

## Caractérisation de l'écoulement d'air dans une serre équipée d'un système de chauffage de fond par la technique PIV

Hela BEN AMARA ; Mariem LAZAAR ; Rihab ASMI ; Abdelhamid FARHAT

Laboratoire des Procédés Thermiques (LPT), Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie (CRTE),  
BP 95 Hammam Lif 2050, Tunis

[benamarahela@hotmail.fr](mailto:benamarahela@hotmail.fr), [marlazfr@yahoo.fr](mailto:marlazfr@yahoo.fr), [rihab.asmi@yahoo.fr](mailto:rihab.asmi@yahoo.fr), [abdelhamid.farhat@crten.rnrt.tn](mailto:abdelhamid.farhat@crten.rnrt.tn).

**Résumé :** L'objectif de la présente étude est de caractériser les phénomènes mis en jeu dans le cas de l'aération naturelle des serres mono chapelle (homogénéité de l'atmosphère de la serre) en présence d'un système de chauffage de fond. La caractérisation de l'écoulement d'air est assurée par la technique de la Vélocimétrie à Images de Particules, PIV bidimensionnelle et à deux composantes. Les résultats issus de cette étude ont montré qu'en présence de système de chauffage, la circulation d'air est caractérisée par une cellule (ou zone) de recirculation localisée à l'intérieur de la serre. La variation du gradient de la température entre la base de la serre et la toiture, engendre des augmentations de la vitesse et des changements de circulation d'air au sein de l'abri. L'aération de la serre génère un échappement de flux d'air dans la direction verticale accompagné d'une importante élévation de la vitesse.

**Mots clés :** serre mono chapelle, système de chauffage, convection naturelle, PIV.

### 1. Introduction

En absence de rayonnement solaire suffisant (nuit, hiver, ciel couvert,...), la température du microclimat de la serre reste au dessous de la température de confort de la plante. Ainsi, en l'hiver, la température du sol atteint des valeurs très basses où les racines des plantes sont dans des conditions défavorables. Pour éviter ces difficultés, le recours au chauffage simultané de l'air ambiant et du sol est une solution efficace. Plusieurs types de chauffages peuvent être utilisés : chauffage par circulation l'air dans des conduites enterrées [1], chauffage de serre par circulation d'eau dans des graines plastiques posées au sol [1], stockage et déstockage de la chaleur dans le sous-sol [2], chauffage de serre par géothermie [3] et par des matrices solides à grandes inerties thermiques [4].

Dans ce contexte, Roy et al. [5] ont étudié expérimentalement la caractérisation du transfert de chaleur à partir des tubes chauffants dans une serre. Ils ont montré que ces tubes chauffants favorisent bien le transfert de chaleur dans la serre et influent directement sur la circulation de l'air. L'aération est aussi une méthode pratique et généralement employée pour réguler le microclimat interne de la serre pendant l'été et même en hiver [6-7]. Elle permet, par l'intermédiaire d'ouvrants, de réguler la température dans la serre et d'assurer aux plantes un apport en dioxyde de carbone. La circulation d'air et la distribution de la température engendrée par les forces de flottabilité dans des serres fermées chauffées par des tubes sont étudiées dans une maquette de serre [8]. Les résultats de cette étude montrent que pour les serres fermées, la circulation d'air est caractérisée par une seule cellule de convection avec des vitesses élevées le long des parois, du toit et du plancher et des vitesses faibles (presque nulles) dans le centre de la cavité. La simulation du mouvement d'air et la variation de température au sein d'une serre mono chapelle fermée a été étudiée [9]. En effet, pour un nombre de Rayleigh égal à de  $5,7 \cdot 10^{10}$ , Bougoul et al ont montré que la circulation de l'air est caractérisée par une seule cellule convective occupant la majorité du volume de la serre.

Dans le présent travail, nous nous proposons d'étudier l'effet du chauffage sur l'écoulement d'air dans une serre mono chapelle. La caractérisation bidimensionnelle de l'écoulement d'air à l'intérieur de la serre est réalisée par la technique de visualisation par Vélocimétrie à Images de Particules (PIV).

