

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

# **MÉMOIRE**

Présenté

**AU DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE  
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR  
UNIVERSITÉ DE BATNA**

Pour l'obtention du diplôme de

**MAGISTÈRE EN GÉNIE MÉCANIQUE  
Option: Énergétique**

**Par  
M<sup>me</sup> 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)**

---

Soutenu le 11 /11 /2010

Prof. Si Ameer Mohammed	Prof. Université de Batna	Président
Dr. ZITOUNI Bariza	M.C. Université de Batna	Rapporteur
Prof. NEMOUCHI Zoubir	Prof. Université de Constantine	Examineur
Prof. BOUGRIOU Chérif	Prof. Université de Batna	Examineur

## Remerciements

*Tous mes remerciements vont au **Dieu** en premier lieu.*

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à mon encadreur **Dr. ZITOUNI B.**, maître de conférences à l'université de Batna, pour l'intérêt porté à mon travail, sa disponibilité, ses conseils précieux et surtout sa grande patience.

Mes vifs remerciements vont aussi à **Mr. MESMOUDI K.** maître assistant chargé de cours à l'université de Batna, pour la qualité de sujet proposé et son aide.

*Nous tenons à remercier également:*

Le **Professeur Mohamed SI AMEUR** (directeur du laboratoire LESEI) de l'université de Batna de nous avoir fait l'honneur de présider le jury, le **Professeur NEMOUCHI Zoubir** de l'université de Constantine et le **Professeur BOUGRIOU Chérif** de l'université de Batna qui nous ont honorés. On portera beaucoup d'intérêt à leurs remarques constructives.

J'estime l'aide du **Dr. DJOUIMAA Sihem**, maître de conférences à l'université de batna et de **Mme NOUI Samira** (Doctorat en cours). Mes sincères remerciements pour leurs énormes aides, leurs disponibilités et surtout leurs patiences.

Mes sincères remerciements et mes vives reconnaissances vont aussi au gens qui m'a aidé pour la réalisation de ce travail.

## Dédicace

Á mes très chers parents

Á la mémoire de mon très cher frère Samir pitié de son âme.

Á mon mari

Á mes enfants; Mohamed Rostom, Abderahim et Maissa

Á mes frères et sœurs

Á mes nièces et neveux

Á mes chers Touha et Hafsa

Je dédie ce modeste travail.

### Symboles Latins

Paramètres	Signification	Unité (S.I)
$\alpha$	Diffusivité thermique.	$[m^2.s^{-1}]$
$\alpha_t$	Diffusivité thermique turbulent	$[m^2.s^{-1}]$
$C_\mu$	Coefficient caractéristique de la turbulence	/
$C_1, C_2$	Coefficient caractéristique de la turbulence	/
$C_p$	Chaleur massique à pression constante	$[J.Kg^{-1}.K^{-1}]$
F	Force par unité de volume	$[N.m^{-2}]$
g	Accélération de pesanteur	$[m.s^{-2}]$
H	Hauteur de la serre	[m]
$h_c$	Coefficient d'échange par convection	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
K	Energie cinétique turbulente	$[m^2.s^{-2}]$
p	Pression	[Pa]
q	Flux de chaleur	$[W.m^{-2}]$
S	Surface	$[m^2]$
$S_\Phi$	Terme source	/
t	Temps	[s]
T	Température	[K]
V	Volume	$[m^3]$
$T_{Ae}$	Température extérieure de l'air	$[^\circ C]$
$T_{Ai}$	Température intérieure de l'air	$[^\circ C]$
u, v	Composantes de vitesse	$[m.s^{-1}]$
x, y	Coordonnées	[m]
$U_e$	Vitesse extérieure du vent	$[m.s^{-1}]$
$V_c$	Volume de contrôle	/

### Symboles grecs

Symboles	Signification	Unité (S.I)
$\varepsilon$	Taux de dissipation de la turbulence	$[m^2.s^{-3}]$
$\beta$	Coefficient de dilatation du fluide à pression constante	$[K^{-1}]$
$\nu$	Viscosité cinématique	$[m^2.s^{-1}]$
$\mu$	Viscosité dynamique	$[Kg.m^{-1}.s^{-1}]$
$\mu_t$	Viscosité cinématique turbulente	$[m^2.s^{-1}]$
$\rho$	Masse volumique de l'air	$[Kg.m^{-3}]$
$\Phi$	Variable dépendante	/
$\Gamma_\Phi$	Coefficient de diffusion de $\Phi$	/
$\lambda$	Conductivité thermique	$[W.m^{-1}.k^{-1}]$
$\sigma_k$	Coefficient caractéristique de la turbulence	/
$\delta_{ij}$	symbole de Kronecker	1 si $i=j, 0$ sinon

**Nombres adimensionnels**

<b>Symboles</b>	<b>Signification</b>	<b>Expressions</b>
Gr	Nombre de Grashof	$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2}$
Nu	Nombre de Nusselt	$Nu = \frac{h_c \cdot L}{\lambda}$
Pr	Nombre de Prandtl	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
Ra	Nombre de Rayleigh	$Ra = Gr \cdot Pr$
Ri	Nombre de Richardson	$Ri = \frac{Gr}{Re^2}$
Re	Nombre de Reynolds	$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$

## 1. Liste des figures

- Fig. II.1:** Schéma de la maquette de serre et de ses dimensions (cm).  
**Fig. II.2:** Condition aux limites sur les parois d'une serre fermée  
**Fig. III.1:** Différentes grilles topologiques traitées par "Fluent"  
**Fig. III.2:** Volume de contrôle pour la discrétisation de l'équation de transport d'un scalaire  
**Fig. III.3:** Fenêtre d'outils d'opération  
**Fig. III.4:** Fenêtre de contrôle global  
**Fig. III.5:** Fenêtre des descriptions  
**Fig. III.6:** Fenêtre de la liste des commandes  
**Fig. III.7:** Interface du code fluent  
**Fig. III.8:** Interface solver  
**Fig. III.9:** Interface viscous  
**Fig. III.10:** Interface énergie  
**Fig. III.11:** Interface Matériel  
**Fig. III.12:** Interface Boundary Condition  
**Fig. III.13:** Interface solution control  
**Fig. III.14:** Interface Residual Monitors  
**Fig. IV.1:** Maillage quadratique de la serre (GAMBIT)  
**Fig. IV.4:** Profil horizontal de la température d'air intérieur de la serre à mi hauteur  
(a) : 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour  
**Fig. IV.5:** Profil vertical de la température d'air intérieur de la serre (x=2m)  
(a) : 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour  
**Fig. IV.6:** Champ de la vitesse horizontale d'air intérieur de la serre  
(a): t=12h, (b): t=15h, (c): t=18h, (d): t=21h et (e): t=00h  
**Fig. IV.7:** Champ de la vitesse horizontale d'air intérieur de la serre  
(a): t=02.30 h, (b): t=05 h, (c): t=08 h, (d): t=11h, (e)=14 h, et  
(f): t=17 h  
**Fig. IV.8:** Champ de la vitesse verticale d'air intérieur de la serre  
(a): t=12h, (b): t=15h, (c): t=18h, (d): t=21h et (e): t=00h  
**Fig. IV.9:** Champ de la vitesse verticale d'air intérieur de la serre  
(a): t=02.30 h, (b): t=05 h, (c): t=08 h, (d): t=11h, (e)=14 h, et  
(f): t=17 h  
**Fig. IV.10:** Profile de la vitesse horizontale au centre de la serre.  
(a) : 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour  
**Fig. IV.11:** Profile de la vitesse verticale à mi hauteur de la serre cc  
**Fig. IV.12:** Profile de la vitesse totale à x=l/2. (a): 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour  
**Fig. IV.13:** Profile de la vitesse totale à mi-hauteur; y=H/2. (a): 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour  
**Fig. VI.14 :** Température de l'air à l'intérieur de la serre. (a): 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour

## **2. Liste des tableaux**

<b>Tableau I.1:</b>	Nombre de Nusselt le long d'une plaque plane
<b>Tableau I.2:</b>	Modes de convection et types d'écoulement d'après [9].
<b>Tableau II.1:</b>	Caractéristiques thermiques de la serre
<b>Tableau II.2:</b>	Conditions climatiques moyennes extérieures
<b>Tableau II.3:</b>	Présentation des différents termes de l'équation de transport considérée
<b>Tableau III.1:</b>	Valeurs de sous relaxation

## Sommaire

Remerciement	
Liste des figures et des tableaux	
Nomenclature	
<b>Introduction Générale</b> .....	01

### Chapitre I

#### Conditions climatiques d'une serre: Synthèse Bibliographique

Introduction	03
<b>I. Caractéristiques d'une serre</b> .....	03
I.1. Climat sous serre .....	04
I.2. Aspects spécifiques d'une serre.....	05
I.3. Source d'énergies dans les serres.....	06
<b>II. Etude bibliographique</b>	06
<b>II.1. Conditions climatiques d'une     serre</b> .....	06
II.1.1. Echanges thermiques .....	06
II.1.2. Mouvements de l'air.....	10
II.1.3. Aération .....	11
II.1.4. Hétérogénéité climatique .....	11
<b>II.2. Synthèses des travaux de recherche</b> .....	12
II.2.1. travaux expérimentaux .....	12
II.2.2. travaux numériques .....	13
<b>Conclusion</b>	16

### Chapitre II

#### Étude Numérique 2-D des Champs Dynamiques et Thermiques dans une Serre Type Venlo

Introduction .....	17
<b>I. Modèle physique</b> .....	17
<b>II. Modèle mathématique de l'écoulement en régime Laminaire</b> .....	19
II.1. Equation gouvernantes.....	19
II.2. Approximation de boussinesq .....	19
II.3. Hypothèses simplificatrices.....	20
II.4. Système d'équations retenu.....	21
<b>III. Modèle mathématique de l'écoulement en régime turbulent</b> .....	22
III.1. Modèle $k - \varepsilon$ .....	24
III.2. Equation générale de transport.....	25
III.3. Les conditions initiales et aux limites... ..	25
<b>IV. Code de calcul: FLUENT</b> .....	27
IV.1. Choix du schéma de discrétisation.....	29
IV.2. Initialisation.....	29
IV.3. Méthode de la solution.....	29

<b>Conclusion.....</b>	<b>31</b>
------------------------	-----------

**Chapitre III**  
**Méthode Numérique de Résolution**

Introduction	32
<b>I. Principe de la méthode des volumes finis.....</b>	<b>32</b>
<b>II. Maillage .....</b>	<b>32</b>
<b>III. Discrétisation .....</b>	<b>33</b>
III.1. Linéarisation de l'équation discrétisée.....	34
III.2. ....	Sous 35
relaxation.....	
<b>IV. Discrétisation de l'équation de quantité de mouvement.....</b>	<b>35</b>
<b>V. Interpolation de la pression .....</b>	<b>37</b>
V.1. Schéma standart .....	37
V.2. Schéma du second ordre.....	37
V.3. Schéma presto .....	37
<b>VI. Discrétisation de l'équation de continuité.....</b>	<b>37</b>
VII. Couplage Vitesse–Pression.....	38
VII.1. Equation algébrique de pression.....	38
VII.2. Algorithme SIMPLER .....	41
<b>VIII. Procédure de Résolution.....</b>	<b>42</b>
VIII.1. Logiciel GAMBIT .....	42
VIII.2. Code FLUENT.....	44

**Chapitre IV**  
**Champs Dynamiques et Thermiques dans une Serre Type Venlo:**  
**Résultats et Interprétations**

Introduction	50
<b>I. Maillage de la serre.....</b>	<b>50</b>
<b>II. Comportement thermique de la serre.....</b>	<b>50</b>
II.1. Champs de température.....	50
II.2. Profils de la température.....	54
III.2.1. Profils horizontales de la température.....	55
III.2.1.2. Profils verticales de la température.....	55
<b>III. Comportement dynamique de la serre.....</b>	<b>58</b>
<b>III.1. Champ de vitesse.....</b>	<b>58</b>
III.1.1. Champ de la vitesse horizontale .....	58
III.1.2. Champ de la vitesse verticales;.....	59
<b>III.2. Profils de la vitesse .....</b>	<b>64</b>
III.2.1. Profils de la vitesse horizontale au centre de la serre à $x=l/2$ .....	64
III.2.2. Profils de la vitesse verticale à mi hauteur de la serre.....	66
III.2.3. Profils de la vitesse totale .....	68

a. Profil de la vitesse totale à $x=l/2$ .....	68
b. Profil de la vitesse totale à $y=H/2$ .....	68
<b>IV. Validation des résultats de calcul</b> .....	<b>71</b>
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>74</b>

# *Introduction Générale*

Les serres sont des structures qui permettent de créer un milieu favorable à la croissance et au développement des plantes. Elles protègent la végétation en atténuant les pertes convectives provoquées par le vent extérieur. Certains matériaux de couverture transparents au rayonnement de courte longueur d'onde créent également l'effet de serre.

Les serres méditerranéennes sont efficaces en hiver et en printemps, par contre elles perdent leur efficacité en été ou le climat est très chaud ce que influe directement sur la quantité et la qualité du produit et donne des fois naissance de certaines maladies.

Le principe de la serre est de protéger les plantes contre les intempéries et de créer un micro climat favorable a leur développement. La croissance des plantes dépend fortement des condition extérieure; vitesse du vent, la température extérieure, l'humidité extérieure 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.

Les différents modes de transfert massique et thermique interviennent et l'interaction de ces modes avec la plante donne un processus complexe. Les transferts convectifs jouent un rôle important.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le comportement d'une serre mono chapelle de type Venlo ainsi que la simulation des mécanismes de convection qui permet de déterminer le champ dynamique et thermique à l'aide d'un logiciel de dynamique des fluides (**Fluent**).

Une comparaison et une validation des résultats ont été faites de deux manières:

- Champs thermique et dynamique a été validé par comparaison avec les travaux de **Lamrani et al (2001)** <sup>1</sup> réalisés dans un petit prototype de serre avec sol chauffé.
- La comparaison de la variation de la température de l'air intérieur de la serre a été validée avec les travaux de recherche disponible au département d'agronomie (2008) <sup>2</sup> mené dans une serre en verre de type Venlo fermée, non chauffée et sans couvert végétale.

---

<sup>1</sup>. M. A. Lamrani, T. Boulard, J. C. Roy; A. Jafrin. Air Flows and Temperature Patterns induced in a Confined Greenhouse. J. agric. Engng Res, (2001) 78 (1), 75-88.

<sup>2</sup>. Bendaas Y. Bilan Energétique d'une Serre en Verre sans Couvert Végétale dans la Régions des Aurès; les Hauts Plateaux Est d'Algérie (Etude Expérimentale). Mémoire d'ingénieur (encadré par Mr. Mesmoudi K.). Département d'agronomie 2007.

Notre mémoire est organisée de la façon suivant:

Le premier chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique sur les travaux de modélisation des écoulements d'air dans les serres. Le deuxième chapitre est consacré au modèle physique utilisé pour décrire les phénomènes de convection diffusion sous serres et les modèle qui prennent en compte les transferts turbulents .

Après avoir décrit les phénomènes physiques à étudier, le troisième chapitre traite d'une part, la méthode numérique basée sur des intégrales locales sur des volumes finis et d'autre part, les principes de la discrétisation des équations de bilan.

Dans le quatrième chapitre, on a présenté les principaux résultats obtenus à l'aide d'un logiciel de mécanique du fluide **fluent** et nous avons comparé les résultats déduits des calculs numériques utilisant un logiciel de calcul avec deux travaux expérimentales. Il s'agit des résultats de la référence **Lamrani et al (2001)** [27]. Le second travail avec lequel on a validé nos résultats Il s'agit d'un travail expérimental réalisé au niveau du département d'agronomie, Faculté des sciences, Université de Batna.

Finalement, nous terminons cette étude par une conclusion générale.

# *Chapitre 1*

*Conditions Climatiques d'une Serre:*

*Synthèse Bibliographique*

## **Introduction**

La serre, conçue à l'origine une simple enceinte limitée par une paroi transparente, la serre est un agent de modification du climat. Le climat spontané qui s'établit à l'intérieur ne répond qu'exceptionnellement à la totalité des exigences des cultures. Il permet, certes de se soustraire partiellement aux interdictions culturelles du climat extérieur mais aussi à celle liées aux basses températures et d'éliminer les contraintes imposées par les épisodes pluvieux ou la violence de vent [2].

Dans cette étude bibliographique, on exposera les caractéristiques et les conditions climatiques d'une serre ainsi qu'une synthèse des travaux de recherche dans ce sens.

## **I. Caractéristiques d'une serre**

### **I.1. Climat sous la serre**

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, son orientation et des qualités physico-chimiques des matériaux de la couverture utilisée.

Les principaux facteurs du milieu interne d'une serre, qui sont modifiés par rapport à l'extérieure sont: la lumière, la température, l'humidité et les concentrations des gaz (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

#### **I.1.1. Lumière**

Les conditions d'éclairement à l'intérieure 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 ainsi que les conditions de leur mise en œuvre (structure, forme et orientation des serres) ont une grande influence sur l'utilisation raisonnable de ce climat naturel [2].

#### **I.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:

L'abaissement de la température pendant la nuit est dû à la diminution des déperditions d'énergie par rayonnement infra-rouge à travers la paroi limite le refroidissement nocturne; 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.

### **I.1.3. Humidité**

Le confinement et l'étanchéité de la serre favorisent l'augmentation de l'humidité absolue tandis que l'élévation de la température de l'air tend à accroître le déficit de la saturation. 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 [2].

**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 des certaines maladies...).

### **I.1.4. 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.

Dans la région méditerranéenne, où le soleil s'élève sur l'horizon, les vérifications ont montré que l'éclairement solaire satisfaisant pouvait s'obtenir par l'adaptation d'une orientation nord-sud. La comparaison entre le matin et le soir a montré que cette orientation permet d'avoir une meilleure homogénéité du flux lumineux. Compte tenu de la direction générale Nord-sud des vents dominants, cette orientation a l'avantage de

réduire les effets néfastes des vents tant sur la structure que sur les déperditions énergétiques de la serre [2].

### **I.1.5. Teneur en gaz carbonique**

Dans le cas des serres très étanches peu aérées, il est souhaitable de pouvoir réaliser un enrichissement en CO<sub>2</sub> qui peut être très bénéfique, aussi bien pour le rendement que pour la précocité s'il est judicieusement utilisé. Dans les régions méridionales, où le besoin de la ventilation est important dès le début de la saison de culture et où les serres sont donc ouvertes pendant la majeure partie de la journée, l'enrichissement en CO<sub>2</sub> est plus difficilement applicable [2].

## **I.2. Aspects spécifiques d'une serre**

### **I.2.1. 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, du carbone et d'hydrogène à faible énergie potentielle chimique, en hydrates de carbone à énergie potentielle chimique élevée [17].

### **I.2.2. Respiration**

Les hydrates de carbone formés par photosynthèse sont distribués dans tout l'organisme et peuvent alors être soit polymérisés en macro-molécules 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 [5].

### **I.2.3. Évapotranspiration**

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 [17].

### **I.3. Source d'énergies dans les serres**

#### **I.3.1. 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. En Algérie les puits d'eau chaude qui étaient destinés depuis plusieurs décennies pour la consommation humaine et pour l'irrigation, ne furent exploités pour le chauffage des serres qu'à partir de l'année 1974 [17].

#### **I.3.2.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 [17].

## **II. Étude bibliographique**

### **II.1. Conditions climatiques d'une serre**

#### **I.1.1. Échanges thermiques**

Les conditions climatiques au voisinage du sol résultent des échanges de chaleurs et de masse entre le sol, la végétation et l'atmosphère. Ainsi nous considérerons, dans cette étude que l'agrosystème 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 [8].

**Les échanges radiatifs:** de courtes longueurs d'ondes aussi bien directs que diffus, qui sont transmis, réfléchis et / ou absorbés par les différents milieux considérés.

Les échanges radiatifs de grandes longueurs d'ondes entre ces milieux, le ciel et l'extérieur.

**Les échanges convectifs:** échanges de chaleur sensible et latente par aération entre les différents milieux et l'extérieur, plus l'échange de chaleur latente d'évaporation ou de condensation.

**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 [4].

#### **a. 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 [ $\mu\text{m}$ ] (rayonnement visible) et qui contribue au processus de la photosynthèse [8]. 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 [8].

**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 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 (Nisen, 1969). Les matériaux utilisés pour la couverture doivent être le plus transparent possible dans le domaine du visible et

bloque 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 (**Nisen, 1969; Nisen et Dognieux, 1975 ; Kozai et al, 1978 ; ...**), 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 (**Monteil, 1985; Kimball, 1986; Issanchou, 1991**) [8].

### **b. 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, on considère que les échanges sont stationnaires et on les intègre dans un coefficient global de transfert (**Nijskens et al, 1984; Kimball, 1986; Jolliet, 1988 ; Issanchou, 1991; Kittas, 1994**) [2]. 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 (**Deltour, 1985; Kimball, 1986**) [8].

### **c. 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 et 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.

D'après les études de la convection illustrées dans la littérature, le flux convectif est proportionnel à la différence de la température ' $\Delta T$ ' entre les surfaces solides et l'air. La proportionnalité est donnée généralement par le coefficient d'échange '**h**' [33].

L'estimation expérimentale de ce flux est extrêmement compliquée et parfois impossible de l'effectuer pour certaines formes de surfaces, telle que la feuille. La plupart des auteurs ont utilisé des approches empiriques qui assimilent les surfaces d'échanges à des formes géométriques simples pour lesquelles les coefficients d'échange sont connus, par exemple les plaques planes ou leurs coefficients d'échange ont été estimés en fonction des nombres adimensionnels.

