour différentes équations.

II.2 Représentation des champs de températures dans les serres chinoises et tunnel :

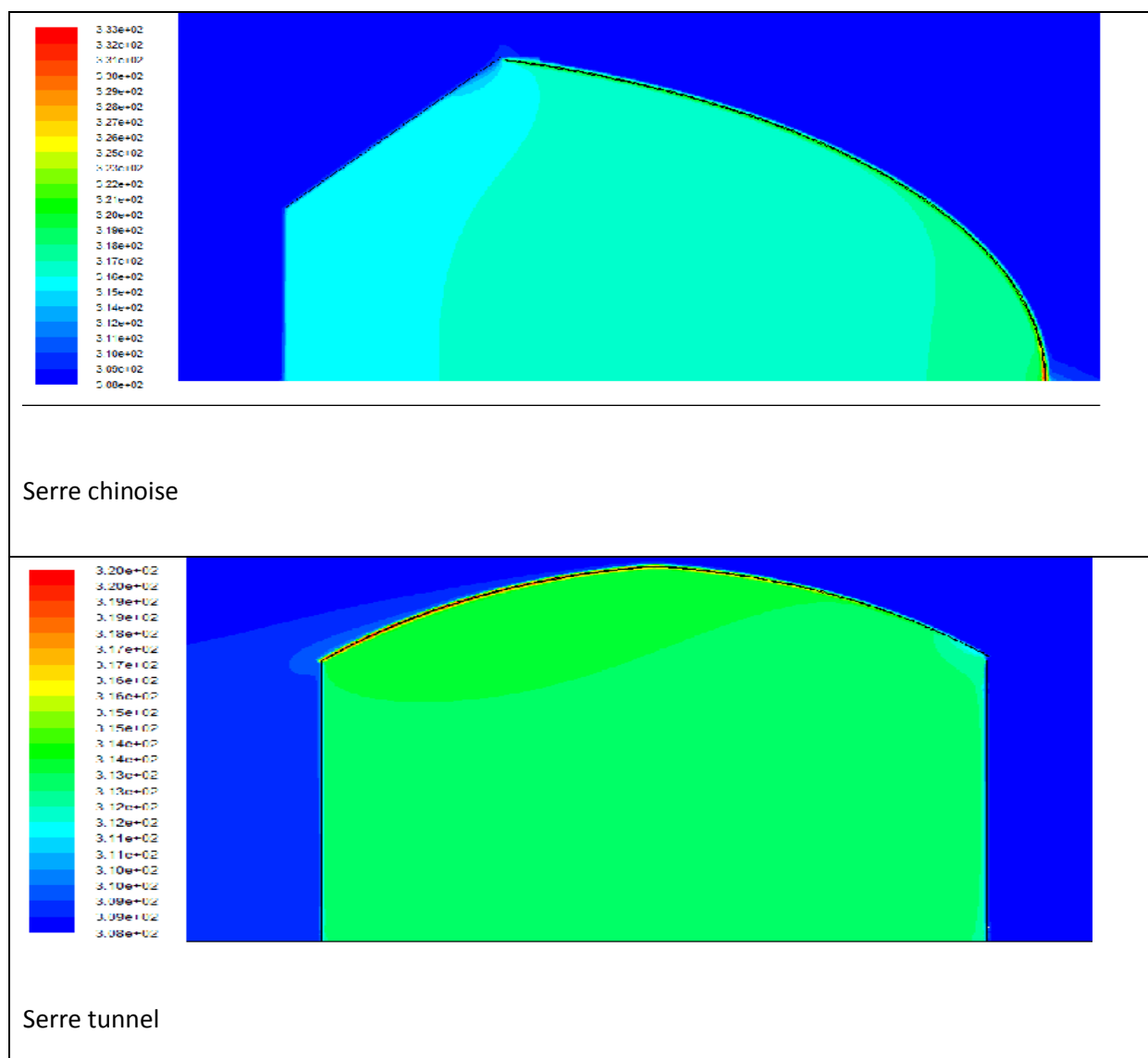


Figure VI.2 : Représentation des champs de température pour angles d'ouverture 1°