### 2. Etude expérimentale

#### 2.1 Description de la serre

La serre étudiée est une serre mono chapelle de 2m de long, 1.30m de large et 1.5m de hauteur. Elle est réalisée en polycarbonate de 3mm d'épaisseur afin de permettre un accès optique pour la nappe laser PIV. La base de cette serre est formée par une plaque en acier peinte en noir afin d'éviter toute réflexion lors de la visualisation

par laser. Sous cette plaque, un système de chauffage composé par un échangeur de chaleur (serpentin en cuivre) est installé (voir figure1). A l'intérieur de cet échangeur nous faisons circuler de l'eau chaude à une pression constante de 2 bars et à une température variable. La mesure de la température de la paroi inférieure (plancher) de la serre est assurée par un pyromètre infrarouge.

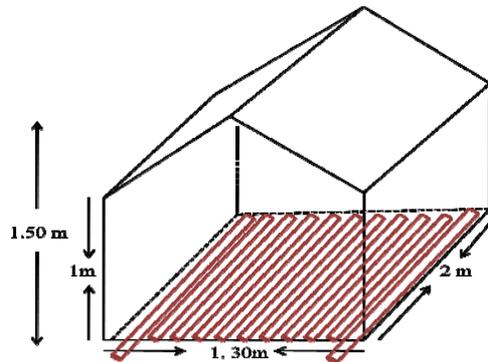
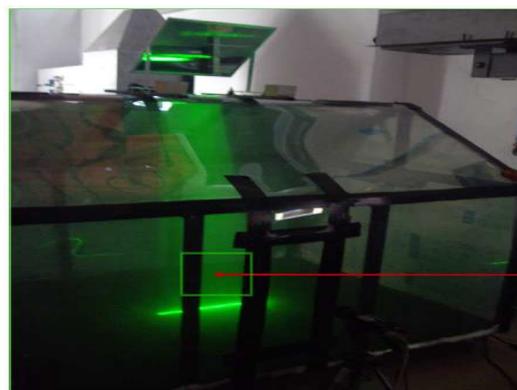


Figure 1 : Schéma de la serre étudiée avec ses dimensions

## 2.2 Vélocimétrie par Images de Particules, PIV

Pour quantifier les champs de vitesse à l'intérieur de la serre, des mesures PIV bidimensionnelles à deux composantes (2D 2C) ont été menées dans un plan médian vertical. Ce système est composé essentiellement d'un laser à impulsion Nd-YAG pouvant produire des énergies de  $240\text{mJ}$  par impulsion à une longueur d'onde  $\lambda = 532\text{nm}$ . La séparation du faisceau laser en deux nappes est réalisée à l'aide d'une lame séparatrice de faisceaux et la durée de chaque impulsion est de l'ordre de  $6\text{ns}$ . Des gouttelettes d'huile de dimension  $0,4\mu\text{m}$  (afin de ne pas trop perturber l'écoulement et d'avoir assez de contraste pour la visualisation) sont utilisées pour l'ensemencement. Les images sont enregistrées (250 paires d'images) par une caméra CCD (Charge-Coupled Device) ayant une résolution spatiale de  $1600 \times 1200\text{ pixels}^2$  et une résolution dynamique de  $12\text{ bits}$ . Cette caméra est reliée directement à un ordinateur par une carte d'interface spécifique. L'analyse de ces images est faite dans une fenêtre de corrélation de  $32\text{ pixels} \times 32\text{ pixels}$  avec un recouvrement de 50%. Le temps entre deux pulses laser correspond à  $\Delta t = 800\mu\text{s}$ .

La technique de la PIV permet d'accéder, par la mesure simultanée des deux composantes de la vitesse, à la caractérisation de l'écoulement se développant à l'intérieur de la serre sans le perturber. Nous avons choisi la face latérale de la serre comme plan de mesure (Figure 2), vu la simplicité de réaliser un calibrage précis du miroir sur le toit d'une telle géométrie complexe dans une certaine mesure. Par raison de symétrie et pour éviter les effets de bord, le faisceau laser est introduit dans un plan médian vertical. Ce dernier est fixé au niveau de  $x=1\text{m}$  et  $y=0,65\text{m}$ . L'écoulement a été enregistré pour un champ de vision de  $190 \times 140\text{ mm}$  et une distance focale par rapport à l'objectif de la caméra et le plan formation de l'image (le plan laser) de  $700\text{ mm}$ .



Région de mesure de la vitesse

Figure 2 : Nappe laser verticale au milieu de la serre pour la mesure de vitesse par PIV

## 3. Résultats et discussion

### 3.1 Caractérisation de l'écoulement d'air sous serre non chauffée

Nous nous intéressons à caractériser le comportement dynamique du fluide au centre d'une serre complètement fermée et froide (sans recours au système de chauffage).