L'expression du nombre de Nusselt pour des écoulements laminaires et turbulents en modes de convection libre et forcée le long d'une plaque plane est présentée dans le **tableau (I.1)** d'après **Monteith (1973)** et **Campbell (1977)** [29], [13].

Afin de déterminer le coefficient de transfert de chaleur par convection '**h**', un critère doit être défini pour identifier le mode de la convection (forcée ou libre) et le type d'écoulement (laminaire ou turbulent). Le nombre de Richardson '**Ri**' donne un critère

pour distinguer directement la convection forcée. Quand ' $Re^2$ ' est beaucoup plus grand que ' $Gr$ ' les forces de flottabilité sont négligeables et la convection forcée est dominante tandis que l'état d'inverse à comme conséquence la convection libre. Les valeurs critiques de ' $Ri$ ' sont indiquées dans le tableau pour des plaques planes horizontales semblables aux couches de la toiture, sol et de végétation. La distinction entre les écoulements laminaires et turbulents est basée sur le nombre de ' $Gr$ ' pour la convection libre et ' $Re$ ' pour la convection forcée. Le critère correspondant à l'air à 20 °C est également donné dans le **Tableau (I.2)**.

**Tableau (I.1): Nombre de Nusselt le long d'une plaque plane**

Mode de convection	Écoulement laminaire	Écoulement turbulent
Convection libre	$Nu = 0.54. (Gr.Pr)^{1/4}$	$Nu = 0.14. (Gr.Pr)^{1/3}$
Convection forcée	$Nu = 0.67. Re^{1/2}.Pr^{1/3}$	$Nu = 0.036. Re^{4/5}.Pr^{1/3}$

**Tableau (I.2): Modes de convection et types d'écoulement d'après [9].**

Choix de critère	Mode de convection	Écoulement laminaire	Écoulement turbulent
Critère général $Ri = \frac{Gr}{Re^2} < 0.1$ Critère pour 20°C d'air $\frac{L\Delta T}{U^2} < 3$	Convection forcée	$Re < 5.10^4$ $(U.L) < 0.75$	$Re > 5.10^4$ $(U.L) > 0.75$
Critère général $Ri = \frac{Gr}{Re^2} > 16$ Critère pour 20°C d'air $\frac{L\Delta T}{U^2} > 484$	Convection libre	$Gr < 10^8$ $L^3.\Delta T < 0.63$	$Gr > 10^8$ $L^3.\Delta T > 0.63$

### II.1.2. 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'intérieure. 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 de l'air très supérieure à  $0.5 [ms^{-1}]$ . 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 [32].

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 (Day et al 1999) [15].

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. Elle même dépend 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.

### **II.1.3. Aération**

Le processus d'aération influence directement sur le transport d'énergie et de masse entre l'environnement extérieur et l'intérieur. Il s'agit de:

- Dissiper le surplus de chaleur
- Accroître les échanges de dioxyde de carbone et d'oxygène
- Maintenir un niveau d'humidité acceptable

Ainsi, l'aération affecte fortement la distribution du climat qui règne dans la serre. Or une distribution hétérogène des variables microclimatiques dans une serre engendre elle même une hétérogénéité de la production, notamment en termes de qualité. L'efficacité de l'aération joue donc un rôle prépondérant à la production (Bartzanas et al.2004) [7].

### **II.1.4. 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 [32] et [24] ont mis en évidence cet aspect et ont comparé des données

mesurées et simulées. Aussi bien sous ciel dégagé que sous ciel nuageux.

## **II.2. Synthèses des travaux de recherche**

### **II.2.1. travaux expérimentaux**

#### **Dans une serre fermée**

Les forces de flottabilité représentent le principal moteur de la convection naturelle. **Lamrani et al, (2001) [26]** ont réalisé une étude **expérimentale** dans une maquette de serre mono-chapelle fermée à l'échelle  $\frac{1}{2}$ . Ils ont principalement étudié les transferts convectifs et rapportent que:

À faible nombre de Rayleigh et en régime transitoire, l'écoulement présente deux cellules contrarotatives instables. Dans des conditions stationnaires et en régime turbulent, une seule cellule persiste. La couche limite thermique n'excède pas 5 à 6 cm; en revanche les gradients de vitesse s'étendent environ 50 cm à partir des parois (des conclusions similaires sont rapportées par **Haxaire et al (1998)) [23]**.

Le profil vertical de température présente un fort gradient à la surface du sol (60 à 70 [%]) de la différence de température entre le sol et le toit. Les zones situées près du toit, des montants latéraux et du sol, ainsi que les angles où l'écoulement change de direction, présentent un niveau élevé de turbulence.

#### **Dans les serres ouvertes (effet du vent seul)**

De façon générale, dans le cas d'une serre mono-chapelle présentant une seule ligne d'ouvrants sur la toiture parallèle à la direction du vent, les mesures expérimentales des champs de vitesses (**Boulard et al 1997; Haxaire, 1999) [9] et [24]** ont mis en évidence une entrée d'air à travers la partie de l'ouvrant située sous le vent tandis que l'air ressortait à travers la partie de l'ouvrant située au vent. À l'intérieur de la serre, dans cette configuration, l'air suit une trajectoire hélicoïdale (en forme de spirale) après avoir pénétré à travers la partie inférieure de la zone de l'ouvrant situé sous le vent puis ressort ensuite à travers la partie supérieure de la zone de l'ouvrant situé au vent (**Boulard et al, 1999) [10]**.

#### **Dans les serres ouvertes (effet thermique seul, vent faible)**

La flottabilité de l'air permet d'expliquer que l'air venant de l'extérieur entre par le

bas de l'ouverture, descend le long de la paroi, se réchauffe au sol par effet convectif puis remonte le long de la paroi opposée à l'ouvrant pour ressortir en haut de celui-ci. Dans le cas d'une serre à un seul ouvrant situé au niveau du chéneau, **Boulard et al, (1999) [10]** indiquent que la circulation peut s'établir dans un sens ou dans l'autre. Les gradients de vitesse et de température sont beaucoup plus importants le long des parois qu'au centre. Ces mêmes auteurs ajoutent que des petites circulations convectives se développent à l'interface entre le courant entrant et le courant sortant. Ces petits tourbillons révèlent l'existence d'une zone de cisaillement.

### **II.2.2. Travaux numériques**

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 ainsi qu'à des descriptions fines des champs de vitesses et de températures dans et autour de la serre. Ces codes sont basés sur des méthodes numériques de résolution utilisant les volumes finis (**Patankar, 1980) [31]**.

L'approche CFD permet de réaliser des simulations réelles pour une large gamme de conditions géométriques et aux limites qui peuvent aider les ingénieurs et les agriculteurs à améliorer l'architecture et le contrôle des serres **[33]**

**Nara (1979) [29]** était un des premiers chercheurs qui a été effectué des simulations numériques de circulation d'air dans les serres. Il a pris une section transversale bidimensionnel d'une serre mono chapelle avec une différence fixe de températures entre un sol chaud et un toit plus froid, pour simuler l'écoulement d'air. Des simulations de la convection naturelle produites au-dessus du sol ont été effectuées pour des conditions laminaires où les nombres de Rayleigh entre  $10^4$  et  $10^8$ . Il a observé des rotations d'air avec deux vortex. Cependant, dans des conditions aux limites non symétriques de la température au niveau du toit ou du sol, c'est souvent le cas des serre en vraie grandeur, seulement un vortex a été produit.

Une étude a été réalisée en deux dimensions avec le logiciel CFD par **Bartzanas et al (2002) [3]** pour une serre chaude de type tunnel équipée par des filets anti-insecte contre la pénétration de la mouche par les ouvertures latérales. Les résultats de simulation ont indiqué que l'écran a un effet considérable sur le climat de serre chaude; réduction forte de la vitesse d'air à l'intérieur de la serre chaude (particulièrement à l'intérieur du secteur de récolte) et du taux de flux d'air (réduction 50%). Comme conséquence, augmentation significative de la température. Ainsi l'effet des différentes directions du vent a été également étudié. Ils ont observé que la valeur maximum de vitesse d'air à l'intérieur de la serre est près des ouvertures, tandis que la vitesse la plus basse est au milieu de la serre. Ils ont montré que la direction du vent affecte considérablement les conditions climatiques sous serre quand la serre est équipée par des filets anti-insectes.

L'étude, de **H. Fatnassi et al (2006) [19]** semblable à celle de **Bartzanas et al**, a été réalisée en deux dimensions avec le logiciel CFD 2000 pour une serre multi chapelle avec différentes configurations des ouvertures au vent et sous le vent ainsi que l'utilisation de deux types d'écran d'insecte. Ces simulations montrent que la ventilation et le climat d'intérieur de serre chaude peuvent sensiblement être améliorés en orientant les ouvrants de toit au vent mieux que le côté sous le vent. La température et l'élévation d'humidité due au criblage d'insecte peuvent être équilibrées par des arrangements simples du système, tels que l'orientation des ouvrants de toit et l'utilisation additionnelle des ouvertures latérales.

**T. Boulard et al (1999) [10]** ont étudié la distribution de la température et les modèles d'écoulement induisant la ventilation avec un ou deux ouvrants en toiture dans une serre mono chapelle d'échelle  $\frac{1}{2}$ . L'étude a montré, dans des sections transversales, verticales et bidimensionnelles: Des flux d'air caractérisés par une seule boucle convective pour un ou deux ouvrants situés en toit avec le chauffage du sol. Une vitesse importante le long du sol et du toit. Ce modèle d'écoulement est semblable à ceux observés en serres fermées. Ils ont souligné que l'origine du mouvement convectif et du renouvellement d'air dû au gradient de la température sont liés à la taille entière de la serre chaude et non à la taille de la section de l'ouvrant.

Dans le travail de **T.boulard et al (2002) [11]**, la même configuration géométrique a été étudiée avec un chauffage par tube, ont observé des forts gradients verticaux de la température de l'air et d'humidité induits par l'interception du rayonnement solaire par les plantes. Ces gradients diminuent pendant que la serre est refroidie quand les ouvrants sont ouverts. Quand les ouvrants situés dans la toiture et les côtés, les gradients de la température et d'humidité sont plus grands qu'avec seulement des ouvrants du toit, et ils sont toujours négligeables avec de petites plantes.

**P.E. Bournet et al (2007) [12]** ont pris le mode de rayonnement pour évaluer le climat dans une serre en verre multi chapelle ( $h = 4$  [m],  $S = 2500$  [m<sup>2</sup>]). Cette dernière a des configurations plus complexes comportant des combinaisons des ouvertures de côté et de toit. L'analyse se concentre sur l'hétérogénéité des paramètres climatiques à proximité de la plante aussi bien que sur le taux de ventilation. Pour la résolution de ce problème, un modèle équilibré bidimensionnel de CFD a été développé. Il est basé sur la résolution des équations de Navier-Stokes avec la prétention de Boussinesq et avec des codes turbulents basés sur le modèle standard de  $k-\epsilon$ . La serre comportant des ouvertures latérales et en toit mène à un débit maximal. Cette géométrie peut être considérée ainsi comme meilleure conception pour la ventilation. La serre avec les ouvertures symétriques de toit est moins efficace, elle a 25% de taux de ventilation. Néanmoins, elle a comme conséquence une homogénéisation relativement bonne de la distribution de vitesse et de température près de la plante.

**J. Dayan et al (2004) [16]** a établi un modèle simple qui permet le calcul de la ventilation normale. Le modèle est basé sur trois couches d'air stoker verticalement empilées dans la serre. Il facilite le calcul d'une température représentative. Cette dernière est une variable importante et peut s'avérer être un des variables les plus importantes pour décider si les plantes ont besoin d'un chauffage ou d'un refroidissement et/ou d'irrigation.

Une simulation bidimensionnels avec le logiciel CFD a été réalisée par **Murat Kacira et al (2004) [26]** pour étudier les effets de la vitesse du vent, des ventilateurs latéraux et les

nombre des chapelles sur la ventilation normale dans une serre multi-chapelles. Pour la résolution de ce problème, un modèle équilibré bidimensionnel de CFD a été développé. Il est basé sur la résolution des équations de Navier-Stokes avec la pré-tension de Boussinesq et avec des codes turbulents basés sur le modèle standard de  $k-\epsilon$ . Les résultats ont prouvé que la serre comportant des ouvertures latérales et en toit mène au débit maximum. Le rapport entre le secteur de ventilateur de l'ouverture à la surface couverte de serre chaude est avéré petit comparé aux rapports recommandés. Ainsi, ils ont prouvé qu'une réduction significative de taux de ventilation a été déterminée à mesure que le nombre de chapelle augmente. Le taux de ventilation augmente linéairement avec la vitesse de vent externe dans toutes les caisses étudiées. La grande importance des ventilateurs de côté et de toit pour une ventilation efficace a été illustrée.

### **Conclusion**

Les serres sont utilisées en état ouvert ou fermé. Ces derniers limitent ses conditions climatiques. La présence ou l'absence de la plante influe aussi sur les champs dynamiques et thermiques à l'intérieur de la serre. Les tous sont conditionnés par la région terrestre.

Le présent travail de ce mémoire de magistère est une contribution à l'étude dynamique et thermique dans une serre en verre de type Venlo dans les régions des Aurès; les hauts plateaux Est d'Algérie.

## ***Chapitre II***

*Étude Numérique 2-D des Champs*

*Dynamiques et Thermiques dans une Serre*

*Type Venlo*

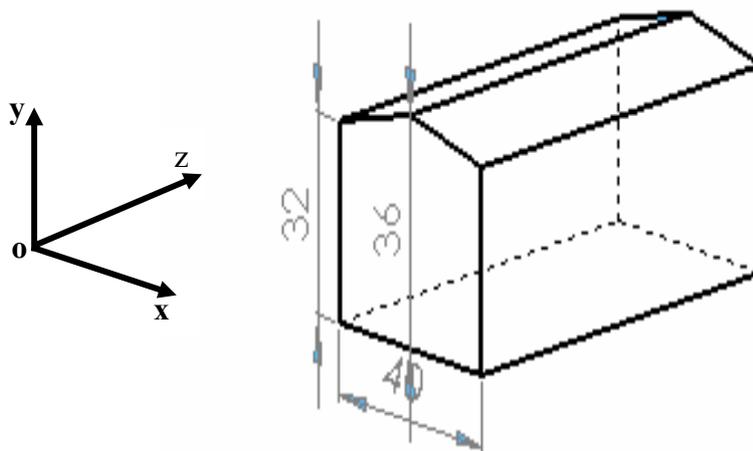
## Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les équations de bilan énergétique qui régissent le phénomène de la convection naturelle en régime turbulent à l'intérieur d'une serre, les hypothèses simplificatrices ainsi 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

## I. Modèle physique

Les mesures ont été effectuées dans une serre de production de  $32 \text{ m}^2$  de surface, située sur un terrain d'expérimentation du département d'agronomie de l'Université de Batna. La région est située, sur les hauts plateaux du Nord-Est algérien à  $6.11^\circ$  de longitude Est et  $35.33^\circ$  de latitude Nord à une altitude de 1040 m. La serre a une forme de serre d'horticulture de longueur  $L_0 = 8 \text{ m}$  et de largeur  $l = 4 \text{ m}$  et 3.2m de hauteur de pied droit et 3.6m la hauteur au faîtage).



*Fig. II.1: Schéma de la maquette de serre et de ses dimensions (cm).*

Ce qui conduit à un volume de  $V = 103.04 \text{ m}^3$ . La couverture de la serre est constituée de verre ordinaire de 5 mm d'épaisseur (**Fig. II.1**).

L'étude sera effectuée dans la section droite de la serre car **T.Boulard (1999) [10]** considère que dans une serre fermée sans couvert végétal, le phénomène de convection en largeur et en hauteur (section droite par rapport à la longueur) l'emporte sur la variation du même phénomène en longueur (**Fig. II.2**).

Le fluide choisi est de l'air supposé comme gaz parfait. Ses propriétés sont présentées dans le **tableau (I.1)**. La couverture de la serre est constituée de verre ordinaire de 5 mm d'épaisseur. Les propriétés spectrales moyennes de ce type de couverture sont retenues à partir des abaques du fabricant (ENAVA Algérie) et sont rapportées sur le **tableau II.1**. Les mesures ont été effectuées à chaque 30 minute pendant 37 heures.

*Tableau II.1: Caractéristiques thermiques de la serre*

	<b>La masse volumique</b> [Kg .m <sup>-3</sup> ]	<b>Viscosité dynamique</b> [Kg .m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	<b>Conductivité thermique</b> [W. m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	<b>Chaleur spécifique</b> [J .Kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	<b>Coefficient de dilatation</b> [K <sup>-1</sup> ]
<b>Air</b>	1.177	$1.85.10^{-5}$	$2.62.10^{-2}$	$1.045.10^{-3}$	$3.30.10^{-3}$
<b>Verre</b>	840	-	0.85	2700	-

Les grandeurs climatiques extérieures (ramenées à une moyenne plus de temps local de 12h-24 h pour le 10/05/2008 et de 24h-19 h pour le 11/05/2008) sont mesurées à une distance de 200 m au Nord de la serre, par la station météorologique 'Aurès-Solar' du laboratoire d'études des systèmes énergétiques industriels (LESEI) de l'université de Batna. Le **tableau (II.2)** résume les valeurs moyennes de ces grandeurs durant l'expérimentation pour les 37 heures de mesures choisies.

Tableau II. 2: Conditions climatiques moyennes extérieurs

Journées Types	T <sub>Ae</sub> [°C]	T <sub>Ai</sub> [°C]	T de sol [°C]	Ue [m/s]
1 <sup>er</sup> jour 10/05/07	4.55 - 22.23	16.75 - 48.5	50 - 17.33	0.957 - 2.415
2 <sup>er</sup> jour 11/05/07	8.54 - 14.47	10.75 - 25.33	25.33 - 12	0.933 - 3.33

## II. Modèle mathématique de l'écoulement en régime Laminaire

### II.1. Equation gouvernantes

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 d'énergie.

L'équation de continuité exprimant la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel et l'équation de quantité de mouvement obtenue à partir de la deuxième loi de la dynamique sont respectivement comme suit:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{II.1})$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho \vec{V}) = \rho \vec{F} - \text{grad}(p) + \mu \Delta(\vec{V}) + \frac{1}{3} \mu \cdot \text{grad}(\text{div}(\vec{V})) \quad (\text{II.2})$$

L'équation de conservation d'énergie exprimant la variation d'énergie totale est la somme de la variation d'énergie due à la conduction, à la production interne de chaleur "q", à la variation d'énergie due à l'effet de compressibilité et à l'énergie de dissipation visqueuse. Soit:

$$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T) = \Delta(\lambda T) + q + \beta T \cdot \frac{Dp}{Dt} + \mu \phi \quad (\text{II.3})$$

### II.2. Approximation de Boussinesq

Dans la convection naturelle, la force motrice est due à la différence de densité du fluide due à aux gradients de températures qui existent. On trouve qu'il existe un couplage entre l'équation de conservation de l'énergie et l'équation de la quantité de mouvement.

L'approximation de Boussinesq consiste à négliger les variations de la masse volumique dans les équations de conservation, sauf son implication comme force motrice dans le terme  $\bar{F}$  de l'équation de conservation de la quantité de mouvement. En prenant un état thermodynamique de référence (masse volumique  $\rho_0$  et température  $T_0$ ), la masse volumique devient, en utilisant le développement de Taylor:

$$\rho = \rho_0 \left( 1 - \frac{T - T_0}{T_0} + \dots \right) \quad (\text{II.4})$$

En se limitant à un développement du premier ordre;

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0)) \quad (\text{II.5})$$

Le terme  $\beta$  de l'équation (II.5) est le coefficient d'expansion volumique isobare du fluide, soit :

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_{P=cst} \quad (\text{II.6})$$

Compte tenu de cette approximation de boussinesq, on peut exprimer ainsi la force volumique ' $\rho F$ '; moteur de la convection naturelle (**Haxaire (1999)**) [24]:

$$F = g\beta(T - T_0) \quad (\text{II.7})$$

On admet que dans les autres termes des équations de conservation (II.2) et (II.3), la masse volumique peut être considérée comme constante (approximation de Boussinesq) (**Gray et Giorgini, 1976**) [21].

### II.3. Hypothèses simplificatrices

Dans le but de résoudre ce système d'équations ci-dessus, on pose certaines hypothèses:

- Milieu continu et isotrope

- Modèle de calcul est bidimensionnel et stationnaire
- l'air est considéré comme un fluide incompressible
- Négligence du mode de transfert due au rayonnement
- Les forces volumiques ne sont dues qu'à l'accélération de la pesanteur
- Les propriétés physiques de l'air sont indépendantes de la température sauf la masse volumique dans les équations de quantité de mouvement
- Les vitesses mises en jeu sont faibles
- La production interne de chaleur est négligeable:  $q=0$ .
- Le flux de dissipation visqueux de la chaleur est négligeable:  $\phi =0$
- Le terme  $\beta T \frac{dp}{dt}$  (puissance d'échauffement par compression) est négligeable en raison des faibles vitesses mises en jeu.
- Le fluide est complètement transparent. Il n'intervient pas dans les échanges radiatifs (pas d'échange par rayonnement au sein du fluide).