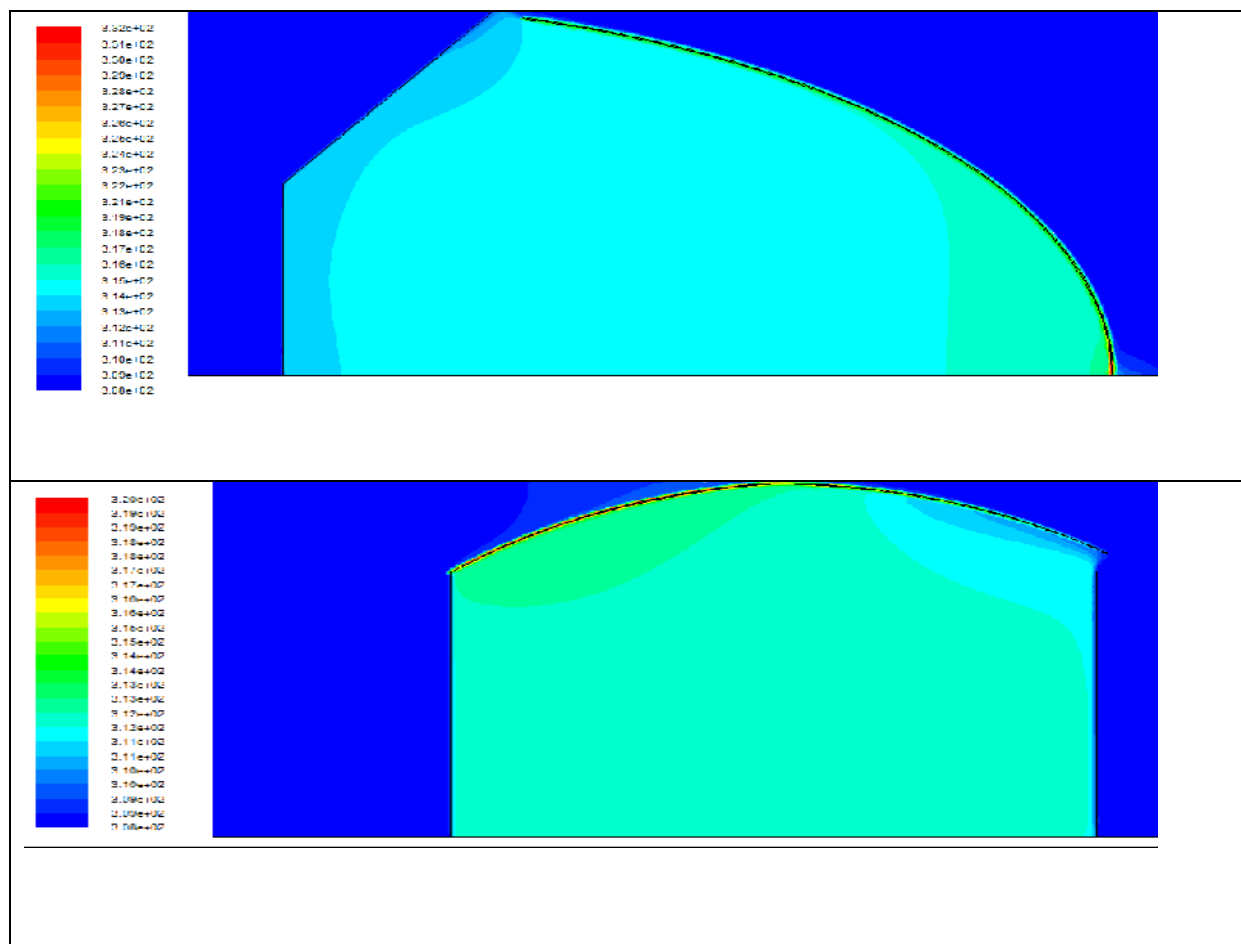
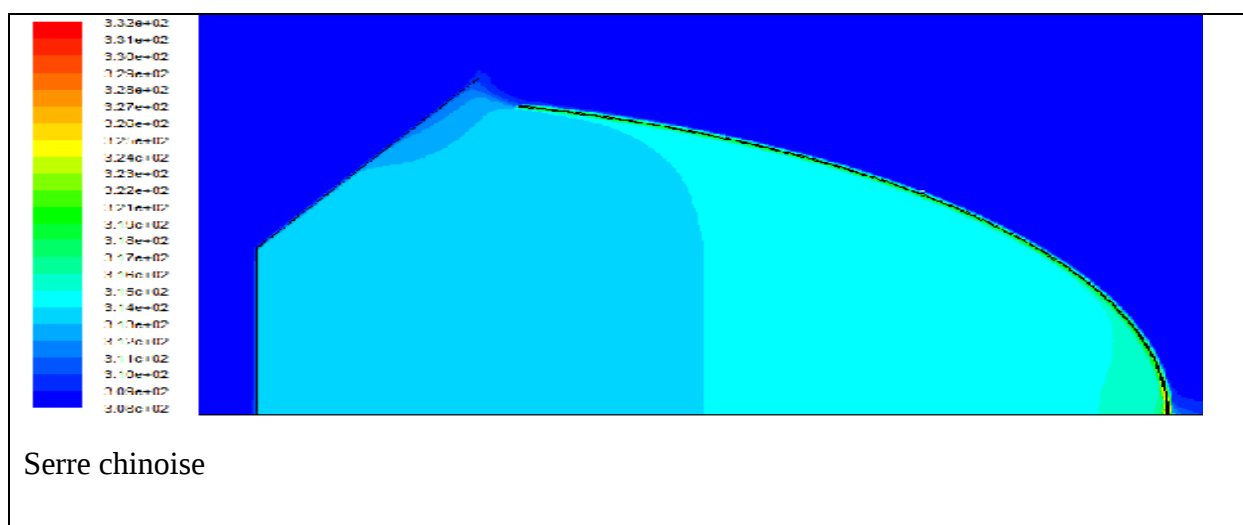