Les figures 3 et 4 représentent respectivement le champ de vitesse moyen et la composante verticale de la vitesse au milieu de la serre. Ces résultats montrent clairement que la vitesse est nulle à l'intérieur de la serre (zone colorée en rouge) et que la convection naturelle due aux forces de flottabilité est dominante [6].

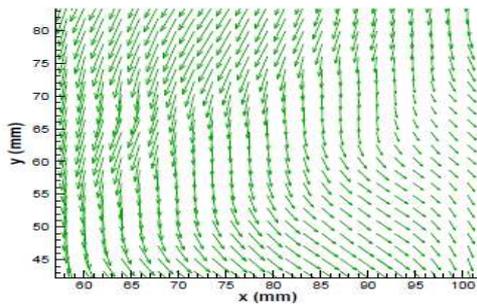


Figure 3 : Champ de vitesse moyen au milieu d'une serre non chauffée

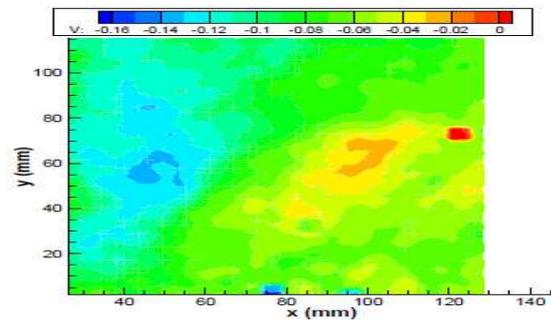


Figure 4 : Composante verticale de la vitesse moyenne au milieu d'une serre non chauffée

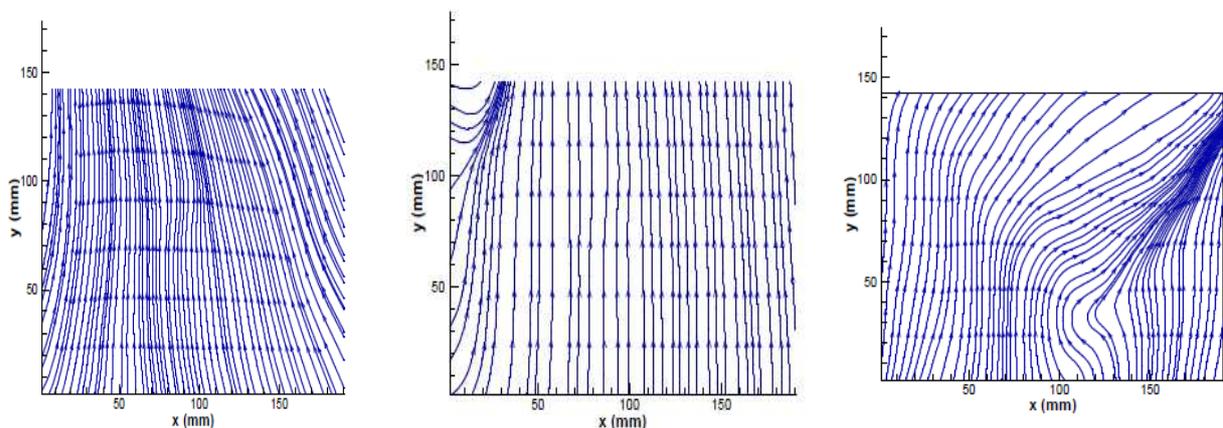
### 3.2 Caractérisation de l'écoulement d'air sous serre chauffée

Un chauffage, variant entre 310 et 323 K, est utilisé pour faire une étude comparative entre la serre froide et la serre chaude (utilisant un chauffage de fond).

#### 3.2.1 Influence de la variation de la température

L'écoulement au sein de la serre est réalisé en procédant à des différents essais basés sur la variation de gradient de température moteur de la convection naturelle. La paroi de la toiture de la serre est maintenue à une température de 300 K. Dans ces différents cas, la température à l'intérieur de la serre atteint la valeur maximale au niveau de la base, la valeur la plus basse au niveau du toit et la majorité du domaine est isotherme. Sur la figure 5 sont représentées les lignes de courant au milieu d'une serre chauffée et fermée pour différentes valeur du nombre de Rayleigh défini selon l'expression  $\frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu\alpha}$ . Cette courbe montre l'influence de la variation du gradient de température sur la circulation de l'air, en mode de convection naturelle, au sein de la serre.