**II.4. Système d'équations retenu**

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

Equation de continuité:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{II. 8}$$

Equation de quantité de mouvement suivant x:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{II. 9}$$

Equation de quantité de mouvement suivant y:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta g (T - T_0) \tag{II.10}$$

Equation d'énergie :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.11})$$

Où ' $\nu$ ' est la viscosité cinématique est ' $\alpha$ ';  $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$ , la diffusivité thermique du fluide.

Le système d'équations différentielles constitué de l'équation de continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie, forme le modèle mathématique de l'écoulement laminaire.

### III. Modèle mathématique de l'écoulement en régime turbulent

La turbulence désigne l'état d'un fluide dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire. Les tourbillons dont la taille, la localisation et l'orientation varient constamment. Les écoulements turbulents se caractérisent donc par une apparence très désordonnée, un comportement tridimensionnel non prévisible et l'existence de nombreuses échelles spatiales et temporelles. De tels écoulements apparaissent lorsque la source d'énergie cinétique qui met le fluide en mouvement est relativement intense devant les forces de viscosité que le fluide oppose pour se déplacer. À l'inverse, on appelle 'laminaire', le caractère d'un écoulement régulier (**Compte-Bellot G. et Bailly C. (2003)**) [14]. 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

La modélisation mathématique d'un écoulement turbulent est classiquement menée à l'aide de la résolution des équations différentielles aux dérivées partielles. Ces équations expriment les principes de conservation de masse, de quantité de mouvement dans un volume élémentaire de fluide.

L'équation qui exprime la conservation de masse est donnée comme suit:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{II.12})$$

Les équations de quantité de mouvement moyennées de Navier Stokes, connues sous le nom de RANS quelque fois R.A.N.S.E (Reynolds Average Navier –Stokes Equation) pour un fluide incompressible et newtonien sont données par:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u_j u_i} \right) + g_i \beta (\bar{T} - T_0) \quad (\text{II.13})$$

L'équation d'énergie est donnée par:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \overline{u_j T} \right) \quad (\text{II.14})$$

Où les  $(-\overline{\rho u_j u_i})$  sont les composantes du tenseur des contraintes de Reynolds. Pour les relier à l'écoulement moyen, on a recours au concept de Boussinesq qui permet de les exprimer en fonction des gradients des vitesses moyennes:

$$\overline{u_j u_i} = -\nu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \rho \delta_{ij} k \quad (\text{II.15})$$

' $\nu_t$ ' est la viscosité turbulente. Elle n'est pas une propriété du fluide mais elle dépend de l'écoulement envisagé. ' $\delta_{ij}$ ' est le symbole de Kronecker:  $\delta_{ij} = 1$  si  $i = j$  et  $\delta_{ij} = 0$  si  $i \neq j$ .

Dans l'équation de l'énergie, le concept de diffusivité turbulente ' $\alpha_t$ ' liée à la viscosité turbulente par l'intermédiaire du nombre de Prandtl turbulent ' $Pr_t$ ' est introduit. Ce nombre sans dimension est en général donné par l'expérience.

$$\overline{u_j T} = -\alpha_t \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = -\frac{\nu_t}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \quad (\text{II.16})$$

L'objectif de la modélisation des termes supplémentaires dans le cadre de l'hypothèse de

Boussinesq est d'obtenir une relation entre la viscosité cinématique turbulente et les autres inconnues du problème afin de fermer le système d'équations à résoudre. Le problème se résume alors à la détermination de la viscosité turbulente.

**III.1. Modèle  $k - \varepsilon$**

Le modèle de turbulence le plus utilisé aujourd'hui pour les applications industrielles et pour des calculs d'écoulement et de transfert thermique sont les modèles de viscosité à deux – équations ( $k - \varepsilon$ ).

Le modèle ( $k - \varepsilon$ ) standard est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente 'k' et de sa dissipation 'ε'. L'équation modélisée de l'énergie turbulente est dérivée de l'équation exacte. Celle de la dissipation est obtenue sur la base d'un raisonnement physique.

L'équation de l'énergie cinétique est donnée comme suite:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_t \left( \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \varepsilon \tag{II.17}$$

La viscosité turbulente est obtenue en combinant  $k$  et  $\varepsilon$  comme suit:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{II.18}$$

L'équation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \nu_t \left( \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{II.19}$$

Les constantes usuelles du modèle de turbulence ( $k - \varepsilon$ ) sont données à partir de l'expérience ou de la théorie par:

$$C_\mu = 0.09, \quad C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad \sigma_k = 1, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3.$$

Pour notre application, le modèle de fermeture ( $k-\varepsilon$ ) a été choisi parce qu'il permet de réaliser un bon compromis entre son niveau de sophistication et son efficacité numérique (Jones et Whittle, 1992) [25].

### III.2. Equation générale de transport

L'équation de transport d'une grandeur intensive ' $\Phi$ ' telle ' $V$ ', ' $T$ ', ' $k$ ' et ' $\varepsilon$ ' est d'abord mise sous une forme générale. Cette équation générale de transport s'écrit, en coordonnées cartésiennes pour un écoulement d'un fluide incompressible et bidimensionnel:

$$\underbrace{div(\varepsilon\rho U\Phi)}_I = \underbrace{div(\Gamma_\phi grad\Phi)}_{II} + S_\phi \quad (II.20)$$

Avec ' $\Phi$ ' est une variable générale, (I) est le terme convectif, (II) est le terme diffusif, ' $\Gamma_\phi$ ' est le coefficient de diffusion et ' $S_\phi$ ' est le terme source.

Le **tableau II.3** donne chaque terme de l'équation (II.20) pour les différentes grandeurs calculées dans le cas de la convection naturelle en régime turbulent. Chaque terme du vecteur ' $\phi$ ' permet de décrire respectivement les équations de conservation de:

- L'équation de continuité (II.12);
- L'équation de conservation de la quantité de mouvement moyennée (II.13);
- L'équation de conservation de l'énergie moyennée (II.14);
- L'équation de conservation de l'énergie cinétique turbulente (II.17)
- L'équation de conservation du taux de dissipation de la turbulence (II.19)

### III.3. Les conditions initiales et aux limites

Une fois les équations gouvernantes établies ainsi que la géométrie, les conditions aux limites doivent être adaptées soigneusement et précisément du fait de leur influence directe sur les champs dynamiques et thermiques (**Fig. II.2**).

Tableau II.3: Présentation des différents termes de l'équation de transport considérée

Grandeur transportée	$\Phi$	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
Conservation de masse	1	0	0
Quantité de Mouvement selon $x_i$	$\bar{u}_i$	$\nu$	$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right) + g_i \beta (\bar{T} - T_0)$
Energie	$\bar{T}$	$\frac{\lambda}{\rho c_p}$	$-\frac{\nu_t}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j}$
Energie cinétique turbulente	k	$\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}$	$\nu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon$
Taux de dissipation	$\varepsilon$	$\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}$	$C_1 \nu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$

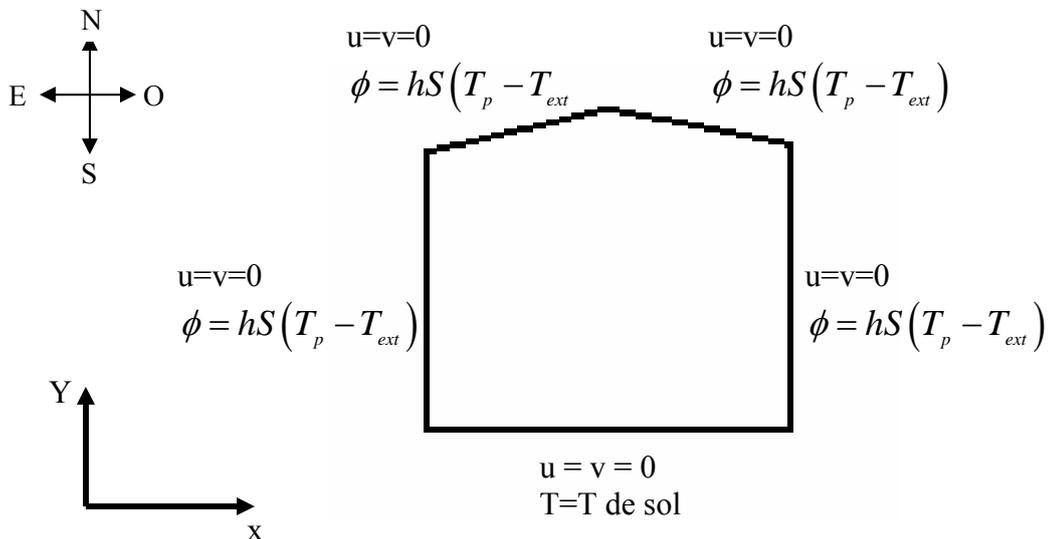


Fig. II.2: Condition aux limites sur les parois d'une serre fermée

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:

- La pression,  $p = p_0$
- La vitesse longitudinale,  $u = 0$
- La vitesse transversale,  $v = 0$
- La température  $T = T_0 = 300 \text{ K}$ .

Pour les conditions aux limites climatiques considérées, la pression n'intervenant que par son gradient dans les équations, nous avons utilisé des conditions aux limites en pression du type  $\text{grad}P=0$  aux limites du domaine de calcul. Ce type de condition aux limites permet de recalculer le champ de vitesse pour satisfaire l'équation de continuité. Dans plusieurs travaux, le coefficient d'échange convectif extérieur 'h' entre la couverture de la serre et l'air extérieur est une fonction linéaire de la vitesse du vent 'Ue', avec des constantes qui varient d'un auteur à un autre. Dans ce travail, nous avons pris l'expression évoquée par [1].

$$h = 2.8 + 1.2U_e \quad (\text{II.21})$$

Les conditions aux limites du problème sont des conditions aux limites de type Dirichlet en température imposée sur le sol. Au niveau de toit et des parois latérales, nous avons imposée un flux convectif avec le coefficient d'échange 'h' calculé selon (Equ. II.21).

Sur l'ensemble du domaine, nous avons imposé aussi des forces de flottabilité (moteur de la convection naturelle) conformément à l'hypothèse de Boussinesq (Equ. II.7). On donne l'accélération de pesanteur  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$  et une température de référence  $T = 300 \text{ K}$ .

**IV. Code de calcul: FLUENT**

Fluent est un code de calcul qui permet de simuler les écoulements des fluides avec et sans les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement avec des mailles structurées et non structurées produites grâce à des géométries complexes avec une facilité relative. Les mailles supportées en 2D sont de types triangulaires ou quadrilatéraux. Elles sont tétraédriques/hexaédriques/pyramidales en 3D ou des mailles (hybrides) mélangées. Le code "Fluent" est écrit en langage, C et utilise pleinement la flexibilité et la puissance offertes par ce langage (allocation de la mémoire dynamique). En plus, il utilise une architecture qui lui permet de s'exécuter en tant que plusieurs processus simultanés sur le même poste de travail ou sur des postes séparés, pour une exécution plus efficace.

"Fluent" s'utilise à travers une interface graphique très simple. L'utilisateur avancé peut adapter ou augmenter aux l'interface en écrivant des macros et des fonctions de menu afin d'automatiser certaines procédures. Ainsi, il a la capacité de modéliser:

- Les écoulements 2D ou 3D.
- Etats permanents ou transitoires
- Ecoulements incompressibles ou compressibles incluant toute vitesse de régimes
- Ecoulements non visqueux, visqueux, laminaires ou turbulents
- Les écoulements dans les milieux poreux

Ce code de calcul utilise la méthode des volumes finis. La discrétisation des équations intégrales qui gouvernent l'écoulement, tels que l'équation de continuité, l'équation de la quantité de mouvement et l'équation d'énergie associées à d'autres scalaires dépendants de la nature de l'écoulement, est faite en se basant sur la technique du volume de contrôle. Elle consiste à:

- La division du domaine en des volumes de contrôle discrets en utilisant un maillage de calcul.
- L'intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels afin de d'établir les équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnues), telles que les vitesses, les pressions, les températures et les scalaires conservés.
- La linéarisation des équations discrétisées et solution du système d'équations linéaires

résultant pour pouvoir adapter les valeurs des variables dépendantes.

#### **IV.1. Choix du schéma de discrétisation**

Le code Fluent nous permet de choisir le schéma de discrétisation pour les termes convectifs de chaque équation gouvernante (le second ordre est automatiquement le plus utilisé pour les termes visqueux). Pour nos simulations, le schéma second ordre upwind a été choisi. Le schéma du premier ordre est facile à converger mais les résultats ne reflètent pas assez la réalité physique. Malgré sa difficulté pour atteindre la convergence, le schéma du second ordre donne de très bons résultats.

#### **IV.2. Initialisation**

Avant de commencer les simulations, nous devons implémenter une estimation initiale de la solution du champ d'écoulement. Le choix adéquat des conditions initiales permet d'atteindre une solution stable et une convergence accélérée.

#### **IV.3. Méthode de la solution**

Les problèmes des écoulements permanents sont souvent résolus par un processus pseudo temporel ou un schéma itératif équivalent puisque les équations sont non linéaires. Un schéma itératif est utilisé pour les résoudre (**Ferziger et Peric, (2002)**). Ces méthodes utilisent une linéarisation successive des équations et les systèmes linéaires résultants sont généralement résolus par des techniques itératives. La méthode suivie pour atteindre la solution doit avoir certaines propriétés qui sont brièvement résumées dans ce qui suit:

- **La consistance:** La discrétisation doit être exacte quand  $\Delta x_i$  (incrémentations dans l'espace) tend vers zéro, l'erreur de troncature est la différence entre l'équation discrétisée et la solution exacte. Pour qu'une méthode soit consistante, l'erreur de troncature doit tendre vers zéro quand le  $\Delta x_i$  tend vers zéro.
- **La stabilité:** La méthode ou le schéma de discrétisation est stable quand il n'amplifie pas les erreurs au cours du processus de la solution numérique.

- **La convergence:** Pour les problèmes non linéaires qui sont fortement influencés par les conditions aux limites, la convergence et la stabilité sont généralement atteints et contrôlés en utilisant de l'expérimentation numérique.
- **La conservation:** Puisque les équations à résoudre obéissent aux lois de conservation, le schéma numérique doit être aussi. Ceci veut dire que les quantités conservées qui quittent un volume fermé doivent être égales aux quantités entrantes dans le cas stationnaire. Cette propriété est très importante puisqu'elle impose une contrainte sur l'erreur de la solution.
- **Bornes à ne pas dépasser:** la solution numérique doit être liée à ses propres limites (bornes), les quantités physiquement non négatives telles que la densité et l'énergie cinétique turbulente doivent toujours être positives. Cette propriété est difficile à garantir surtout quand les mailles sont grossières. Les schémas du premier ordre garantissent parfois cette propriété.
- **Réalisabilité:** Les modèles des phénomènes qui sont très difficiles à traiter directement (par exemple, la turbulence, la combustion, ou l'écoulement biphasique) doivent être désignés pour garantir la réalité physique des solutions. Ce n'est pas une issue numériquement intrinsèque mais les modèles qui ne sont réalisables peuvent avoir comme conséquence des solutions non physiques ou bien causer la divergence pour des méthodes numériques.
- **Exactitude:** Les solutions numériques des problèmes d'écoulement de fluide et du transfert de chaleur sont des solutions approximatives. En plus aux erreurs qui peuvent être introduites au cours du développement de la solution de l'algorithme, en programmant ou en introduisant les conditions aux limites, il ya inclusion de trois types d'erreurs systématiques:
  - 1- Erreurs dues à la modélisation qui sont définies comme étant la différence entre l'écoulement actuel et la solution exacte du modèle mathématique.
  - 2- Erreurs dues à la discrétisation et définis comme étant la différence exacte entre la solution exacte des équations de conservation et la solution exacte du système d'équations algébriques obtenues par discrétisation de ces dernières.
  - 3- Erreurs dues à l'itération définies comme étant la différence entre les solutions itératives et exactes du système d'équations algébriques [18].

**Conclusion**

Le calcul numérique a été mené à l'aide du code de calcul "Fluent". Ce dernier utilise la méthode des volumes finis. Nous présenterons brièvement la méthodologie de résolution du système d'équations décrivant les phénomènes dynamiques et thermiques à l'intérieur de la serre avec ce code 'Fluent'.

## ***Chapitre III***

### ***Méthode Numérique de Résolution***

## **Introduction**

La discrétisation des équations présentées dans le chapitre précédent traduisant l'écoulement monophasique est l'opération de transformer ces équations différentielles en un système d'équations algébriques. La méthode utilisée par "Fluent" est celle des volumes finis.

Dans ce qui suit, on expose le maillage, la discrétisation et la procédure de résolution numérique du modèle mathématique décrivant les phénomènes thermiques et dynamique à l'intérieur de la serre.

### **I. Principe de la méthode des volumes finis**

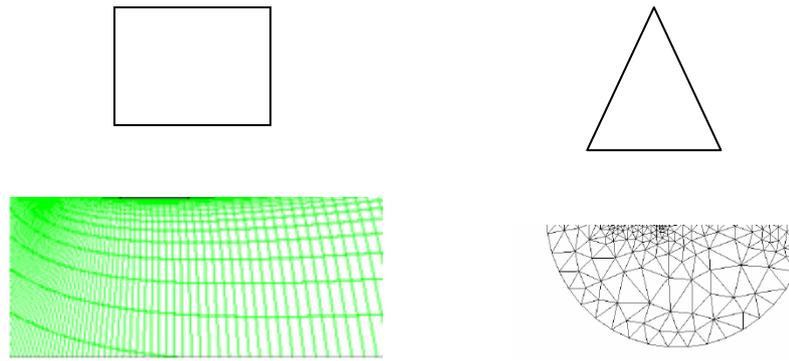
La méthode des volumes finis est caractérisée par son avantage à satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement et de l'énergie dans tous les volumes finis ainsi dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation des termes non linéaires dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple.

La méthode consiste à partager le domaine de calcul en plusieurs volumes où chaque volume entoure un nœud. En utilisant différents schémas d'approximations, on peut intégrer les termes des équations différentielles modélisantes sur chaque volume de contrôle où les valeurs et les quantités sont stockées aux nœuds du volume de contrôle.

Ces équations algébriques produites expriment la conservation des quantités pour le volume de contrôle et pour tout le domaine de calcul.

### **II. Maillage**

"Fluent" traite plusieurs types de maillages très compliqués qui sont en général importés directement d'autres logiciels de génération de maillages ("GAMBIT" [20] par exemple). Pour l'utilisation correcte de "Fluent" et pour connaître le lien entre les nœuds (cellules) ciblées et les nœuds (cellules) ou faces voisines, il est à noter que "Fluent" mentionne (dans ses mécanismes internes) les points avec les indices  $i, j, k, l, \dots$  etc. En plus, il donne des topologies de certaines grilles qu'il accepte de résoudre selon le problème posé.



**Fig. III.1: Différentes grilles topologiques traitées par "Fluent"**

(a) Triangulaire

(b) Quadrilatérale

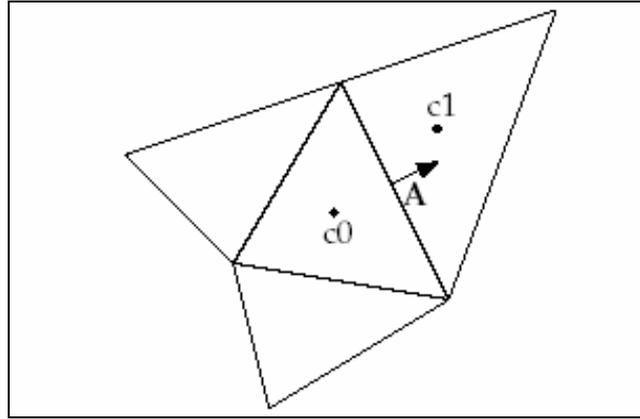
### III. Discrétisation

Le code "Fluent" utilise une technique qui consiste à intégrer les équations différentielles sur chaque volume de contrôle puis de les convertir en équations algébriques. En prenant la (**Fig. III.2**) comme exemple d'un maillage tétraédrique et pour un cas stationnaire du transport d'un scalaire ' $\phi$ ', la discrétisation se fera par rapport aux faces des cellules comme suit:

$$\int \rho \phi U dA = \int \Gamma_{\phi} \nabla \phi dA + \int S_{\phi} dV \quad (\text{III.1})$$

$\Gamma_{\phi}$  : Coefficient de diffusion

L'équation (**Equ. III.1**) exprime que la quantité de ' $\phi$ ' produite par unité de temps à l'intérieure du polyèdre est égale a la quantité de ' $\phi$ ' qui sort nette par unité de temps à travers la surface (les N faces) enveloppant le volume de control 'V', par convection et par diffusion.



**Fig. III.2: Volume de contrôle pour la discrétisation de l'équation de transport d'un scalaire**

Pour chaque volume de contrôle on aura:

$$\sum_f^{N_{faces}} \rho u_f \phi_f A_f = \sum_f^{N_{faces}} \Gamma_\phi (\Delta\phi)_n A_f + S_\phi v \quad (III.2)$$

Les valeurs discrètes du scalaire sont stockées aux centres des cellules. Les valeurs aux faces du terme convectif nécessaires à la résolution de l'équation (III.2) sont interpolées par un schéma amont des valeurs aux centres des cellules.

### III.1 Linéarisation de l'équation discrétisée

La linéarisation de l'équation (III.2) donne:

$$a_p \phi = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (III.3)$$

A l'exception des cellules adjacentes aux limites du domaine, les autres cellules ont un nombre de faces égal au nombre de cellules avoisinantes. Des équations similaires peuvent être écrites pour chaque cellule du maillage. Cela donne des équations algébriques avec une matrice de coefficients dispersés. "Fluent" résout ce système linéaire en utilisant un solveur ponctuel implicite d'équations linéaires (Gauss-Seidel).