Figure IV.3 : Représentation des champs de température pour angle d'ouverture 5°



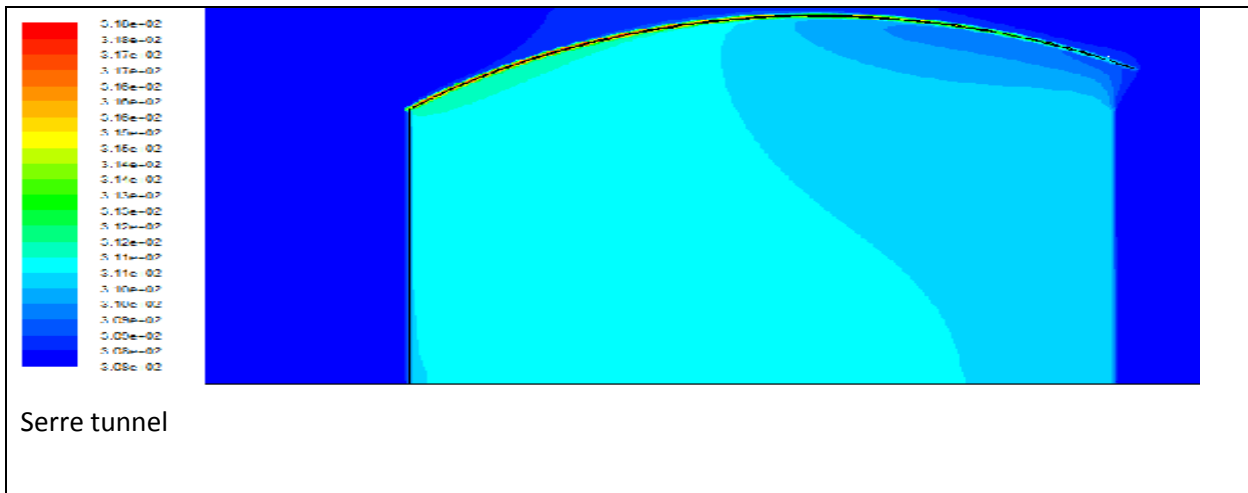


Figure IV.4 : Représentation des champs de température pour angle d'ouverture 10°