**III.2. Sous relaxation**

Pour les équations non linéaires, il est nécessaire de contrôler le changement d'un scalaire ' $\phi$ ' lors de la résolution. La sous relaxation réduit ce changement durant chaque itération. La nouvelle valeur dépend donc de la valeur précédente et de l'écart entre les deux valeurs:

$$\phi = \phi_{old} + \alpha \Delta \phi \tag{III.4}$$

Dans notre cas, les valeurs de sous relaxation sont données dans le **tableau (III.1)**. En cas de problème de divergence du calcul avec le modèle, il est préférable de commencer le calcul avec des facteurs de sous relaxation inférieure à 0.5 (pour toutes les variables) puis les augmenter au fur et mesure que le calcul converge pour accélérer la convergence.

*Tableau (III.1): Valeurs de sous relaxation*

	Pression	Quantité de mouvement	Energie cinétique turbulente k	Taux de dissipation $\epsilon$	Energie	Viscosité Turbulente
Modèle (K- $\epsilon$ )	0.3	0.7	0.8	0.8	0.8	1

**IV. Discrétisation de l'équation de quantité de mouvement**

L'équation différentielle de transport de quantité de mouvement est la suivante:

$$\int \rho \bar{U} \bar{U} d\bar{A} = - \int P I d\bar{A} + \int \bar{\tau} d\bar{A} + \int_v \bar{F} dV \tag{III.5}$$

$-\int P I d\bar{A}$  : Force totale de pression sur les N faces du polyèdre, où:

'I' : Matrice identité, ' $\bar{A}$ ' est le vecteur de surface

$\int \bar{\tau} d\bar{A}$  : Force totale visqueuse sur les N faces du polyèdre

$\bar{\tau}$  : Tenseur de contraintes

$\bar{A}$  : Force totale visqueuse sur les N faces du polyèdre

$\int_v \bar{F} dV$  : Force totale de volume sur le volume du polyèdre, où

$\bar{F}$  : Vecteur de force

D'après l'exemple précédent (III.3), l'équation discrétisée aura la forme:

$$a_{\rho} U = \sum_{nb=1}^{Nfaces} a_{nb} U_{nb} + \sum_{nb=1}^{Nfaces} P_f iA + S \quad (III.6)$$

Où : 'a' et 'a<sub>nb</sub>' sont les coefficients de linéarisation. L'indice 'nb' correspond aux cellules adjacentes.

### Schéma du premier ordre amont

"Fluent" considère pour ce schéma que la valeur stockée au centre d'une cellule est la moyenne de toutes les valeurs de la même cellule. Les valeurs aux faces sont égales à celles des cellules se trouvant à l'amont.

### Schéma du second ordre amont

Il y a lieu d'une reconstruction linéaire multidimensionnelle. C'est-à-dire qu'on effectue un développement en série de Taylor des valeurs aux centres des cellules. La valeur sur la face sera:

$$\phi_f = \phi + \nabla \phi \Delta S \quad (III.7)$$

' $\phi$ ' et ' $\nabla \phi$ ': sont la valeur du scalaire dans la cellule centrale et son gradient.

$\Delta S$  : Vecteur déplacement de la cellule centrale en amont vers la face centrale.

D'après le théorème de divergence:

$$\nabla \phi = \frac{1}{V} \sum_f \phi_f A \quad (III.8)$$

L'équation (**Equ. III.8**) représente une deuxième approche basée sur le calcul d'un gradient à partir d'un bilan sur un volume de contrôle au lieu de faire la somme des dérivées dans toutes les directions.

## V. Interpolation de la pression

Les valeurs de la pression sont stockées aux centres des cellules pour obtenir les valeurs des pressions aux faces nécessaires pour la résolution de l'équation (**Equ. III.6**) "Fluent" propose plusieurs schémas d'interpolation.

### V.1.Schéma standard

L'interpolation s'effectue en utilisant les coefficients de l'équation de quantité de mouvement (**Equ. III.6**). Cette procédure fonctionne bien pour de petites variations de la pression entre les centres des cellules. De forts gradients de pression entre les cellules engendrent une sous/sur estimation de la vitesse sur les faces. C'est le cas d'un écoulement tourbillonnaire à grande vitesse.

### V.2.Schéma du second ordre

C'est le même schéma utilise pour la quantité de mouvement.

### V.3.Schéma PRESTO (option de pression décalée).

Il utilise le bilan de masse dans un volume de contrôle décalé pour la face où est calculée la pression décalée. Ce schéma est inspiré de l'idée de la grille décalée valable avec un maillage structuré proposé par **Patankar** [30].

## VI. Discrétisation de l'équation de continuité

$$\int \rho U dA = 0 \quad (\text{III.9})$$

Sous forme discrétisée;

$$\int_f^{N_{\text{faces}}} J_f A_f = \int_f^{N_{\text{faces}}} \rho U_n A_f = 0 \quad (\text{III.10})$$

$A_f$  : Aire de l'une des faces enveloppant le volume fini

$U_n$  : Composante de vitesse normale à la face

L'équation de continuité sert comme équation pour la pression. On utilise l'un des algorithmes de couplage vitesse pression pour introduire la pression qui n'apparaît pas explicitement dans l'équation (**Equ. III.10**).

## VII. Couplage Vitesse –Pression

Le couplage Vitesse-Pression est traité en résolvant les équations de quantité de mouvement et une équation pour la pression dérivée d'une combinaison de l'équation de continuité et celles de quantité de mouvement. "Fluent" dispose de trois algorithmes de couplage (SIMPLE, SIMPLEC, PISO) dont le premier sera brièvement décrit ci-dessous.

### VII.1. Equation algébrique de pression

Lorsque le champ de pression est connu, le champ de vitesse est obtenu directement par la résolution des équations de quantité de mouvement. Dans le cas où ce champ est inconnu, l'établissement d'une équation de pression est nécessaire.

Dans l'équation de mouvement, le terme représente les composantes de la vitesse ' $U$ ' et ' $V$ ' qui doivent satisfaire l'équation de continuité. Le but est de chercher les champs de pression correcte sur le volume de contrôle.

L'intégration de l'équation générale de transport pour ' $U$ ' et pour ' $V$ ' sur les deux volumes de contrôle spécifiques aux composantes de vitesse donne les équations suivantes:

$$a_e U_e = \sum_i a_i U_i + b_u + A_e (P_p - P_e) \quad (\text{III.11})$$

$$a_n V_n = \sum_j a_j V_j + b_v + A_n (P_p - P_n) \quad (\text{III.12})$$

Avec ' $b_u$ ' et ' $b_v$ ' contient tous les termes de source de l'équation sauf ceux de pression. Le terme ' $A_i (P_p - P_e)$ ' représente les forces de pression et ' $A_i$ ' sont les surfaces.  $i = (e, w, n, s)$ .

L'étape de prédiction consiste à donner un champ de pression " $P^*$ " pour obtenir des valeurs estimées de la vitesse ' $U^*$ ' et de ' $V^*$ ' à partir des équations suivantes:

$$a_e U_e^* = \sum_i a_i U_i^* + b_u + A_e (P_p^* - P_e^*) \quad (\text{III.13})$$

$$a_n U_n^* = \sum_j a_j U_j^* + b_v + A_n (P_p^* - P_N^*) \quad (\text{III.14})$$

En général, les valeurs obtenues des vitesses ne vérifient pas l'équation de continuité. C'est pourquoi on corrige la pression estimée ' $P^*$ ' par ' $P$ ' donnée par:

$$P = P^* + P' \quad (\text{III.15})$$

De même pour les composantes de la vitesse:

$$U = U^* + U' \quad (\text{III.16})$$

$$V = V^* + V' \quad (\text{III.17})$$

Où ' $P$ ', ' $U$ ' et ' $V$ ' sont les corrections de la pression et des vitesses ce qui fait que:

$$U_i = U_i^* + U_i' \quad \text{avec} \quad i=(n,s) \quad (\text{III.18})$$

$$V_i = V_i^* + V_i' \quad \text{avec} \quad i=(n,s) \quad (\text{III.19})$$

Si on retranche les équations des valeurs estimées de celles des valeurs corrigées, on trouve:

$$a_e U_e' = \sum a_i U_i' + A_e (P_p' - P_E') \quad (\text{III.20})$$

$$a_n V_n' = \sum_i a_j V_j' + A_n (P_p' - P_N') \quad (\text{III.21})$$

D'autre part, et pour des raisons numériques, on néglige les termes ' $\sum a_i U_i'$ ' et ' $\sum a_j V_j'$ ' par rapport aux termes de pression. Alors les équations (Equ. III.20), (Equ.III.) deviennent:

$$\begin{aligned} U_e' &= de(P_p' - P_N') \\ V_n' &= dn(P_p' - P_N') \end{aligned} \quad (\text{III.22})$$

Avec:

$$de = \frac{A_e}{a_e}, \quad dn = \frac{A_n}{a_n}$$

Les champs des vitesses seront corrigés par les équations suivantes:

$$\begin{aligned} U_e &= U_e^* + de(P'_P - P'_E) \\ V_n &= V_n^* + dn(P'_P - P'_N) \end{aligned} \quad (\text{III.23})$$

Maintenant, pour trouver la discrétisation de 'P'' (équation de correction de pression), il suffit d'écrire l'équation de continuité comme une équation de correction de pression.

L'équation de continuité discrétisée pour un volume de control s'écrit:

$$(U_e - U_w)\Delta Y + (V_n - V_s)\Delta X = 0 \quad (\text{III.24})$$

L'introduction des expressions (Equ. III.15), (Equ. III.18) et (Equ. III.19) nous donne:

$$a_p P'_P = a_E P'_E + a_W P'_W + a_N P'_N + a_S P'_S + b \quad (\text{III.25})$$

Avec:

$$a_E = de\Delta Y, \quad a_W = dw\Delta Y, \quad a_N = dn\Delta X, \quad a_S = ds\Delta X.$$

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S, \quad \text{et } b = (U_w^* - U_e^*)\Delta Y + (V_s^* - V_n^*)\Delta X$$

Les équations (Equ. III.13), (Equ. III.14) peuvent être écrites sous la forme:

$$\begin{aligned} U_e &= U_e'' + de(P_P - P_E) \\ V_n &= V_n'' + dn(P_P - P_N) \end{aligned} \quad (\text{III.26})$$

Les pseudos vitesses 'U\_e'' et 'V\_n'' sont définies par les expressions suivantes:

$$\begin{aligned}
 U_e'' &= \frac{\sum_i a_i U_i + b_u}{a_e} \\
 V_n'' &= \frac{\sum_j a_j V_j + b_v}{a_n}
 \end{aligned}
 \tag{III.27}$$

L'introduction des équations (Equ. III.27) dans l'équation de continuité discrétisée (Equ. III.24), on obtient une équation de pression semblable à l'équation de correction de pression (Equ. III.25), s'écrit sous la forme:

$$a_p P_p = a_E P_E + a_W P_W + a_N P_N + a_S P_S + b \tag{III.28}$$

Avec:

$$a_E = de\Delta Y, \quad a_W = dw\Delta Y, \quad a_N = dn\Delta X, \quad a_S = ds\Delta X$$

$$\begin{aligned}
 a_p &= a_E + a_W + a_N + a_S \\
 b &= (U_w'' - U_e'')\Delta Y + (V_s'' - V_n'')\Delta X.
 \end{aligned}$$

Dans ce cas, aucun terme n'a été négligé pour aboutir à l'équation algébrique de la pression et la pression n'est pas choisie arbitrairement.

## VII.2. Algorithme SIMPLER

Les étapes de résolution de l'Algorithme **SIMPLER** sont:

1. Estimer un champ de vitesse
2. Calculer les coefficients pour les équations du mouvement et déterminer les pseudo vitesses ' $U''$  et  $V''$ '
3. Calculer les coefficients pour l'équation de pression et obtenir le champ de pression
4. Traiter le champ de pression  $P$  comme champ estimé ' $P^*$ ' et résoudre les équations de mouvement pour obtenir les vitesses ' $U^*$  et  $V^*$ '
5. Calcul les sources  $b$  de l'équation de correction de pression et puis la résoudre pour obtenir les corrections de pression ' $P'$ '

6. Correction des valeurs des vitesses
7. Résoudre les équations discrétisées de 'k-ε'
8. Retourner à l'étape 2 et répéter jusqu'à convergence.

## VIII. Procédure de Résolution

Dans ce qui suit, on présentera les deux logiciels gambit et fluent utilisés dans la résolution numérique.

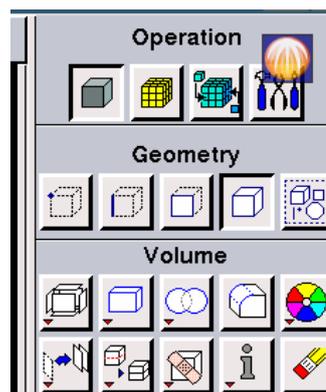
### VIII.1. Logiciel GAMBIT

C'est un logiciel intégré dans les CFD (Computational Fluid Dynamics). Il peut être utilisé pour construire une géométrie et lui générer un maillage. Les options de génération de maillage de gambit offrent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré. Sinon, gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite. Avec les outils de vérification du maillage, les défauts sont facilement détectés.

L'interface de GAMBIT est facile à manipuler. Elle est décomposée en plusieurs parties.

#### 1. Fenêtre d'outils d'opération

Chaque bouton de cette fenêtre correspond à une fonction bien définie (**Fig. III.3**).



*Fig. III.3: Fenêtre d'outils d'opération*

#### 2. Construction de la géométrie

Elle est créée à partir de points, de cotés, de surfaces, de volumes ou d'un groupe de tous ces éléments. On peut effectuer des opérations d'union, d'intersection, de

séparation d'effacement et celles de décomposition.

### 3. Génération de maillage

Cette fonction permet la génération de tous types de maillage.

### 4. Incorporation des conditions aux limites

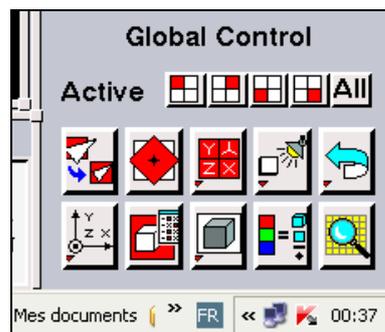
Plusieurs types de conditions aux limites sont disponibles selon le problème traité.

### 5. Boutons d'outils

Ils permettent de spécifier le système de coordonnées par exemple ou d'autres opérations spécifiques.

### 6. Fenêtre de contrôle global

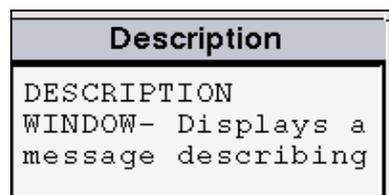
Elle concerne l'orientation, l'affichage et la vérification du maillage (**Fig III.4**).



*Fig.III.4: Fenêtre de contrôle global*

### 7. Fenêtre de description

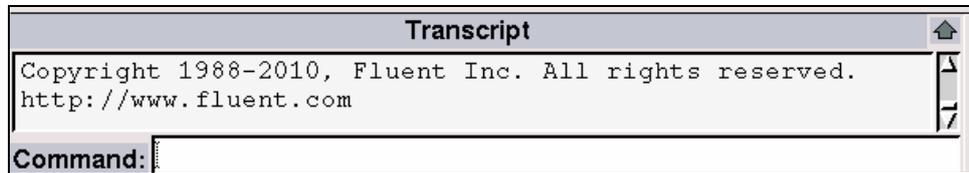
Elle décrit la fonction de l'icône sur laquelle se trouve le curseur de la souris (**Fig.III.5**).



*Fig.III.5: Fenêtre des descriptions*

### 8. Fenêtre de la liste des commandes

Elle contient la liste des commandes antérieures. Si nécessaire, on peut ajouter une commande écrite pour être exécutée (**Fig III.6**).



*Fig. III.6: Fenêtre de la liste des commandes*

## VIII.2. Code FLUENT

Fluent est un programme informatique conçu pour la simulation des écoulements de fluide et du transfert de chaleur dans des géométries complexes. Il présente une grande flexibilité d'adaptation avec n'importe quel type de maillage. Il permet le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites, des dimensions et même des résultats déjà obtenus. Cela est très utile dans les régions à gradients importants (couches limites, couches à cisaillement libre).

### 1. Interface du code fluent

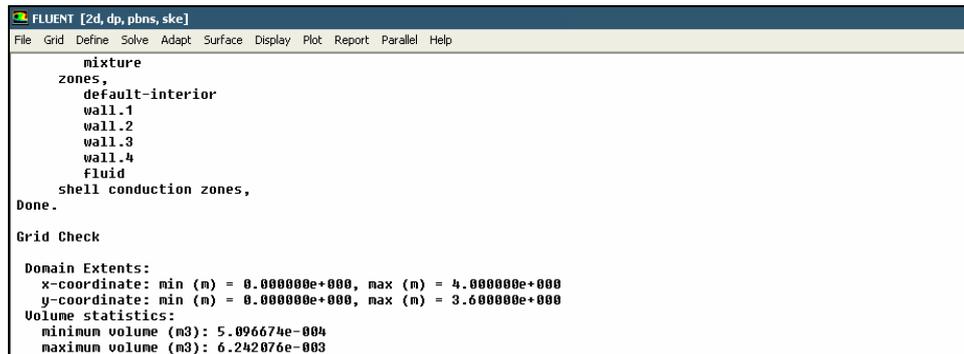
Un fichier de données d'extension ".cas" est créé suite à la lecture du fichier contenant les détails de la géométrie (extension. msh). Après vérification du maillage, on passe au type de solveur. Pour notre cas, c'est un solveur pression avec une formulation implicite pour un cas dimensionnel et un écoulement stationnaire prenant en considération des vitesses absolues.

Les autres étapes du menu "define" sont les choix du fluide (air), des conditions d'opération (introduction de l'effet de la gravité et de la pression de référence) et l'introduction des conditions aux limites.

Le dernier menu utilisé pour entamer le calcul est le menu "solve". On doit choisir les équations à résoudre, les schémas de discrétisation, les facteurs de sous relaxations et les critères de convergence. Le calcul est initialisé d'après les conditions aux limites.

On peut démarrer 4 versions de fluent: 2D, 3D, 2DDP, 3DDP ayant la même interface

(Fig. III.7).



```

FLUENT [2d, dp, pbms, ske]
File Grid Define Solve Adapt Surface Display Plot Report Parallel Help
mixture
zones,
default-interior
wall.1
wall.2
wall.3
wall.4
fluid
shell conduction zones,
Done.

Grid Check

Domain Extents:
x-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 4.000000e+000
y-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 3.600000e+000
Volume statistics:
minimum volume (m3): 5.096674e-004
maximum volume (m3): 6.242076e-003

```

Fig. III.7: Interface du code fluent

Les fonctions disponibles pour la procédure numérique sont:

**File:** pour les opérations concernant les fichiers: lecture, sauvegarde et importation.

**Grid:** pour la vérification et la manipulation du maillage et de la géométrie.

**Define:** pour définir les phénomènes physiques, les matériaux et les conditions aux limites

**Solve:** pour choisir les équations à résoudre, les schémas de discrétisation, les facteurs de sous relaxation, les critères de convergence et pour initialiser et procéder au calcul

**Adapt:** pour l'adaptation du maillage selon plusieurs paramètres

**Surface:** pour créer des points des lignes et des plans nécessaires à l'affichage des résultats.

**Display et plot:** pour l'exploitation des résultats.

**Report:** pour afficher des rapports contenant les détails du problème traité.

**Help:** pour l'exploitation du contenu du code.

## 2. Etapes d'exécution

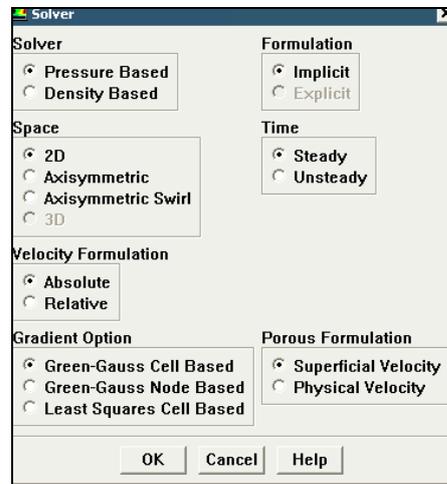
### Etape 1

Un fichier de données d'extension ".cas" est créé suite à la lecture du fichier contenant les détails de la géométrie d'extension ".msh"). Après vérification du maillage, on passe au type de solveur.

### Etape 2

Menu "define": nous donne "Define, Models et solver..."

Pour notre cas, c'est un solveur découplé avec une formulation implicite pour un cas axisymétrique, un écoulement stationnaire et une vitesse absolue. Pour valider, on clique sur OK (**Fig. III. 8**)

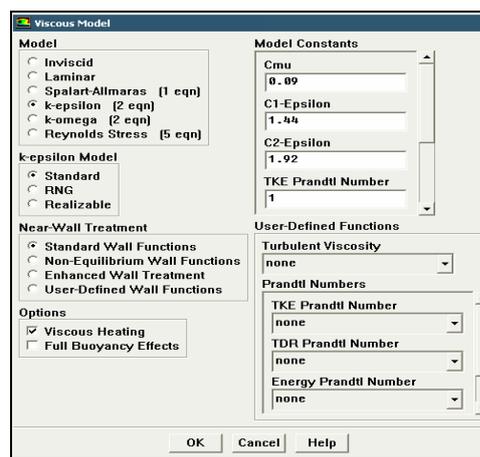


*Fig. III.8: Interface solver*

### Etape 3

Menu "Define" nous donne: Models et Viscous..

Le choix été fait sur le modèle k- $\epsilon$  standard (**Fig.III.9**).



*Fig. III.9: Interface viscous*

### Etape 4

Menu "Define" nous donne: Models et Energie.

Il s'agit de l'introduction de l'équation d'énergie (**Fig. III. 10**).

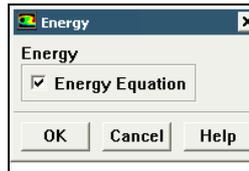


Fig. III. 10: Interface énergie

## Etape 5

### Menu "Define": Matériel

C'est le choix de fluide utilisé avec l'introduction de données concernant les propriétés physiques. Il faut cliquer sur le bouton "**change/creat**" avant de quitter (Fig. III.11)

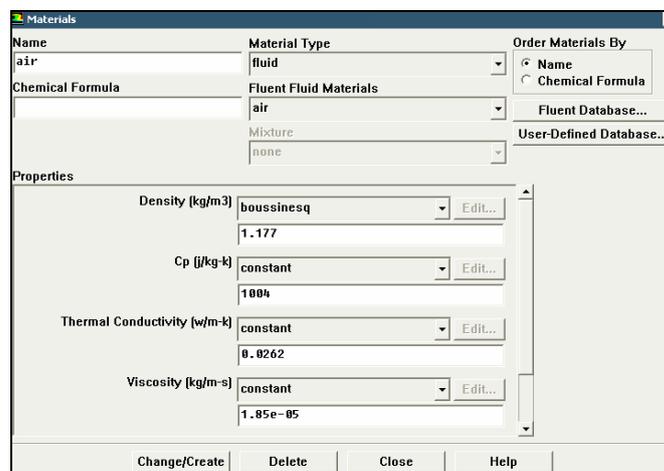


Fig. III.11: Interface Matériel

## Etape 6

### Menu "Define": Boundary Condition

Après avoir sélectionné chaque fois la frontière concernée et faire rétablir les conditions aux limites de cette dernière, valider (Fig. III.12).

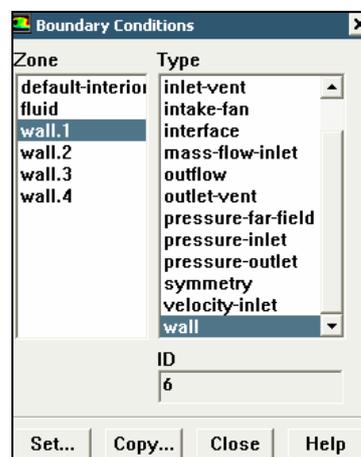


Fig. III.12: Interface Boundary Condition

**Etape 7**

**Menu "solve". nous donne: solution control**

On doit choisir les équations à résoudre, les schémas de discrétisation, les facteurs de sous relaxations et les critères de convergence. Le calcul est initialisé d'après les conditions aux limites (Fig. III.13).

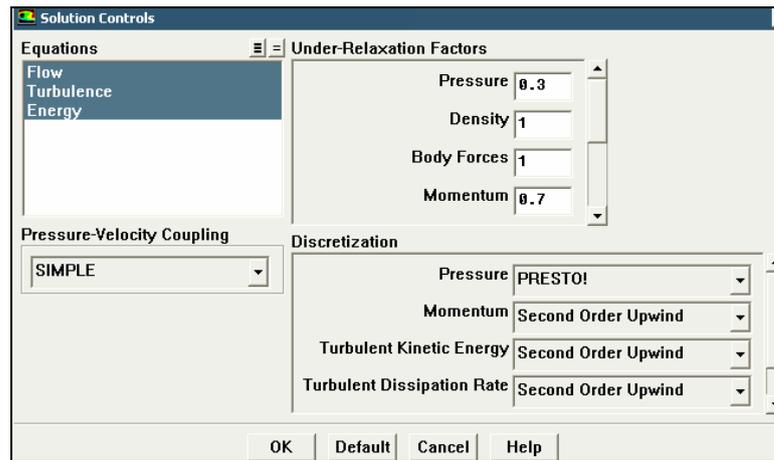
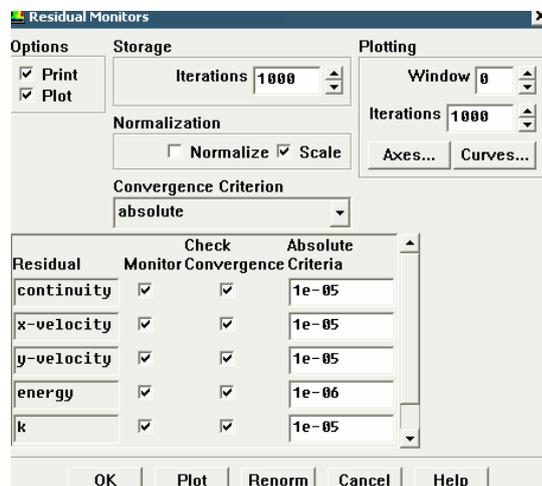


Fig. III.13: Interface solution control

**Etape 8**

**Menu "Solve": Residual Monitors**

Faire activer l'option plot dans la fenêtre "residual". Lancer des itérations jusqu'à la convergence. Enregistrer les résultats pour entamer ensuite la phase sortie graphique (Fig. III.14).



*Fig. III.14: Interface Residual Monitors*

## *Chapitre IV*

*Champs Dynamiques et Thermiques :*

*Résultats et Interprétations*

## **Introduction**

Après la modélisation numérique et le choix du maillage, on va procéder dans ce chapitre à l'étude numérique. L'étude se focalise sur la variation des champs thermique et dynamiques à l'intérieur de la serre en fonction du temps. L'étude de simulation a été établie pour le cas d'un écoulement turbulent de l'air intérieur d'une serre en verre de type VENLO non chauffée fermée et sans couvert végétal. L'analyse des champs de température et de vitesse de l'air intérieur de la serre est réalisée pour trente sept heures successifs.

Le code utilisé pour cette étude de simulation est le logiciel FLUENT 6.3 qui utilise comme méthode de résolution de base, la méthode des volumes finis. La comparaison et la validation des résultats de l'écoulement de l'air ont été faite de deux manières. En premier lieu, avec des travaux trouvés dans la littérature. En deuxième lieu, une validation des résultats obtenus par l'étude de simulation sont comparées à ceux eu du département d'Agronomie de l'université de Batna.

### **I. Maillage de la serre**

Afin d'utiliser Fluent comme outil informatique pour la résolution d'un système d'équations différentielle couplées en température, vitesse et pression, la définition de la géométrie est nécessaire. La génération du maillage a été réalisée à l'aide de "GAMBIT" avec des mailles de forme quadrilatérale. Un raffinement des zones au voisinage des parois a été pris en compte pour mieux capter les différents phénomènes qui peuvent intervenir dans ces zones notamment les gradients de vitesse (**Fig. IV.1**).

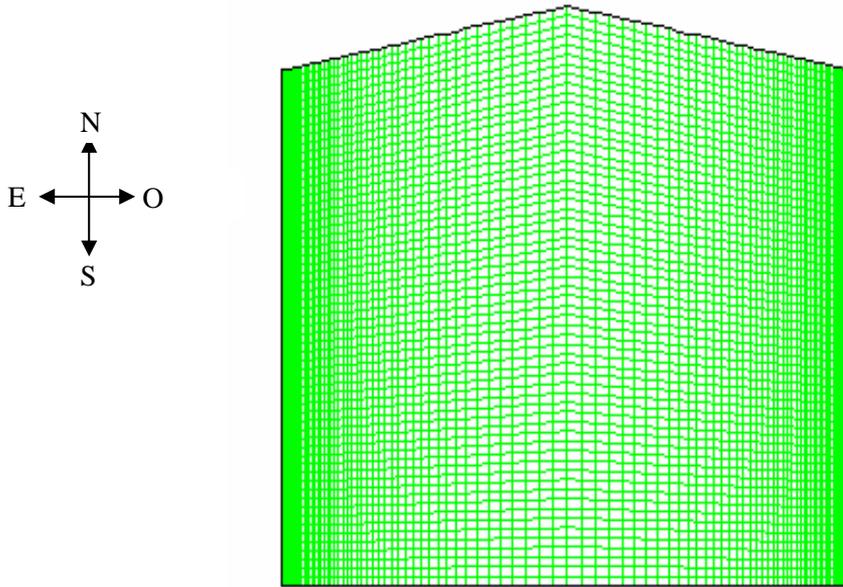
### **II. Comportement thermique de la serre**

Le Comportement thermique de la serre est distingué par la variation des températures de l'air intérieur aux différents niveaux de la serre. Les figures (**Fig. IV.2 - Fig. IV.5**) présentent les champs de température et leurs profils à des pas de temps différents.

#### **II.1. Champs de température**

La visualisation et l'analyse des champs de température de l'air intérieur de la serre de type Venlo fermée en verre non chauffée et sans couvert végétale, est réalisée dans des

pas de temps de trois heures durant trente sept heures successives.



*Fig.IV.1: Maillage quadratique de la serre (GAMBIT)*

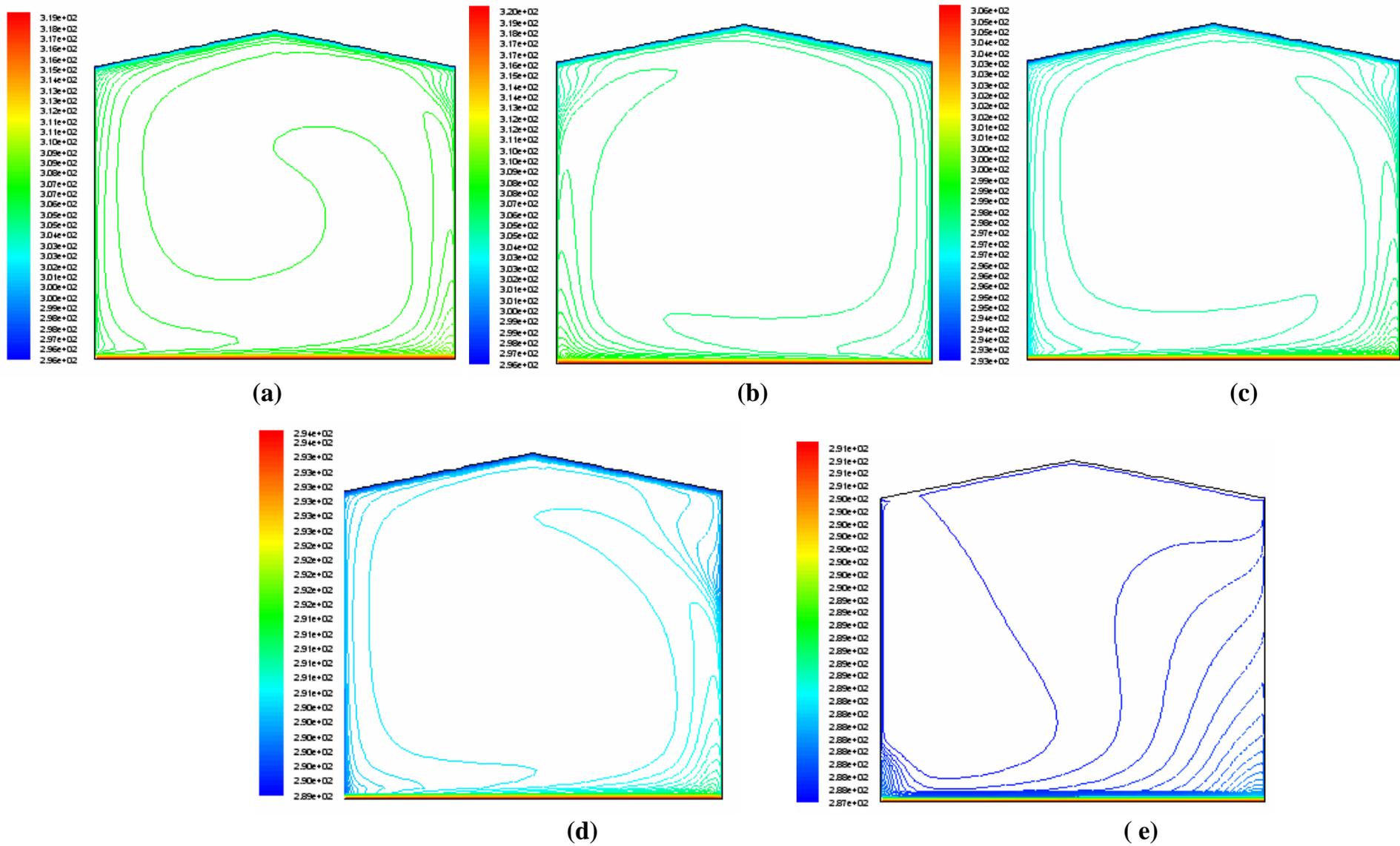
Les champs des (**Fig. IV.2 et IV.3**) visualisent le comportement thermique de l'air intérieur de la serre pendant les trente sept heures successives.

Sous l'effet de la convection naturelle due à la variation de la densité de l'air, nous remarquons que les températures au centre de la serre sont constantes.

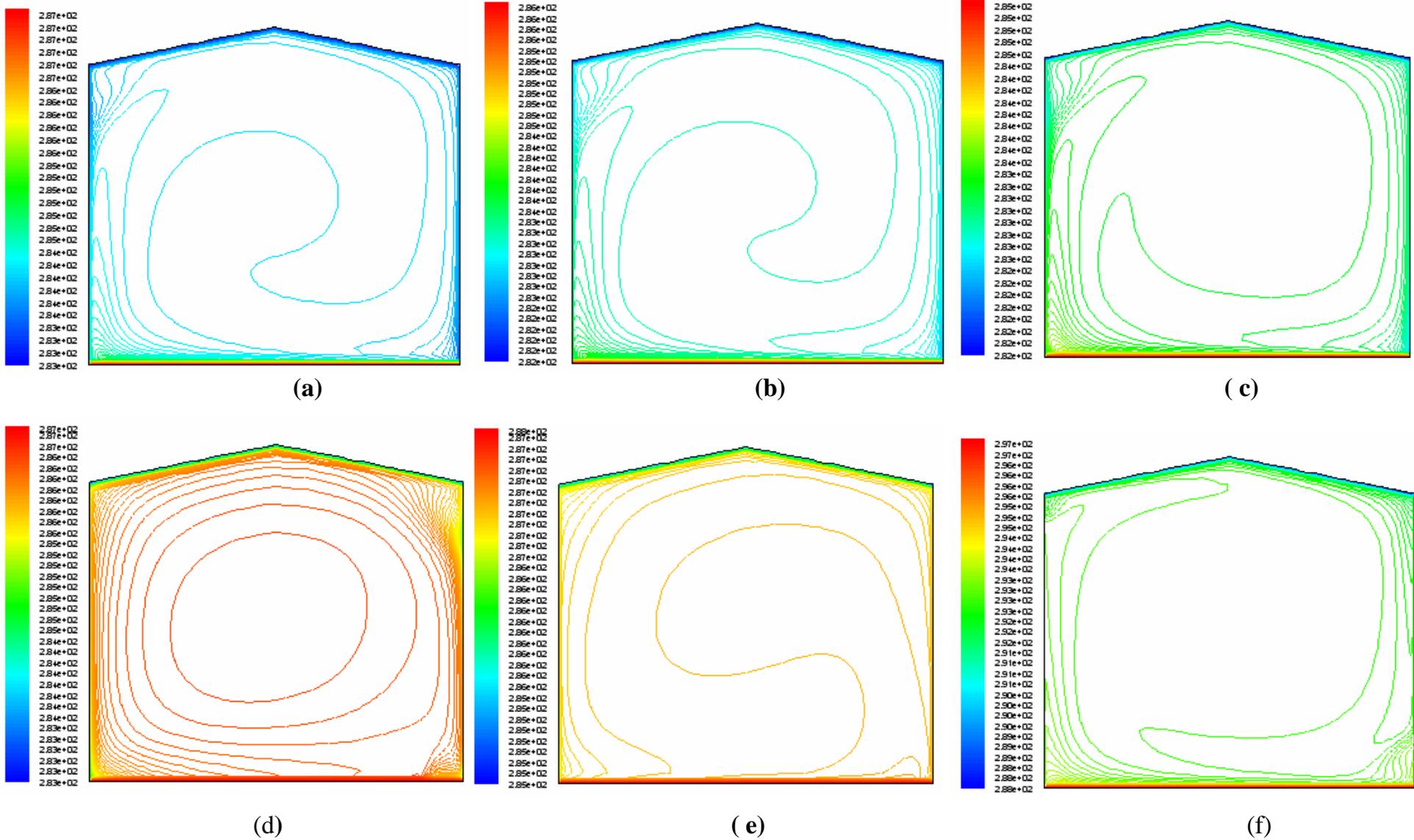
**Pendant la journée claire**, l'écart de température est de l'ordre de 23K à midi et de l'ordre de 13K pendant l'après midi (18h). Nous remarquons que pour la période nocturne (21h et 00h), l'écart de température est négligeable (de l'ordre de 3K).

**Pour une journée ventée en présence d'averses**, l'écart est de l'ordre de 3K pendant la nuit qui suit et de l'ordre de 5K à midi. A 17h, l'écart s'élève à 9K.

Les températures les plus élevées se concentrent au voisinage des parois latérales de la couverture de la serre et même que le toit et le sol. Seulement la couche d'air en contact juste avec le toit est portée à une température moins pendant toute la période étudiée (37 h). Par contre, la couche d'air en contact du sol est à une température la plus élevée dans toute la serre en tous temps du jour et quelque soit le climat du jour; clair ou venté. Le mouvement de l'air est toujours dirigé vers le haut suivant la nature du phénomène de la convection naturelle.



**Fig. IV.2: Variation de Champ de température d'air**  
 (a):  $t = 12h$ , (b):  $t = 15h$ , (c):  $t = 18h$ , (d):  $t = 21h$  et (e):  $t = 00h$



**Fig. IV.3: Variation de Champ de température d'air**  
 (a):  $t = 02 h$ , (b):  $t = 05 h$ , (c):  $t = 08 h$ , (d):  $t = 11h$ , (e)  $=14h$  et (f):  $t = 17 h$

Le processus auprès de toutes les parois est isotherme sauf au niveau du sol et du toit où un gradient de température est distingué dans tous les cas. Les quantités d'air situées à proximité de la paroi de descente d'air sont plus froides que celles situées au voisinage de la paroi d'ascension d'air.

A minuit, la couche d'air juste au contact du toit et des parois latérales est à des températures semblables (**Fig. IV.3, a**).

L'échauffement de l'intérieur de la serre est dû au flux solaire d'intensité croissante. Ce dernier est absorbé par les parois de la serre. Le refroidissement est dû à l'évaporation de la couche liquide, formé par condensation antérieure pendant la nuit. Et à la déclinaison du soleil.

Dans tous les champs de température, l'air au milieu de la serre présente une homogénéité dans les valeurs de la température par rapport à celui près des parois. Des isothermes circulaires sont remarqués tout le long des parois de la serre seulement vers midi d'un jour venté où le gradient de température est de l'ordre de 4K entre sol et toit.

Les champs de température à 18 h pendant le jour clair et durant le jour venté présentent les mêmes allures. La différence est dans l'écart de température entre le sol et le toit. Elle est de 13 K et de 9K respectivement. Seulement que le sens des isothermes est inverse à cause des conditions climatiques extérieures à la serre.

Pendant la journée ventée, le champ de température à cette même heure; 17h est semblable à celui de 8h à cause d'un nuage parvenu de 10h à 14h, l'écart de température est logique de valeur 3K et 9K respectivement.

Les isothermes des journées claires forment des sens liés à l'inclinaison du soleil. Même sens que les aiguilles d'une montre sous l'effet du flux solaire. En son absence, le sens change de direction (sens inverse des aiguilles d'une montre).

## **II.2. Profils de la température**

Afin d'analyser les variations de températures d'air à l'intérieur de la serre et aux près des parois Est et Ouest de la serre et pour une étude plus explicite, nous présentons dans ce qui suit des profils horizontaux de températures à mi-hauteur ( $y=1.8$  m) et des profils verticaux de températures au centre de la serre à ( $x=2$ m) afin d'analyser le comportement de l'air auprès du sol et auprès du toit.