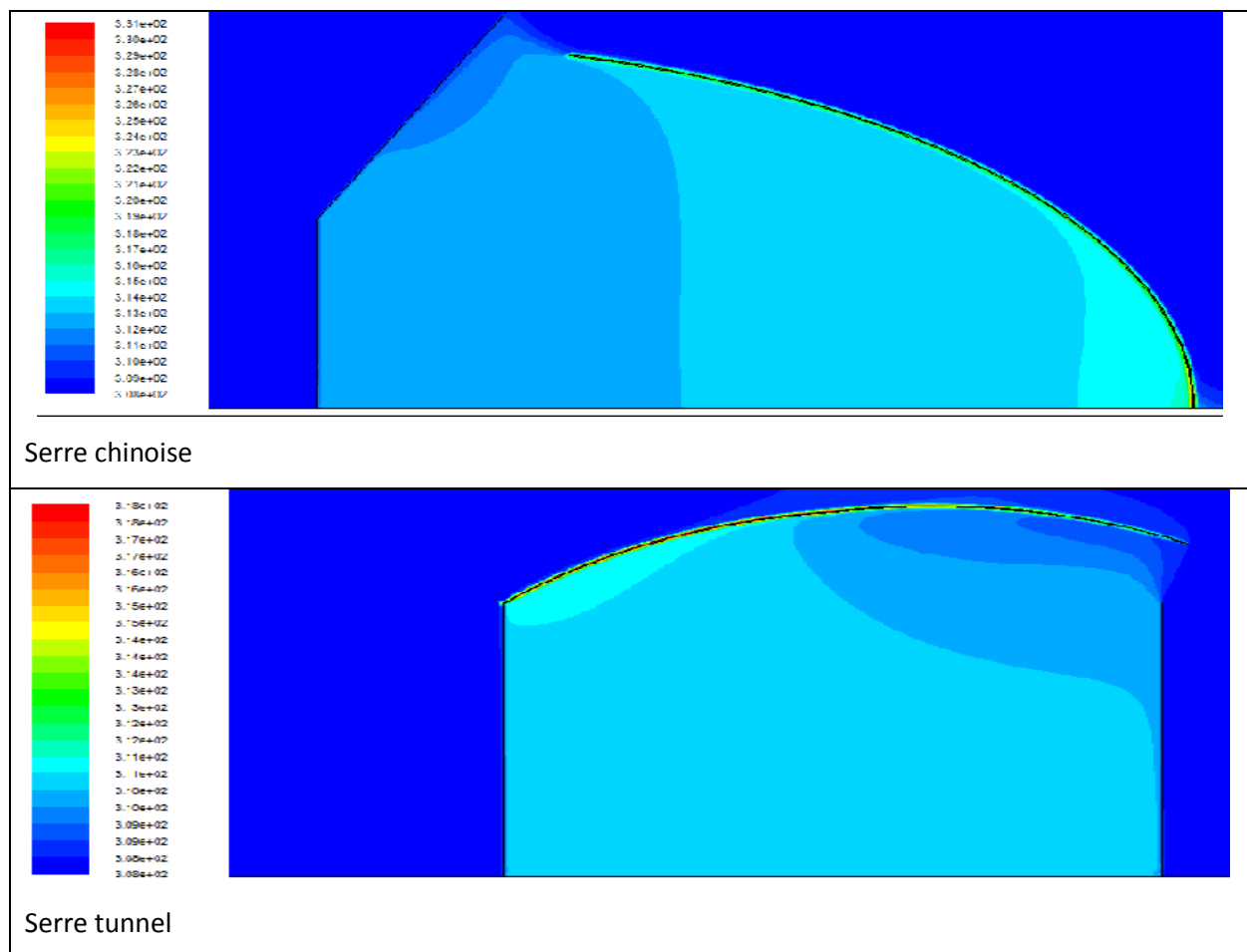


Figure IV.5: Représentation des champs de température pour angle d'ouverture 15°

Les figures ci-dessus représentent les champs de température à l'intérieur de la serre chinoise et tunnel pour différents angles d'ouverture (1° , 5° , 10° et 15°). Ces illustrations montrent l'hétérogénéité des températures ; Les zones moins chaudes correspondent aux zones d'ouvertures (ventilées), tandis que les plus chaudes correspondent aux coins et recoins, en effet ce sont les zones les moins ventilées.

La température à l'intérieur des serres dépend fortement de l'angle d'ouverture imposé, la température diminue avec l'augmentation de l'angle d'ouverture et augmente avec la diminution de ce dernier.

II.3 Représentation des champs de vitesse dans les serres chinoises et tunnel :