### **II.2.1. Profils horizontaux de la température**

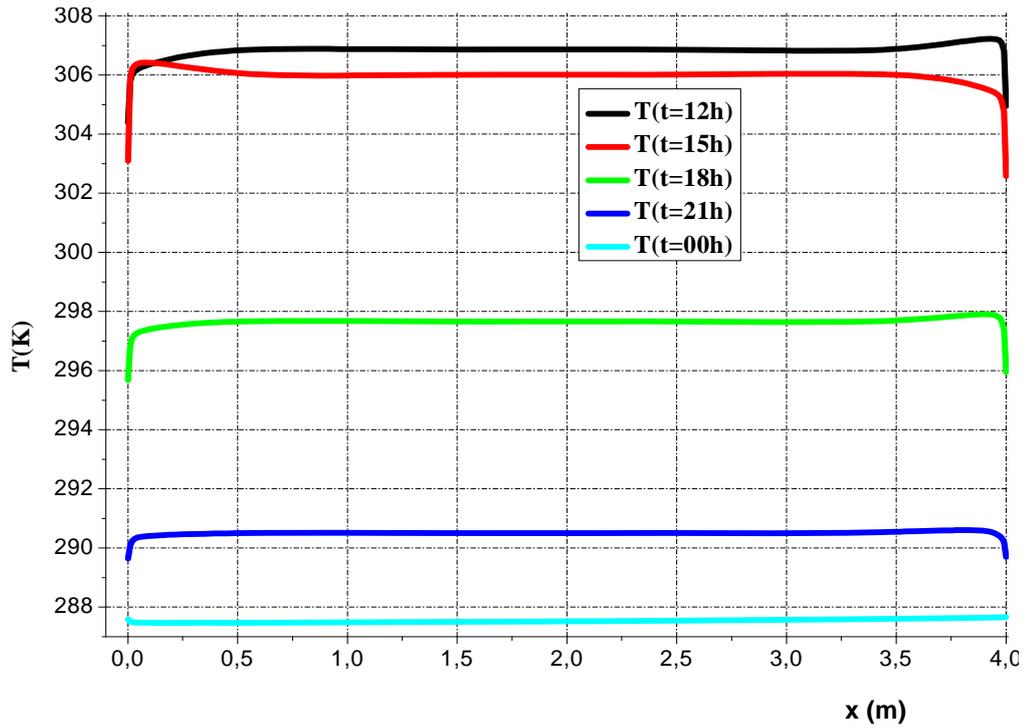
Nous présentons dans ce qui suit, un profil horizontal de la température d'air intérieur de la serre à une distance au dessus du sol de  $y=1.8\text{m}$ . (**Fig. IV.4**). Nous observons que la température d'air est plus élevée près de la paroi d'ascension d'air. En revanche, elle diminue près de la paroi de descente d'air. La température moyenne à l'intérieur de la serre est constante en lieu et variable dans le temps (**Fig.VI.4.a**) de midi à minuit; 307K et 287K respectivement. Par contre, la température moyenne d'air intérieur de la serre passe de 287 K et 293 K pendant la journée ventée et durant la même période (de midi à minuit) (**Fig. IV.4.b**). Cela est dû à la réapparition du soleil une autre fois à 13h. C'est à 11h qu'est sa disparition. Il est à noter que la température maximale à l'intérieur de la serre est enregistrée à midi pendant le jour clair. Elle l'est à vers 17h pendant le jour ventée.

Des gradients de température sont lisibles aux près des parois Est ou Ouest. Trois cas se présentent suivant l'inclinaison du soleil. Une élévation de température plus importante au près de la paroi Ouest à midi du jour clair que celle du côté Est à 17h du jour venté.

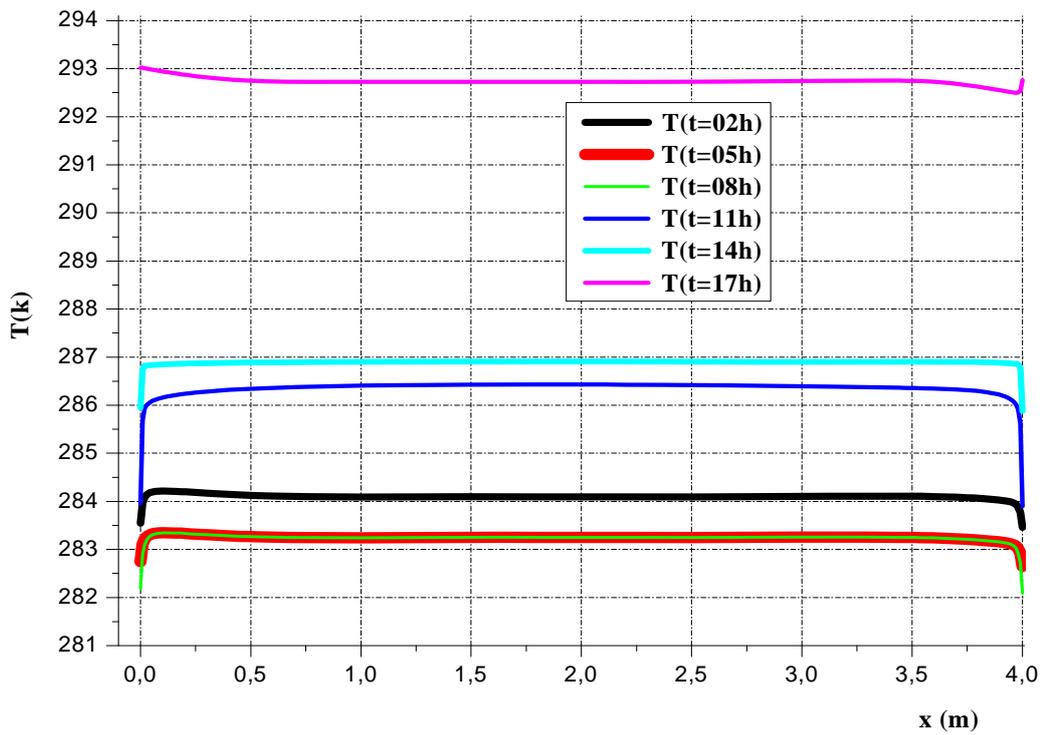
Aux mêmes horaires, un deuxième cas est remarqué. C'est le comportement de la paroi en face. Une diminution de la valeur de la température d'air près de la paroi Est du jour clair et celle près de la paroi Ouest de la journée ventée. Vers minuit, pas de gradient de température ni du côté Est ou Ouest de la serre. La température d'air en tous points est constante.

### **II.2.2. Profils verticaux de la température**

Le comportement thermique de l'air du sol au toit de la serre est comme suit. Les profils verticaux de la température au centre de la serre; ( $x=2\text{m}$ ) se distinguent par une baisse plus importante de la température d'air au près du sol. La température d'air intérieur de la serre reste exactement constante du bas en haut. Pas de variation de la température en altitude de la serre. En ce qui concerne le comportement de l'air près du

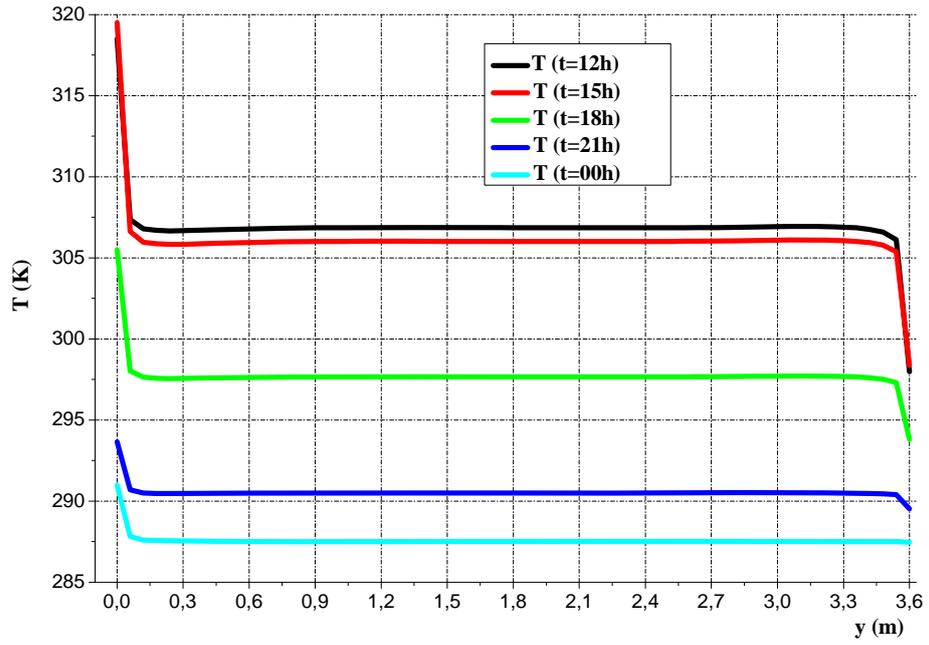


(a)

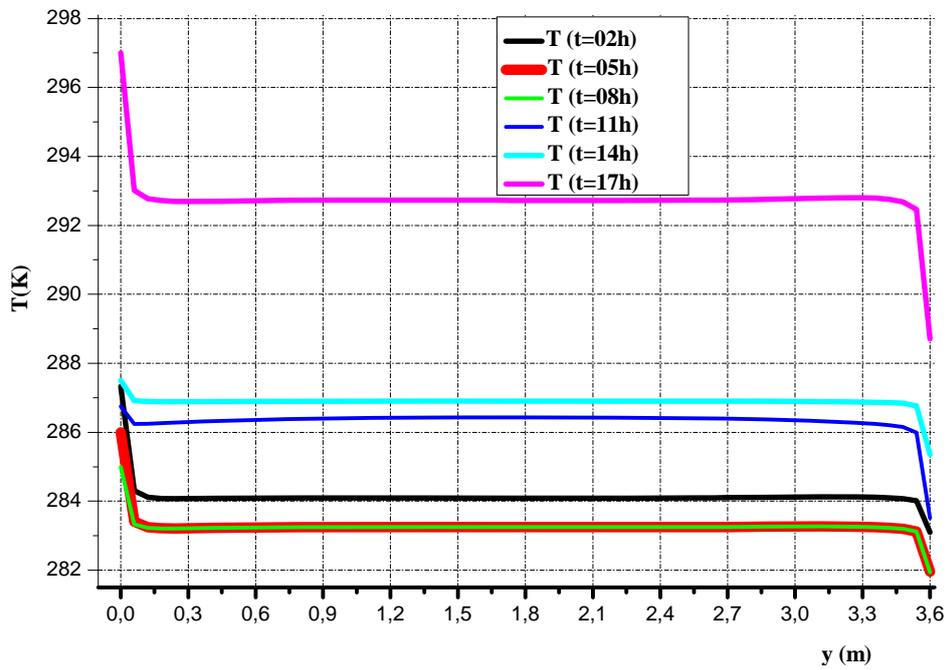


(b)

Fig IV.4: Profil horizontal de la température d'air intérieur de la serre à mi hauteur (1.8m).  
(a) : 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour



(a)



(b)

Fig. IV.5: Profil vertical de la température d'air intérieur de la serre ( $x=2m$ )  
 (a) : 1<sup>er</sup> jour, (b): 2<sup>ème</sup> jour

toit, une autre baisse mais moins importante que celle près du sol est remarqué. La température au voisinage de la surface du sol est plus élevée par rapport à la surface du toit (**Fig. IV.5 (a, b)**). Les gradients de températures les plus importants sont à midi du jour clair et à 17h du jour venté.

### **III. Comportement dynamique de la serre**

#### **III.1. Champ de la vitesse**

La variation des composantes de la vitesse selon l'axe des x et selon l'axe des y est donnée dans les (**Fig. IV.6**) et (**Fig. IV.9**). On remarque l'existence de deux cellules et cela est du principalement à la valeur du facteur de forme; d'ordre d'unité ( $L/H = 1$ ).

La disposition des deux cellules se diffère suivant que les vitesses sont verticales ou horizontales. Elles sont superposées ou juxtaposées respectivement selon les cas cités. C'est auprès du toit ou du sol que la vitesse horizontale de l'air intérieur de la serre prend des valeurs plus élevées (**Fig. IV.6**) et (**Fig. IV.7**). Par contre dans les champs de vitesses verticale, c'est au près des parois Est ou Ouest qu'une augmentation dans les valeurs de la vitesse de l'air intérieur de la serre est remarquée (**Fig. IV.8**) et (**Fig. IV.9**).

Le phénomène de convection naturel est lié à l'état thermique de l'air intérieur de la serre.

##### **III.1.1. Champ de la vitesse horizontale**

La localisation des vitesses importantes près du sol ou du toit n'est pas liée à la période du jour, le matin ou le soir. Elle est étroitement en relation avec la valeur de la température extérieure de l'air, à la température de l'air interne de la serre ainsi qu'à la valeur de la température du sol.

Cela est très lisible dans la localisation des vitesses horizontale importantes vers minuit. Avant minuit, sa localisation est près du sol. Le gradient de température entre l'air extérieur/air intérieur est moins important que celui de l'air intérieur/sol. Après

minuit, la localisation du champ de vitesses horizontale est près du toit. La température de l'air extérieur est l'air intérieur de la serre présentent le plus grand gradient.

La localisation des vitesses horizontales importantes près du toit est liée à la valeur de la température de l'air extérieur et à la valeur de la température de l'air intérieur de la serre. Leurs localisations auprès du toit à 15 h d'un jour clair s'explique par l'existence d'un gradient de température entre l'air extérieur/air intérieur plus important que le gradient l'air intérieur/ sol. La valeur maximale de ces vitesses horizontale sont presque du même ordre de  $1.10^{-1}$  à  $3 10^{-1}$  m/s.

**Pendant la journée claire**, à l'après midi, la vitesse de l'air près du toit est plus importante que les dans les autres régions. De 18h à 00h, c'est le sol stockant de l'énergie reçu pendant le jour qui est à la cause.

**Pendant la journée ventée**, le champ présentant la vitesse horizontale montre que la vitesse de l'air près du toit est plus importante de 00h à 11h et à 17h. Malgré l'apparition du soleil à 13h, les vitesses horizontales les plus élevées sont près du sol vers 14h. cela s'explique par le gradient de température plus important entre l'air intérieur/ sol.

### **III.1.2. Champ des vitesses verticales;**

La localisation des vitesses verticales importantes est limitée par les valeurs les plus grand gradient températures des parois Est et Ouest et à la valeur de la température d'air intérieur de la serre.

Après minuit et pendant la matinée d'une journée ventée, les plus grandes vitesses verticales sont près du coté Est de la serre.

Les champs des vitesses verticales à 12 h et à 15 h de la journée claire sont les mêmes que ceux de 14h et de 17 h de la journée ventée (**Fig. IV. 8, (a) et (b), Fig. IV. 9 (e) et (f)**). Cela explique l'effet maximal du rayonnement solaire.

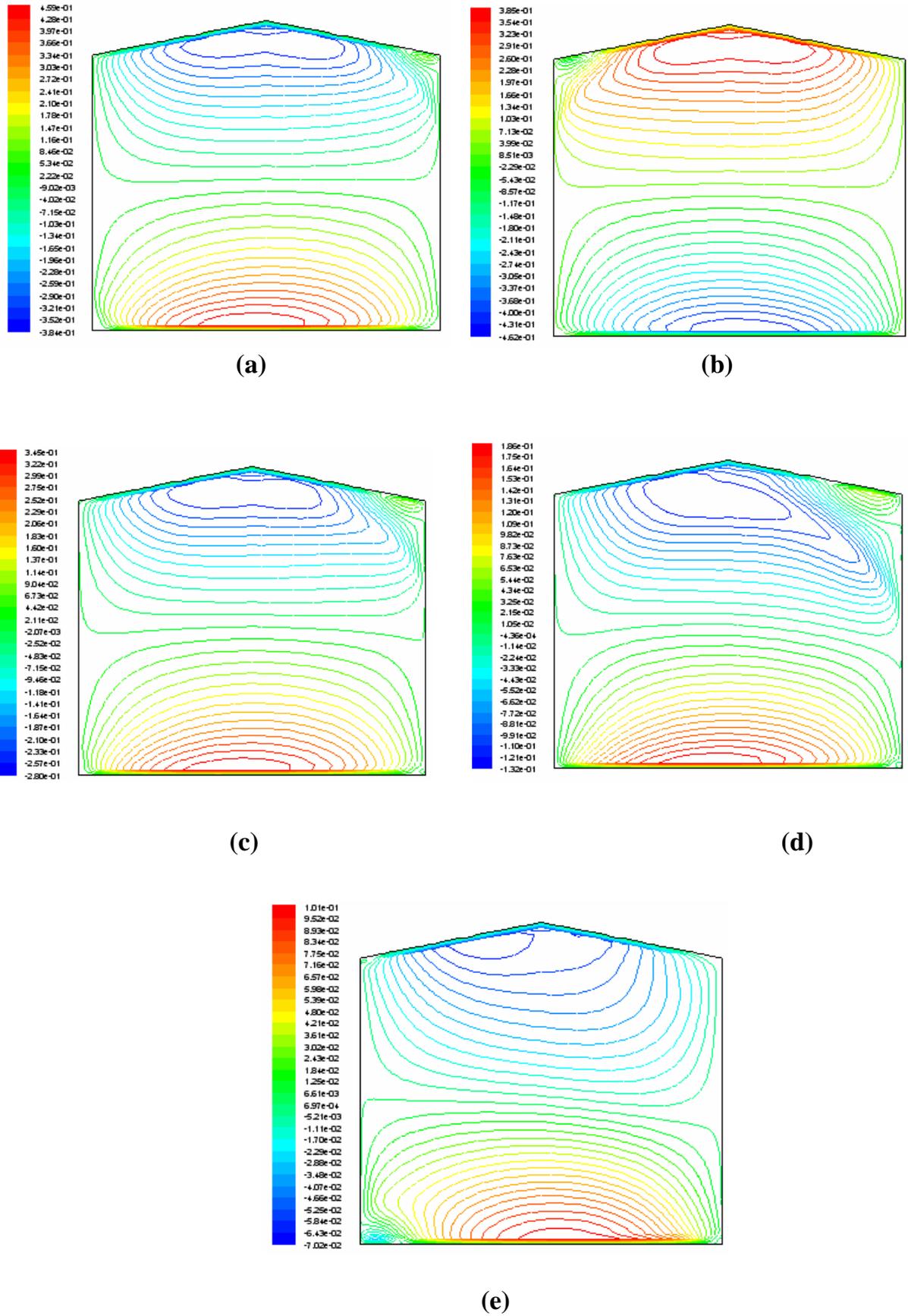


Fig. IV. 6: Champ de la vitesse horizontale d'air intérieur de la serre  
 (a):  $t=12h$ , (b):  $t=15h$ , (c):  $t=18h$ , (d):  $t=21h$  et (e):  $t=00h$

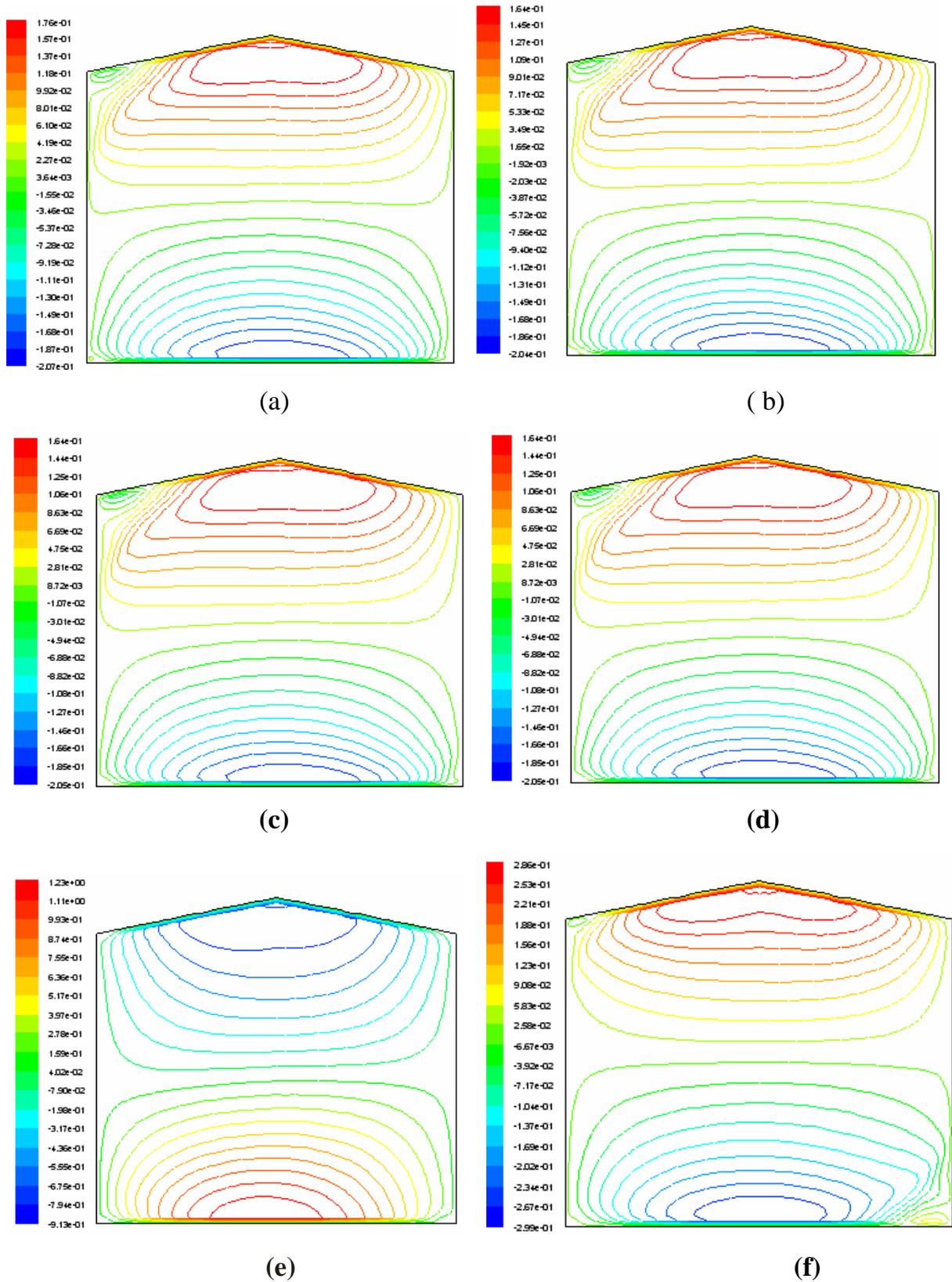


Fig. VI. 7: Champ de la vitesse horizontale d'air intérieur de la serre  
 (a):  $t = 02\text{ h}$ , (b):  $t = 05\text{ h}$ , (c):  $t = 08\text{ h}$ , (d):  $t = 11\text{ h}$ , (e)  $= 14\text{ h}$ , et (f):  $t = 17\text{ h}$

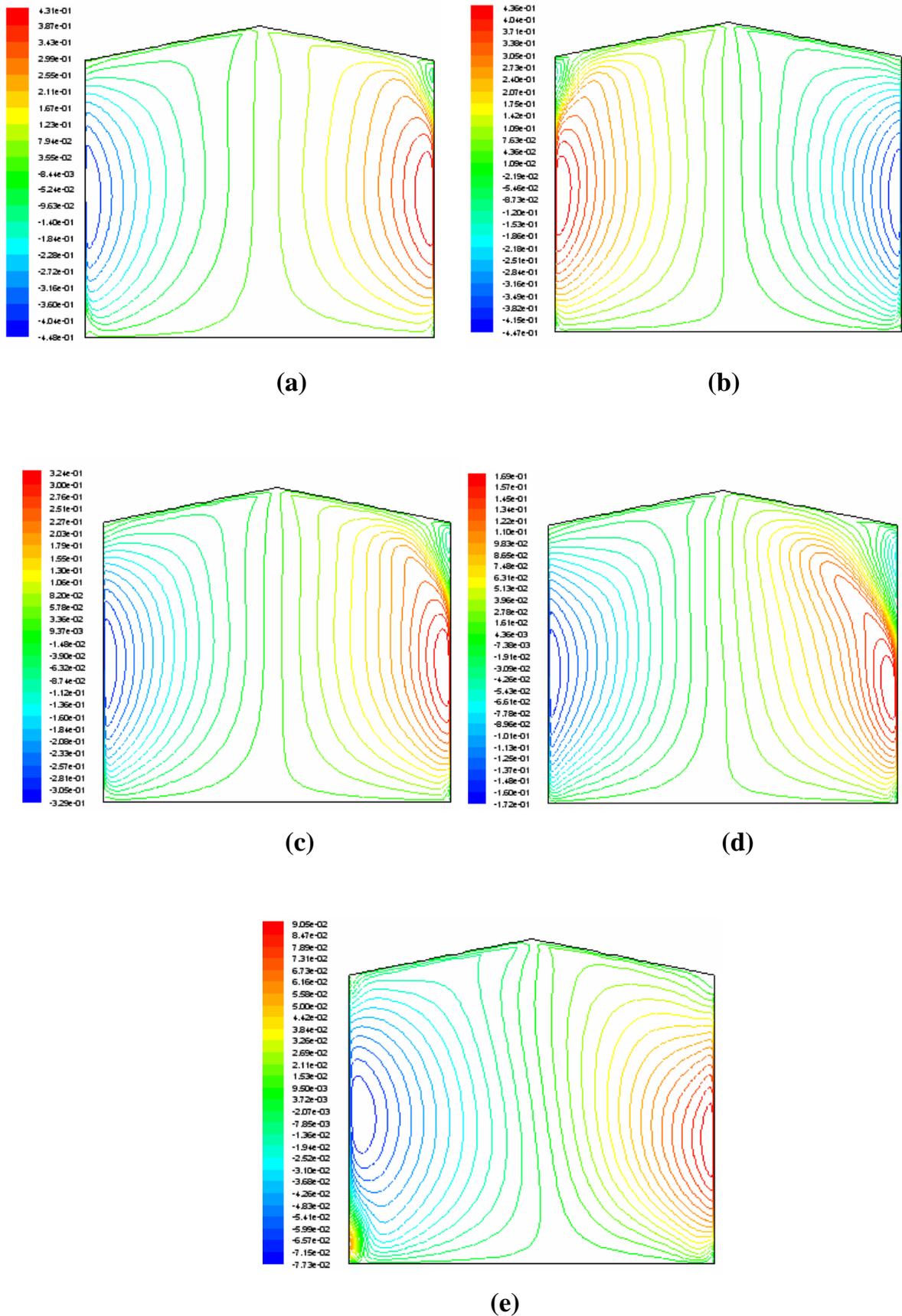


Fig. IV. 8: Champ de la vitesse verticale d'air intérieur de la serre  
 (a):  $t = 12h$ , (b):  $t = 15h$ , (c):  $t = 18h$ , (d):  $t = 21h$  et (e):  $t = 00h$

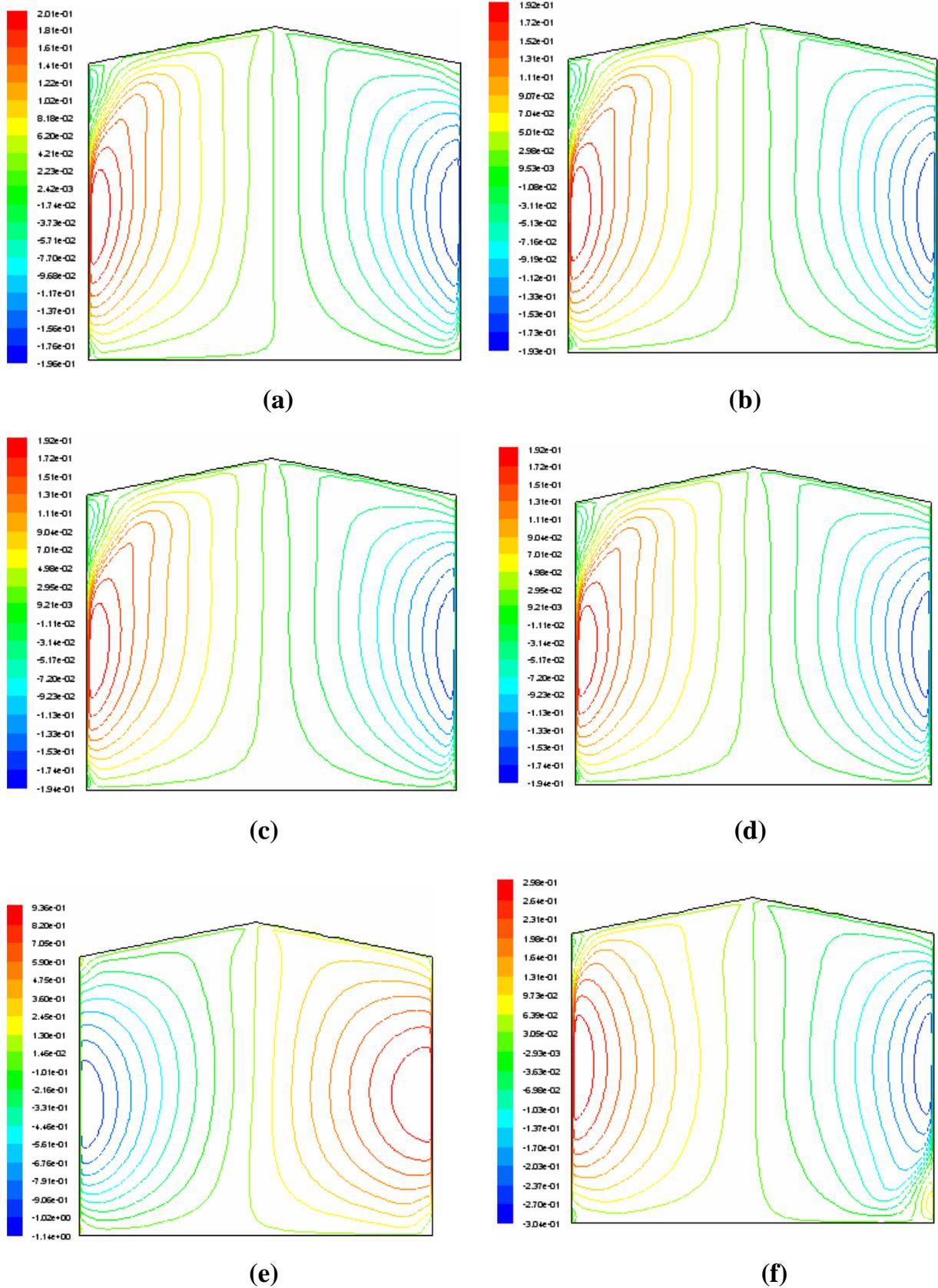


Fig. IV. 9: Champ de la vitesse verticale d'air intérieur de la serre  
 (a):  $t = 02 h$ , (b):  $t = 05 h$ , (c):  $t = 08 h$ , (d):  $t = 11h$ , (e)  $=14 h$ , et (f):  $t = 17 h$

Vers minuit, on distingue deux cas différents. Avant minuit, la localisation des vitesses verticales les plus importantes sont auprès de la paroi Ouest. C'est à cause d'un gradient de température plus important entre l'air intérieur et la paroi Ouest de la serre. Après minuit, ces vitesses verticale prend place près de la paroi Est. Le plus gradient de température entre l'air intérieur et la paroi Est devient le plus important (**Fig. IV. 8, (d) et (e) et Fig. IV. 9 (a) et (b)**).

### **III.2. Profils de la vitesse**

Les figures (**IV.10**) (**IV.11**) présentent le profil de la vitesse horizontale au centre de la serre ( $x=2m$ ) et le profile de la vitesse verticale à 1.8 m du sol respectivement. Ces profils confirment les résultats observés sur les champs de vitesses (**Fig. IV.6**) - (**Fig. IV.9**).

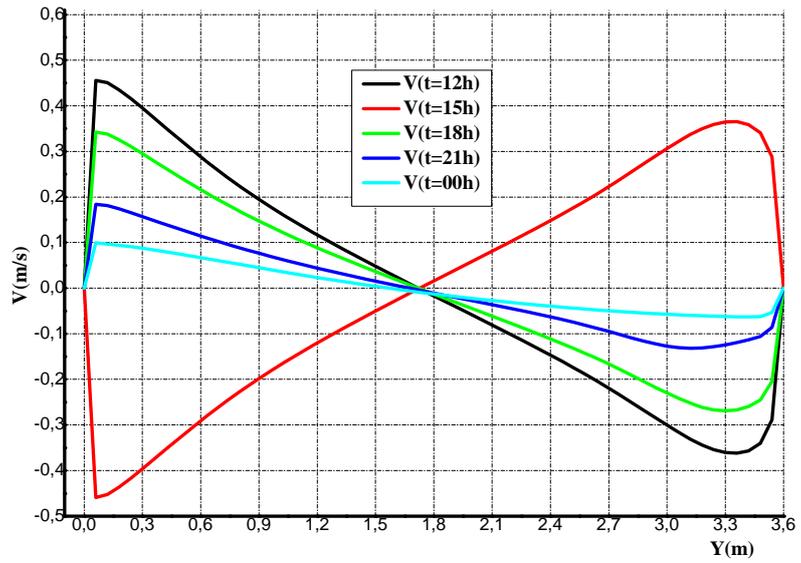
C'est dans le but d'avoir les valeurs des composantes verticales et horizontales de la vitesse durant les 37 heures étudiées.

#### **III.2.1. Profils de la vitesse horizontale au centre de la serre à $x=l/2$**

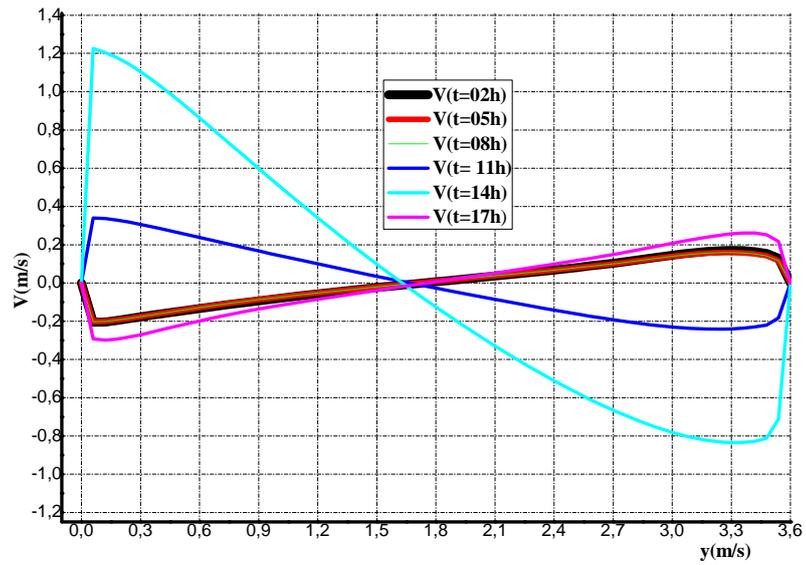
Nous présentons dans ce qui suit, un profil de la vitesse horizontale à  $x=l/2$  (**Fig. IV.10**). Durant tous les trente sept heures (37h), on a illustré un très grand gradient de vitesse horizontale formant un pic dans les vingt cinq centimètres (10cm) tous près du sol.

Un autre gradient moins fort que celui près du sol de la vitesse horizontale mais dans les trente centimètres (30cm) tous près du toit formant un arrondi. Cela est du à la forme du toit.

La vitesse maximale de la vitesse horizontale de l'air à l'intérieur de la serre et de l'ordre de (0.45 m/s) près du sol à 12h et à 15h pendant le jour clair. Par contre pour la journée ventée, la vitesse horizontale d'air intérieur de la serre est maximale à 14h juste après le retour du soleil. Sa valeur est de (1.20 m/s).



(a)



(b)

Fig. IV.10: Profile de la vitesse horizontale à  $x=l/2$   
(a) 1<sup>er</sup> jour, (b) 2<sup>ème</sup> jour

Le profil de la vitesse horizontale d'air à l'intérieur de la serre est toujours linéaire en tous moments de journée et en tous climats (claire ou ventée). Toute fois, en se dirigeant vers le centre de la serre, la vitesse horizontale d'air s'annule. Les valeurs positives et négatives des vitesses horizontales d'air à l'intérieur de la serre indiquent le sens inverse des deux cellules décrivant l'écoulement d'air à l'intérieur de la serre dans le sens horizontale (suivant l'axe x).

On remarque aussi que les vitesses horizontales d'air à l'intérieur de la serre près du sol sont positives avant minuit et elles sont négatives après minuit. Cela explique le sens positif et le sens négatif de la cellule auprès du sol. Cette inversion dans le sens de la cellule près du sol est aussi remarquée pour la cellule près du toit.

### **III.2.2. Profils de la vitesse verticale à mi hauteur de la serre**

Le comportement dynamique de l'air intérieur près des parois Est et Ouest est donné dans la **figure (IV.11)**.

Le profil de la vitesse verticale de l'air intérieur de la serre présente subitement en tout moment et en tout climat; claire et venté, un pic sur les deux parois, Est et Ouest. Ce fort gradient dans la vitesse verticale de l'air n'a pas la même valeur au côté Est ou Ouest.

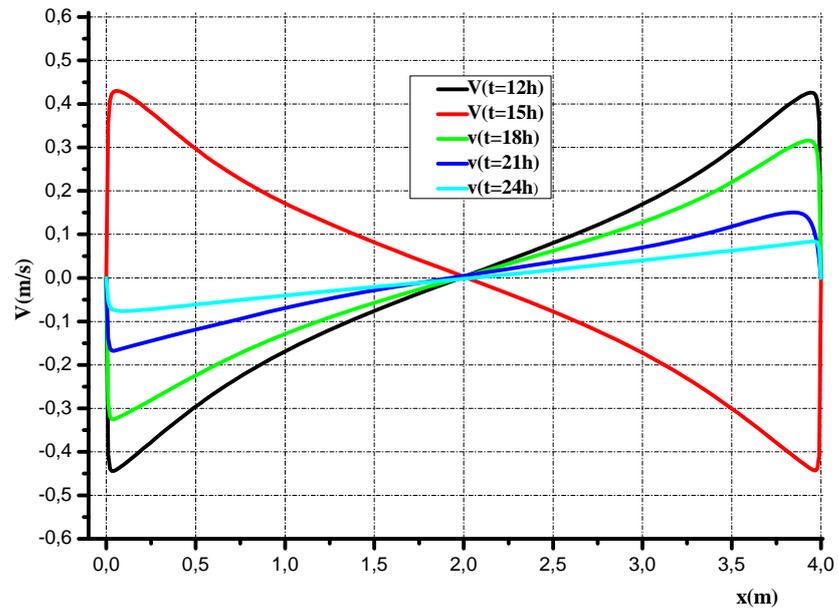
Similairement au profil de la vitesse horizontale de l'air intérieur de la serre, le profil de vitesse verticale de l'air intérieur de la serre est aussi linéaire.

Au centre de la serre;  $y=h/2$  et à  $x=l/2$ , la vitesse verticale est nulle.

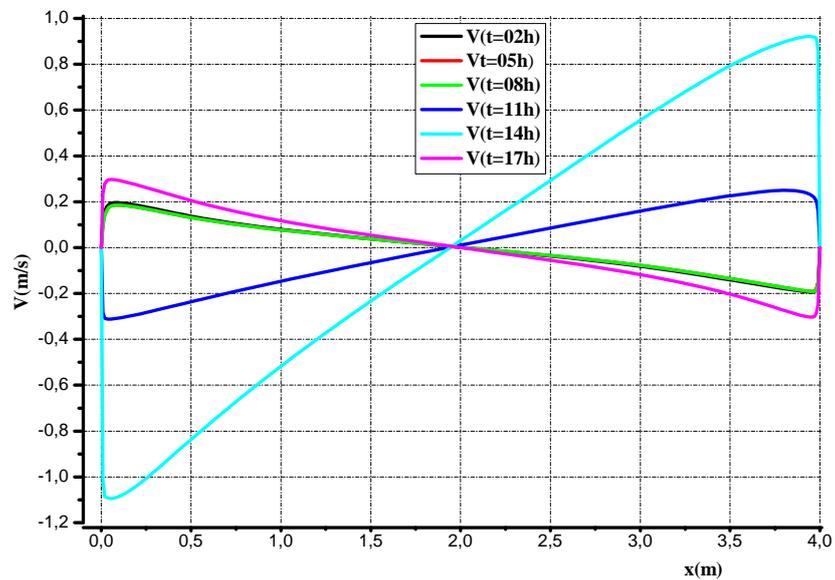
La vitesse verticale est maximale de l'ordre de (0.45 m/s) à 15h du côté Est. Du côté Ouest et pendant la journée ventée, elle est de l'ordre de (1.50 m/s) à 14h.

Avant et après minuit, le gradient de la vitesse verticale juste près de la paroi est le même du côté Est ou Ouest. Le plus grand gradient est remarqué du côté Est de la serre à midi d'un jour clair et à 14h d'un jour venté.

A une distance bien limitée de chaque paroi, une comparaison dans les valeurs des vitesses verticales prouve que c'est le côté de la serre le plus chaud que la vitesse verticale est la plus faible.



(a)



(b)

Fig. IV.11: Profile de la vitesse verticale à mi hauteur de la serre  
(a) 1<sup>er</sup> jour, (b) 2<sup>ème</sup> jour

### **III.2.3. Profils de la vitesse totale**

Sur les figures **Fig. IV.12** et **Fig. IV.13** sont présentés les profils de la vitesse totale de l'air à l'intérieur de la serre.

#### **a. Profil de la vitesse totale à $x=l/2$**

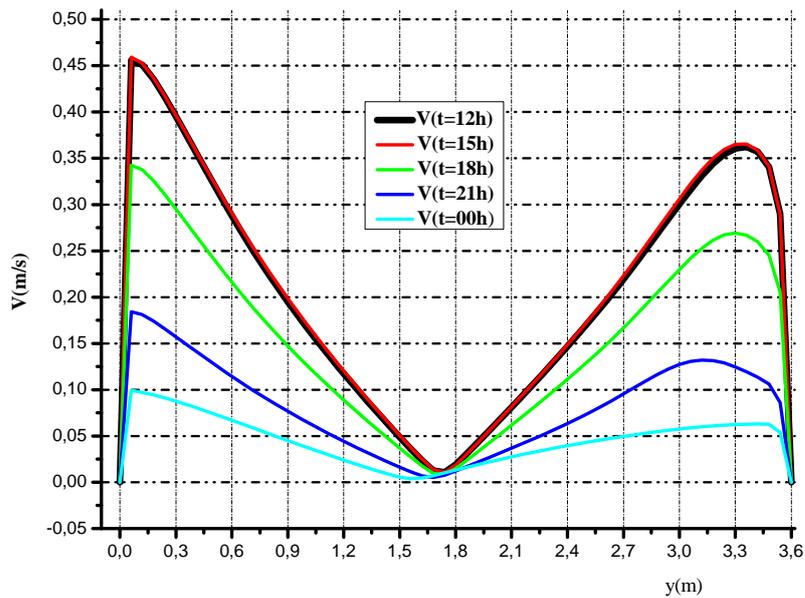
L'effet de la forme de la serre est remarqué sur le profil de la vitesse totale à  $x=l/2$ . Le pic souligné dans le gradient de la vitesse près du sol est aussi lisible de la même façon que ceux trouvées dans les profils de vitesses verticales (**Fig. IV.11**) et (**Fig. IV.12**). C'est au côté du sol que la vitesse totale importante. La vitesse totale nulle est à la mi-hauteur ( $H/2$ ). C'est au même endroit que la vitesse horizontale s'annule.