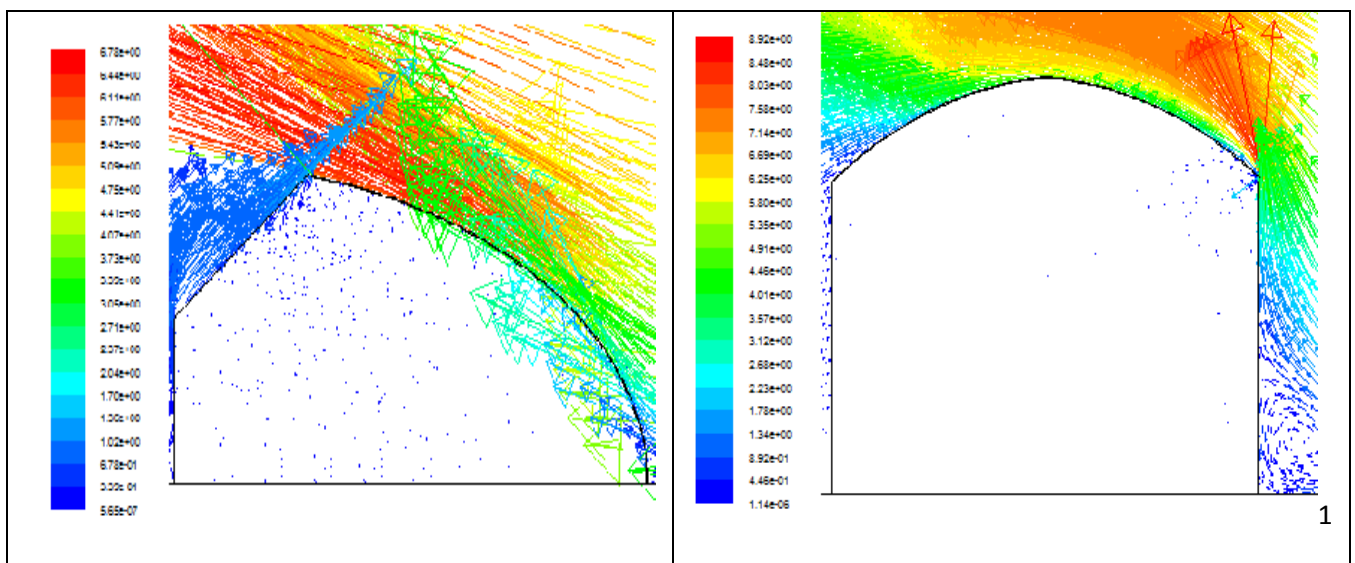


Figure IV.6 : Représentation des champs de vitesse pour angle d'ouverture 1°

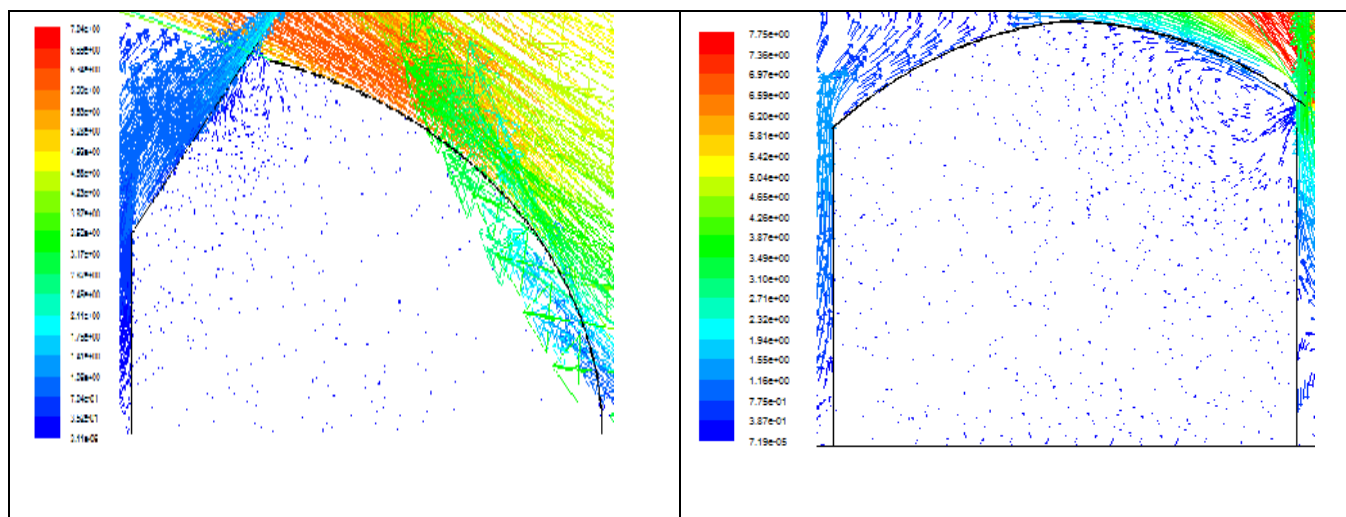


Figure IV.7 : Représentation des champs de vitesse pour angle d'ouverture 5°

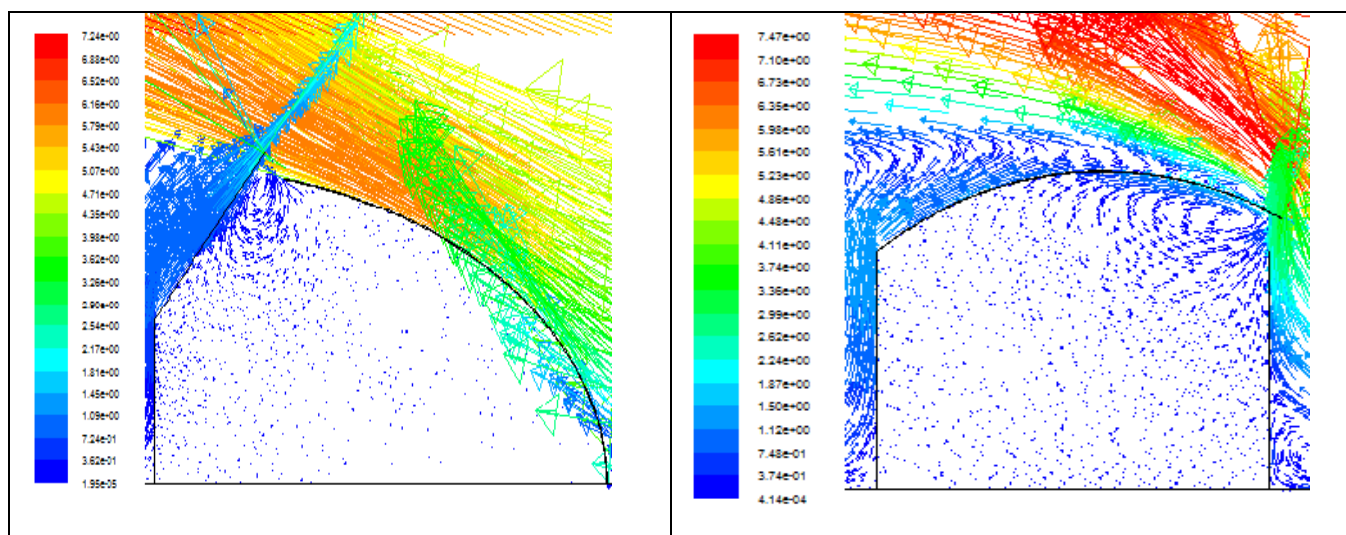


Figure IV.8 : Représentation des champs de vitesse pour angle d'ouverture 10°

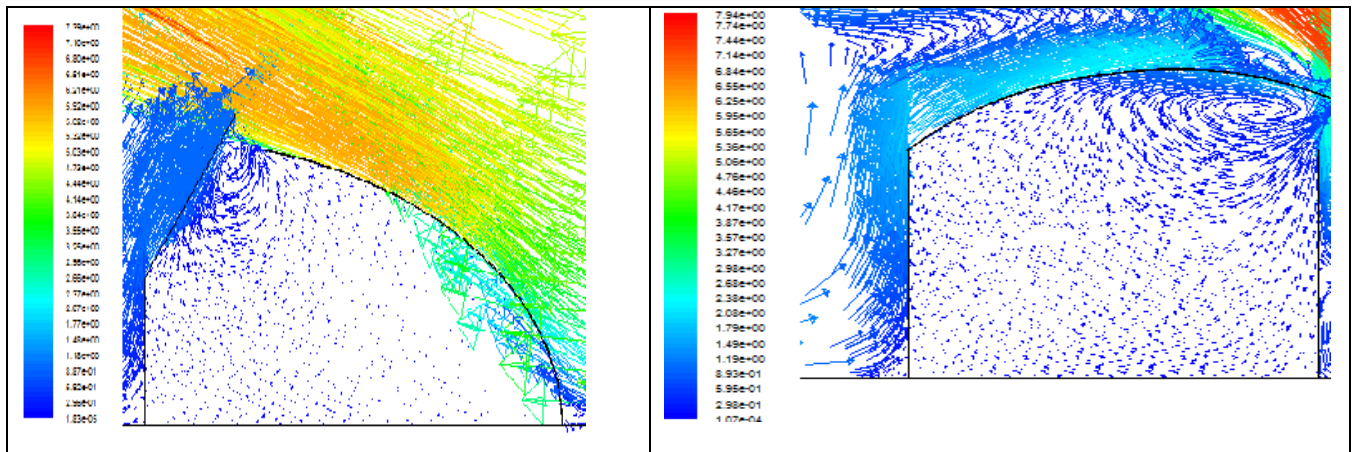


Figure IV.9 : Représentation des champs de vitesse pour angle d'ouverture 15°

Cette figure représente les champs de vitesse d'air à l'intérieur de la serre chinoise et tunnel pour différents débit de ventilation (1°, 5°, 10° et 15°). A proximité de la zone d'ouverture, la circulation d'air crée un vortex, la vitesse est maximale et diminue à chaque fois que l'on s'éloigne.

La vitesse à l'intérieur des serres dépend de débit de ventilation imposé, plus débit de ventilation est grand plus la vitesse augmente et par conséquent plus d'échange de chaleur par convection et plus le débit est faible plus la vitesse diminue.

III. représentation graphique de température moyenne en fonction de l'angle d'ouverture :

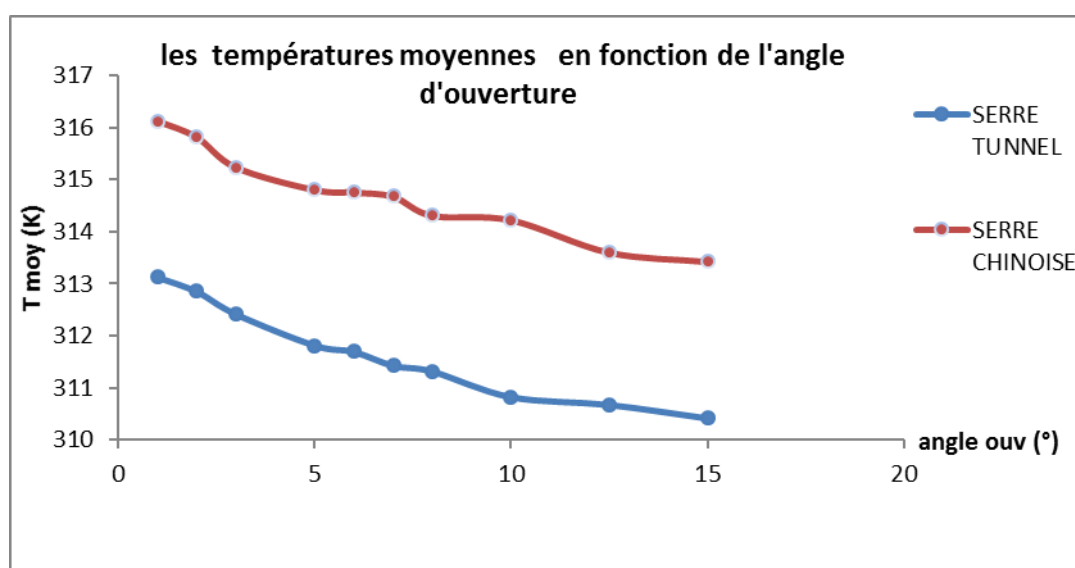


Figure IV.10 : les températures moyennes en fonction de l'angle d'ouverture de serre chinoise et tunnel

-La courbe ci-dessus représente l'évolution des températures moyennes à l'intérieur des serres (chinoise et tunnel) en fonction du débit de ventilation. La température diminue avec l'augmentation du débit de ventilation matérialisée par l'augmentation de l'angle d'ouverture pour les deux serres.

Dans les mêmes conditions climatiques extérieures (température, vitesse du vent, et rayonnement) nous constatons que la température moyenne dans la serre chinoise est toujours plus importante que celle de la serre tunnel, malgré le fait que la même surface du sol a été retenue, ce qui justifie l'utilisation des serres chinoises dans les zones froides. Par exemple pour un angle d'ouverture de 1° , la température atteint les 316 K dans la serre chinoise et les 313 K dans la serre tunnel et pour un angle d'ouverture de 15° , la température diminue jusqu'à 314 K dans la serre chinoise et 310 K dans la serre tunnel.

IV. Conclusion :

A partir des figures Nous avons remarqué que les températures et vitesses dépendent fortement du débit de ventilation, nous avons pu apercevoir aussi que les températures sont nettement plus importantes dans la serre chinoise que dans la serre tunnel. Cela peut être expliqué par :

- La différence de géométrie.
- La position et forme des ouvrants.
- L'orientation et caractéristiques de la serre.

Conclusion générale :

Notre étude pourra contribuer à la compréhension et à l'analyse des différents phénomènes notamment la température mise en jeu à l'intérieur d'une serre chinoise vide en comparaison avec une serre tunnel sous un climat sec et chaud.

On a adopté dans ce travail une approche de modélisation dans laquelle nous avons formalisé les principaux mécanismes gouvernant le comportement et la variation de la température intérieure des deux serres pour différents angles d'ouverture, avec les conditions initiales suivantes : température 35 °, vitesse du vent 5m /s.

Nous avons systématiquement procédé à des calculs numériques, les résultats de la simulation sont obtenus en exploitant les potentialités, du logiciel constructeur GAMBIT ainsi que du logiciel des écoulements fluides et thermiques FLUENT basé sur un schéma de discrétisation en volumes finis qui autorise la résolution des équations de transport. La turbulence, dont l'effet est loin d'être négligeable sous serre, a été modélisée à l'aide du modèle k - ϵ basé sur des coefficients dits standards.

Cette approche théorique a débouché sur des résultats appréciables et des détails intéressants sur la distribution des températures en fonction d'un angle d'ouverture à l'intérieur de la serre chinoise et tunnel. Nous avons remarqué que les températures et vitesses dépendent fortement de l'angle d'ouverture et en titre de comparaison entre les deux types de serres, nous avons remarqué que les températures sont nettement plus importantes dans la serre chinoise que dans la serre tunnel, cela peut être expliqué par :

- La différence de géométrie.
- La position et forme des ouvrants.
- L'orientation et caractéristiques de la serre.