La vitesse totale est importante vers midi et faible vers minuit. Avant minuit, la vitesse totale n'atteint pas les (0.2 m/s) près du sol. Après minuit, leurs valeurs sont au moins 0.2 m/s. La vitesse totale après augmente à l'intérieur de la serre. Cela explique que la vitesse de l'air intérieur de la serre est inversement proportionnelle à sa température.

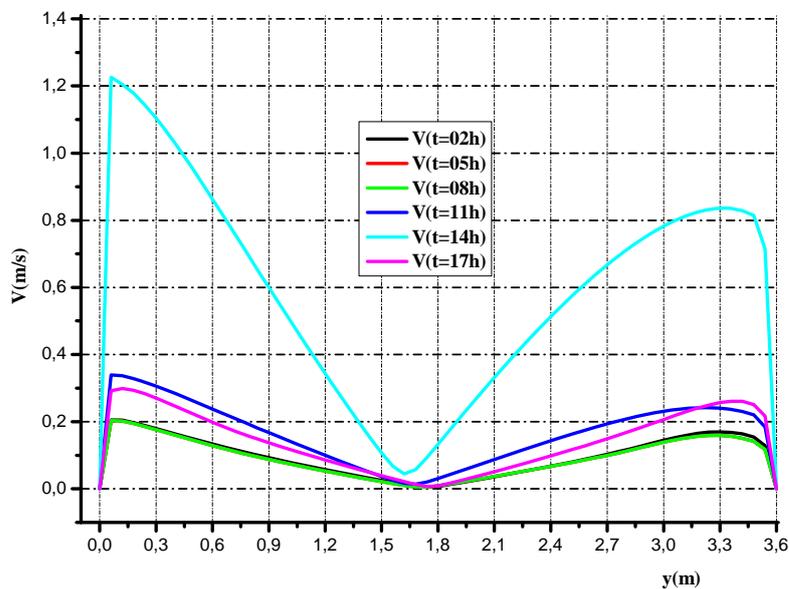
Lors du retour du soleil (jour venté), la vitesse totale de l'air ne s'annule pas. Cela prouve que tous l'air à l'intérieur de la serre est en mouvement.

#### **b. Profil de la vitesse totale à $y=H/2$**

La vitesse totale de l'air à  $y=H/2$  présente les mêmes pics que ceux trouvés dans les profils de la vitesse verticale. C'est juste tout près de la paroi que les plus grands gradients de vitesses auront lieu. C'est à l'axe de symétrie que les vitesses prennent les plus faibles valeurs (0.01 m/s)

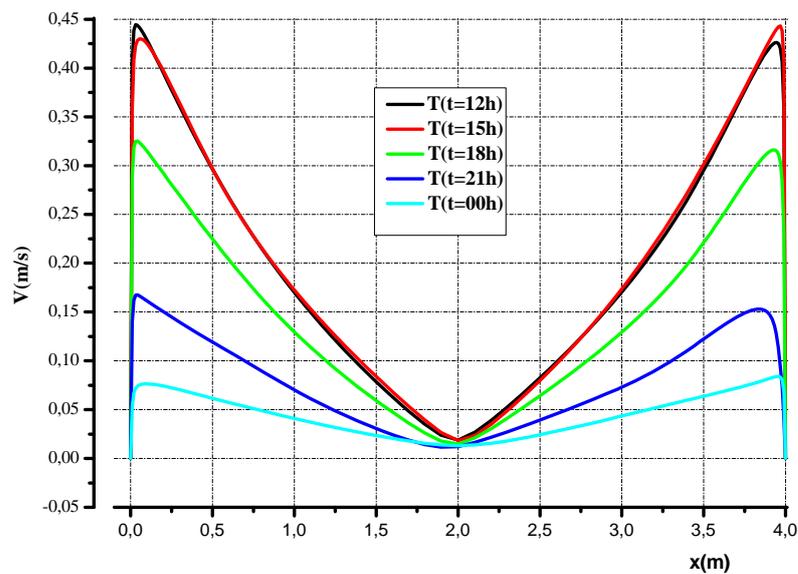


(a)



(b)

Fig. IV.12: Profile de la vitesse totale à  $x = l/2$   
 (a) 1<sup>er</sup> jour, (b) 2<sup>ème</sup> jour



(a)

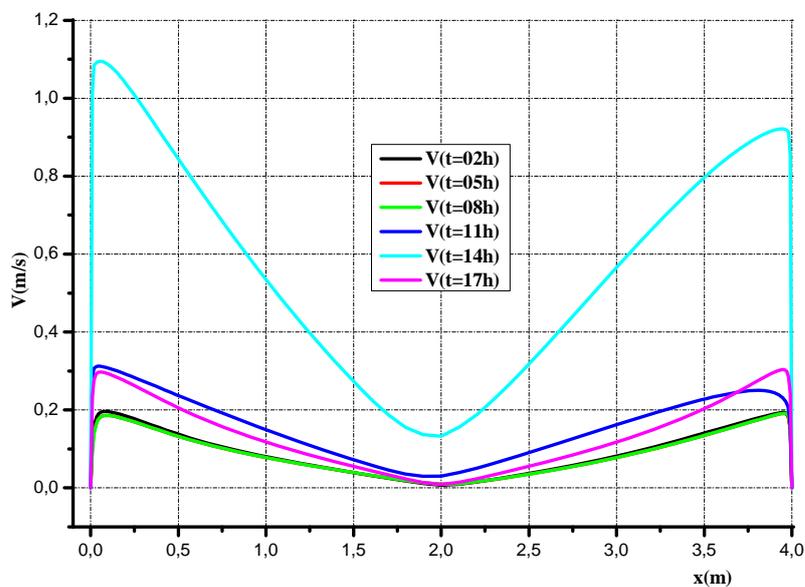


Fig. IV.13: Profile de la vitesse totale à mi-hauteur;  $y=H/2$   
(a) 1<sup>er</sup> jour, (b) 2<sup>ème</sup> jour

Les vitesses de l'air près du sol, du toit et du côté Est ou Ouest de la serre sont comme suit:

**Pour une journée claire :**

- Les vitesses maximales de l'air près du sol et de l'ordre (0.45m/s) à 12h, et près de toit (0.35 m/s) à 15h, et du côté Est /Ouest (0.42m/s), (0.45 m/s) à 13h respectivement. Par contre la vitesse minimale de l'air et (0.10 m/s) près du sol et (0.05 m/s) près du toit, et (0.07 m/s) et (0.05 m/s) du côté Est /Ouest après minuit.

**Pour une journée ventée :**

- les vitesses et maximal et de l'ordre de (1.2 m/s) au sol et (0.8 m/s) près de toit à 14h, et (1.5m/s), (0.8 m/s) du côté Est /Ouest à 11h. A près minuit la vitesse de l'air et (0.2m/s) près du sol, du toit et du côté Est et Ouest.

On conclut que: Pour une journée claire et a près midi les vitesses de l'air et plus élève que a près minuit. Et pour une journée ventée les valeurs de la vitesse de l'air et faible.

**IV. Validation des résultats de calcul**

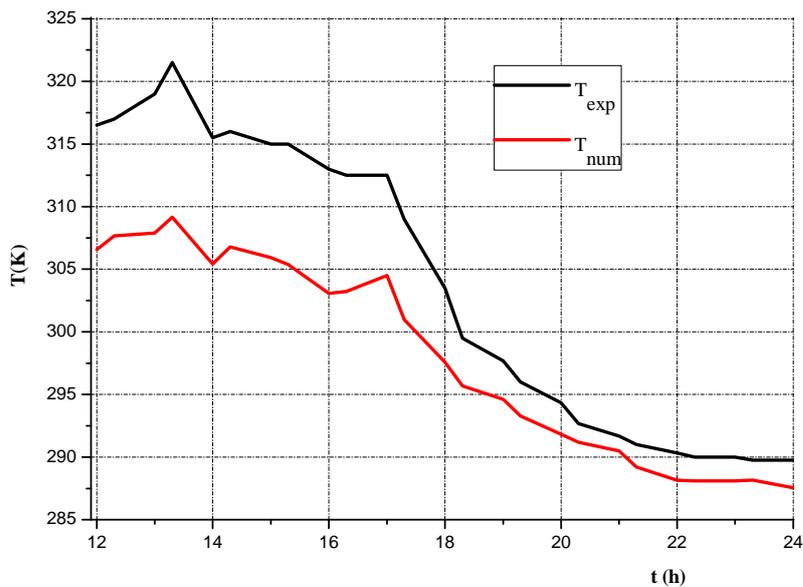
Deux types de validations on été faite concerne ce calcul numérique fait en utilisant le logiciel fluent.

Il s'agit d'une comparaison faite sur les champs thermiques et dynamiques ainsi que leurs profiles. La comparaison a été faite avec les travaux de la référence [11].

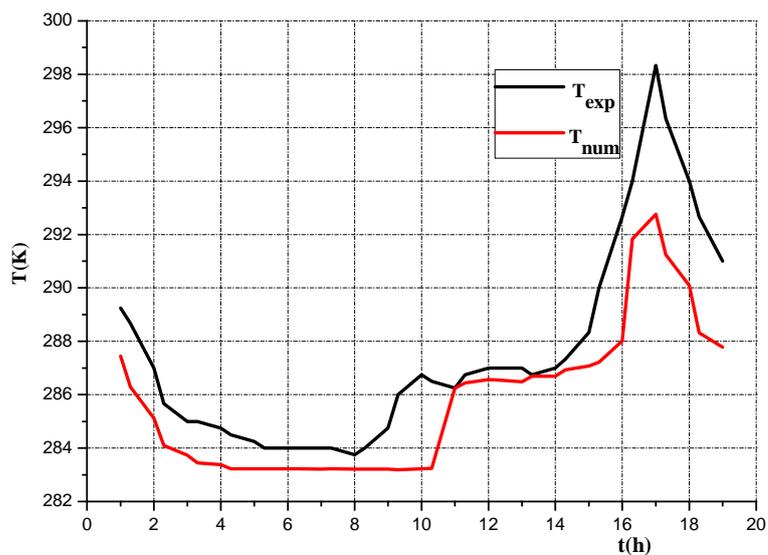
- l'apparition des deux cellules dans les champs représentant la composante horizontale et la composante verticale de la vitesse.
- Les mêmes profiles pour la température et les deux composantes de la vitesse.

La deuxième type validation été faite avec des résultats de mesures expérimentales effectués aux niveaux du département d'agronomie, Université de Batna [26]. Il s'agit de la valeur de la température d'air à l'intérieur au centre de la serre ( $x=l/2m$ ,  $y=H/2$ ).

Les deux graphes de la (**Fig. VI.14**) montrent les valeurs de température d'air au centre de la serre. Les allures des deux courbes sont les mêmes mais les valeurs de la courbe expérimentale sont plus élevées que celle des températures calculées par fluent. Une différence de 10°C entre 12h et 17h. La différence est de 5°C entre 17h jusqu'à 11h du jour suivant. De 11h à 14h, de la journée venté, les deux types de résultats numériques et expérimentaux sont confondus. De 15h et 17h, une différence de 10°C. La plus grande différence entre les valeurs obtenues numériquement est remarquée pendant le jour; c'est-à-dire en présence du soleil. La différence été de 10°C. En absence du soleil, la différence été seulement de 5°C. Cela s'explique par l'effet de l'éclairement solaire qui n'a pas été pris en considération dans notre étude numérique.



(a)



(b)

Fig. IV.14: Température de l'air à l'intérieur de la serre:  
(a) 1<sup>er</sup> jour, (b) 2<sup>ème</sup> jour

## *Conclusion Générale*

Nous avons abordé au cours de ce travail, l'étude des champs dynamique et thermique dans les serres agricoles dans le cas de la convection naturelle. Nous avons systématiquement procédé à des calculs numériques à l'aide d'un code de calcul "fluent". Ce dernier est basé sur un schéma de discrétisation en volumes finis et des équations qui régissent les échanges convectifs et diffusifs.

La turbulence, dont l'effet est loin d'être négligeable sous serre, a été modélisée à l'aide du modèle k-ε.

Les résultats portant sur des champs et des profils de vitesse et de température dans une serre mono chapelle fermé sont discutés. Les conditions aux limites du problème sont des conditions aux limites de type Dirichlet en température qui sont imposées sur le sol, au niveau de toit et les parois latérales, nous avons imposée un flux convectif. Sur la base des résultats numériques obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

### **Pour les champs de température:**

- La majorité du domaine est isotherme sauf au voisinage de sol et du toit où on distingue un gradient de température qui règne dans ces zones à cause des conditions climatiques extérieur auprès de ces parois ces surfaces.

- La décroissance de la température extérieure de l'air influe notablement sur les conditions climatiques à l'intérieur de la serre; vitesse de l'air, température de l'air, humidité...

### **Pour les champs de vitesse:**

- On remarque dans chaque cas, l'apparition de deux cellules. Ceci est en accord avec les résultats de la théorie où le facteur de forme est égale à l'unité ( $L/H = 1$ ).

Leur disposition se diffère suivant que les vitesses sont verticales ou horizontales

- La localisation des vitesses horizontales importantes près du sol ou du toit n'est pas liée à la période du jour, le matin ou le soir. Elles sont liées aux plus gradient de température ente air intérieur/sol et entre la température de l'air extérieur/air intérieur

- La localisation des vitesses verticales importantes est limitée par les valeurs des températures des parois Est et Ouest et à la valeur de la température d'air intérieur de la serre.

- Dans le cas d'une serre fermée, la valeur de la vitesse de l'air est faible. Une valeur maximale est atteinte particulièrement près du sol lors d'une journée ventée (1 m/s). 0.45m/s la valeur maximale remarquée dans la journée claire.

Cette étude peut être complétée par d'autre étude tenant en compte du rayonnement solaire. C'est en présence de la plante que ce type d'étude aura plus d'importance. Une telle étude dans une serre ouverte donnera sans doute d'autres conclusions.

L'utilisant le code "fluent" pour la prédiction des champs dynamiques et thermiques à l'intérieur donne de bons résultats. Cela a été confirmé par la validation des résultats obtenue au cours de cette étude par des résultats mesurées expérimentales.

- [1] Andre, M; Marc, S. Livre: Physique de sol, France (1991).
- [2] 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] Bartzanas, T; Boulard, T; Kittas, C. Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings. *Computers and Electronics in Agriculture* 34 (2002) 207–221.
- [4] Bartzanas, T; Boulard, T; Kittas, C. Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. *Biosystems Engineering*, (2004)88(4), 479-490
- [5] Bertol, L; Bourges, B. Données climatique utilisée dans les bâtiments. (B2015) *Technique de l'ingénieur France*, 1992
- [6] Bendaas, Y. Bilan Energétique D'une Serre en Verre Sans Couvert Végétale Dans la Régions des Aurès; les Hauts Plateaux Est d'Algérie (Etude Expérimentale). Mémoire d'ingénieur. Département d'agronomie. (2007).
- [7] Boulard, T; Draoui, B. Natural ventilation Of a greenhouse with Continuous roof Vents: Measurement and Data Analysis. *J.agric. Engng Res.* (1995) 61, 27-36.
- [8] Boulard, T. Caractérisation et modélisation du climat des serres: Application à la climatisation estivale. Thèse de doctorat. Ecole National Supérieure Agronomique de Montpellier (1996).
- [9] Boulard, T; Feuilloley, P; Kittas, C. Natural Ventilation Performance of Six Greenhouse and Tunnel Types. *J. Agric. Engng Res.* (1997) 67, 249 – 266.
- [10] Boulard, T; Haxaire, R.; Lamrani, M. A; Roy, J. C; Jafrin, A; Characterization and Modelling of the Air Fluxes induced by Natural Ventilation in a Greenhouse. *J. agric. Engng Res.* (1999) 74, 135-144.
- [11] Boulard, T; Kittas, C.; Roy, J.C; Wang, S. Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 2: Determination of the Distributed Greenhouse Climate. *Biosystems Engineering* (2002) 83 (2), 129–147.
- [12] Bournet, P.E; Ould Khaoua, S.A; Boulard, T. Numerical prediction of the effect of vent arrangements on the ventilation and energy transfer in a multi-span glasshouse using a bi-band radiation model. *biosystems Engng* 98 (2007 ) 224 – 234
- [13] Campbell, G.S. An introduction to Environmental Biophysics. Springer -Verlag, New York. (1977)
- [14] Comte –Bellot, G; Bailly, C. Turbulence. CNRS Editions, Paris (2003).
- [15] Day, W; Bailey, B.J. Physical Principles of Microclimate Modification, (20: Greenhouse Ecosystems), *Ecosystem of the World*, Elsevier, Amsterdam, 1999.

- [16] Dayan, J; Dayan, E; Strassberga, Y; Presnov, E. Simulation and control of ventilation rates in greenhouses. *Mathematics and Computers in Simulation* (2004) 65 (2004) 3–17
- [17] Djeghel, Rachida. Modélisation thermique d'une serre agricole. Thèse de magister-Département de physique. (2004).
- [18] Djoumaa, S. Simulation de l'écoulement transsonique turbulent autour d'une aube de turbine. Thèse de Doctorat (2007).
- [19] Fatnassi, H; Boulard, T; Poncet, C; Chave, M. Optimisation of Greenhouse Insect Screening with Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering* (2006) 93 (3), 301–312.
- [20] Gambit 2.0 Documentation: User's guide .Modelling guide. Tutorial guide. Fluent. Inc (2001).
- [21] Gray, D; Giorgini, A. The validity of the Boussinesq approximation for liquids and gases. *International Journal Heat Mass Transfer*, (1976) 19: 545-551.
- [22] Haxaire, R; Roy, J C; Boulard, T; Lamrani, M A; Jaffrin, A. Greenhouse natural ventilation by buoyancy forces. *Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyon, France*, November (1998)19-21
- [23] Haxaire, R; Roy, J C; Boulard T; Lamrani, M A; Jaffrin, A. Greenhouse natural ventilation by buoyancy forces. In 2nd European conference on Energy performance and indoor climate in buildings and 3rd International conference on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings, 522-527, *Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyon, France*, November (1998).19-21
- [24] Haxaire Renaud. Caractérisation et modélisation des écoulements d'air dans une serre (1999). Thèse de doctorat ,Université de Nice Sophia Antipolis.
- [25] Jones, P. J. et Whittle, G. E. Computational fluids dynamics for building air flow prediction current capabilities. *Building and Environment*, (1992). 27(3): 321-338.
- [26] Kacira, M; Sase, S; Okushim, L. Effects of Side Vents and Span Numbers on Wind-Induced Natural Ventilation of a Gothic Multi-Span Greenhouse. *JARQ* 38 (4), 227 – 233 (2004).
- [27] Lamrani, M. A; Boulard, T; Roy, J. C; Jaffrin, A. Air Flows and Temperature Patterns induced in a Confined Greenhouse. *J. agric. Engng Res*, (2001) 78 (1), 75-88.
- [28] Meknassi, F. Identification et Commande d'une Serre Agricole', Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Perpignan, (1983).
- [29] Monteith, J. L. Principles of environmental physics. Edward Arnold, New York (1973).
- [30] Nara, M. Studies on air distribution in farm buildings two dimensional numerical and experiment. *Journal of the Society of Agricultural Structures*, (1979) 9(2): 18-25.

- [31] Patankar, S. V. Numerical heat transfer and fluid flow. Hemisphere, Washington, D, C. PP 115-120.1980.
- [32] Ould Khaoua, Sid Ali. Modélisation De L'aération Naturelle Et Du Microclimat Des Serres EN Verre De Grande Portée Sous Climat Tempéré Océanique. Thèse de doctorat, École Doctorale D'angers (2006).
- [33] Roy, J.c, Boulard, T; Kitas ,C Wang, S. Conviction and Ventilation Transfert, Part1: the Greenhouse considerd as a Perfectly Stirred Tank .biosystems Enging (2002)83(1), 1-2.

## Résumé

Dans cette étude, on s'intéresse à l'étude du comportement dynamique et thermique d'une serre fermée mono chapelle de type Venlo non chauffée et sans couvert végétale dans le cas de la convection naturelle. Nous avons systématiquement procédé à des simulations à l'aide du logiciel "fluent" basé sur un schéma de discrétisation en volumes finis. La turbulence, dont l'effet est loin d'être négligeable sous serre, a été modélisée à l'aide du modèle  $k - \varepsilon$ .

Les résultats donnant la variation de la température de l'air intérieur de la serre a été validée avec les mesures effectuées dans une serre en verre de type Venlo fermée non chauffée et sans couvert végétale au département d'agronomie, université de Batna (2007). Ainsi, les champs thermique et dynamique, ont été satisfaisants en les comparants à ceux de la littérature.

## Abstract

In this present work, we studied dynamic and thermal behavior of a single chapel closed greenhouse type Venlo unheated and without vegetation cover in the case of natural convection. We have systematically carried out simulations using the software "fluent" based on a finite volume. The turbulence, whose effect is far from negligible greenhouse, was modeled using the  $k - \varepsilon$  model.

The inside greenhouse air temperature variation results are validated with measurements made in a glasshouse type Venlo closed unheated and without vegetation cover in the Agriculture department, Batna university (2007). Thus, the thermal and dynamic fields were satisfactory and compared them with those of the literature.

## ملخص

في هذه الدراسة، ركزنا على دراسة السلوك الديناميكي والحراري البيت البلاستيكي مغلق، غير مسخن و

تم التحقق من صحة هذه النتائج التي تعطي اختلاف درجة حرارة الهواء داخل البيت البلاستيكي مع القياسات

منشورات العلمية.