La comparaison entre les deux types de serres nous a mené vers une information extrêmement utile quant au choix de la serre ; les serres chinoises sont plus favorisées dans les régions froides vu leurs capacités de stockage de chaleur importantes par rapport aux serres tunnels.

References Bibliographiques

- [1]Sun,Xiaolei,ZHANG,Weihua,GU,Sanjun, et al .Solar Plastic Greenhouses :An Epochal Revolution of horticulture in china .Asian and australasain journal of Plant Science and Biotechnology,vol 1,no 2,p .43-47.
- [2]Andre, M; Marc, S. Livre: Physique de sol, France (1991).Baille A, INRA et les cultures sous serre. Vers l'utilisation rationnelle de l'énergie et la maîtrise des conditions climatiques/INRA (Paris-France)- 1995
- [3] M^{me} LEBBAL Fatiha. 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). Thèse de doctorat de Science en Mécanique énergétique Université El-Hadj Lakhdar Batna. (2010).
- [4]MEKKOUI Khaoula .dimensionnement d'un complexe géothermique agricole .mémoire master académique .domaine science et technologie filière génie mécanique .spécialité énergies renouvelables université Kasdi Merbah ,Ouargla (2015)
- [5] LEBBAL CHIRINE. Etude de la convection sous serres fermées et ouvertes en présence de la plante thèse de MAGISTERE En Physique Option : Physique Energétique, Université El-Hadj Lakhdar – Batna. (2008).
- [6] AZIL Fatima Zohra.Etude des paramètres climatique, sous serre, chauffée en présence de la plante. thèse de MAGISTERE En Physique Option : Physique Energétique, Université El-Hadj Lakhdar – Batna
- [7]Nisen,A.(1969).L'éclairement naturel des serres . NISEN, André. *L'éclairement naturel des serres*. J. Duculot, 1969. Presse Agronomique,Gembloux.
- [8]Nissen ,A. et Dogniniaux,R (1975).Traité de l'éclairage naturel des serres .Institut Royal Météorologique,Bruxelles.
- [9] Kozai,T. ,Goudriaan,J.et Kaimura,M.(1978).Light transmission and photosynthesis in greenhouses.Pudoc,Wageningen.

- [10] Sinoquet,H.(1993).Modelling radiative transfer in heterogeneous canopies and intercropping Systems .In Crop structure and light microclimate,Characterisation and applications ,INRA Editions,Science Update,229-252.
- [11] ISSANCHOU, G. MONTEIL, C., , et AMOUROUX, M. Modèle énergétique de la serre agricole. *Journal de Physique III*, 1991, vol. 1, no 3, p. 429-454.
- [12] KIMBALL, Bruce Arnold. A modular energy balance program including subroutines for greenhouses and other latent heat devices. *ARS/United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USA)*, 1986.
- [13]Udink ten Cate,A.J.(1980).Remarks on greenhouse climate control.*Acta Horticulturae*,106:43-46.
- [14] LEBIK Slimane. Simulation a l'aide du code de calcul CFD des mécanisme jeu dans le refroidissement évaporatif combine au renouvellement d'air dans une serre. thèse de MAGISTERE En génie mécanique option thermofluides . Université mouloud Mammeri de Tizi ouzou (2008).
- [15] Simulation numérique des besoins énergétiques d'une serre agricole sous le climat de Marrakech Université Cadi Ayyad Département de Physique, Faculté des Sciences Semlalia - – Maroc .(reçu le 20 Janvier 2010 – accepté le 26 Mars 2010).
- [16] Launder et Spalding,D.B. le calcul numériques des écoulements turbulents et Spalding .modèle mathématique de la turbulence ;méthode informatiques en mécanique appliquée et ingegnierie.vol .3.No.2.1974.pp.269-275.
- [17] ABDERRAHIM Asma , étude numérique de la convection forcée turbulent dans un capteur solaire à air double passe ;Master en physiques option physique énergétiques et matériaux (2012).
- [18]Joel H. Ferziger, Milovan Peric, "*Computational Methods for Fluid Dynamics*". Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Allemagne, (2002)

[19] Help FLUNT6.3

[20] M.Korti. M.Ogbi,« Simulation numérique de la forme de l'interface métal liquide-air dans un cylindre A Diplôme d'ingénieur d'état. Département de génie mécanique, Université de Tlemcen, 2008.