La figure 6 représente les composantes verticales de la vitesse d'une serre chauffée et fermée pour différentes valeurs de  $Ra$ . Elle montre que l'écoulement a subi une déviation au fur et à mesure que la température augmente. Une augmentation de la vitesse de 0,052 à 0,12  $m s^{-1}$  et un changement brusque de la circulation d'air au sein de l'abri en créant ainsi un vortex ou zone de recirculation. Ce phénomène est dû à l'échauffement de la surface et à l'air situé à 20cm au dessus. Ainsi, l'effet thermique favorise le déplacement des particules vers le haut et par la suite la création du phénomène de la convection naturelle encore plus vigoureux.



$$Ra = 3,5 \cdot 10^{10}$$

$$Ra = 4,1 \cdot 10^{10}$$

$$Ra = 6,2 \cdot 10^{10}$$

Figure 5 : Lignes de courant au milieu d'une serre chauffée et fermée pour différentes valeurs de  $Ra$

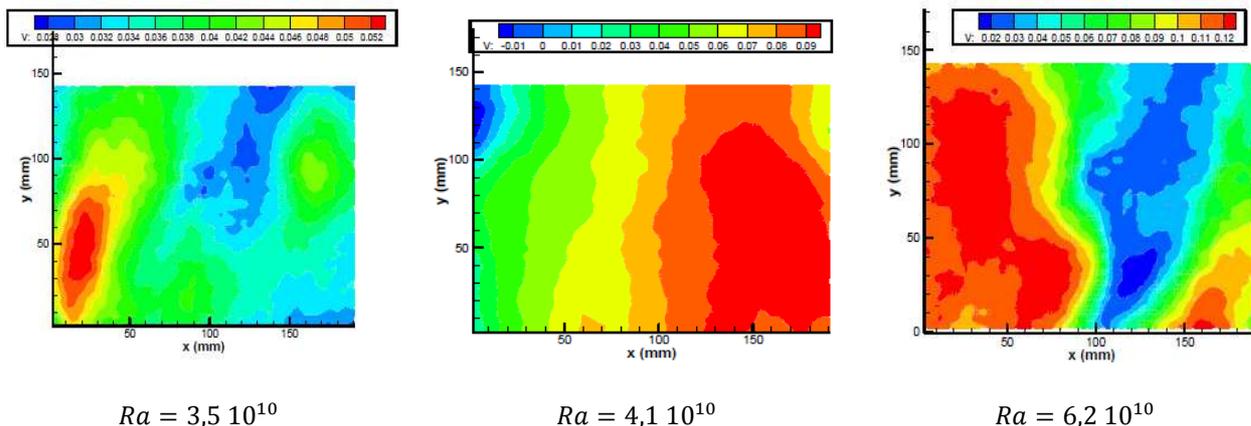


Figure 6 : Composantes verticales de la vitesse d'une serre chauffée et fermée pour différentes valeurs de  $Ra$

### 3.3 Caractérisation de l'écoulement d'air sous serre chauffée et aérée

Cette expérimentation est effectuée dans la même serre mono chapelle équipée cette fois d'un ouvrant en toiture de longueur égale à 0,12m, et, situé à  $X=1$ m et  $Y= 0,32$  m caractérisé par un angle d'ouverture de  $35^\circ$ . La serre est aérée naturellement et l'atmosphère à l'intérieur de la serre est homogène. La température de la plaque  $T_p$  est maintenue à 313K. Nous nous proposons d'étudier l'influence de l'ouvrant sur l'aspect dynamique de l'écoulement d'air.

La figure 7 représente les lignes de courant dans une serre fermée chauffée (A) et aérée (B). Elle montre que sous l'influence de la présence d'un ouvrant ces lignes subissent une déviation vers l'ouverture ce qui est bien illustré par un échappement du flux d'air dans la direction verticale vers l'ouvrant de sortie.

Sur la figure 8 est représentée la composante verticale de la vitesse dans le cas d'une serre fermée, chauffée à 313K (A) et aérée (B). Cette courbe montre que la vitesse dans cette partie (zone verte) est importante et varie de 0,1 à 0,14  $m s^{-1}$ . Nous remarquons aussi l'apparition d'un petit vortex ou zone de recirculation (zone rouge) caractérisé par une vitesse négative de l'ordre de -0,02  $m s^{-1}$ .

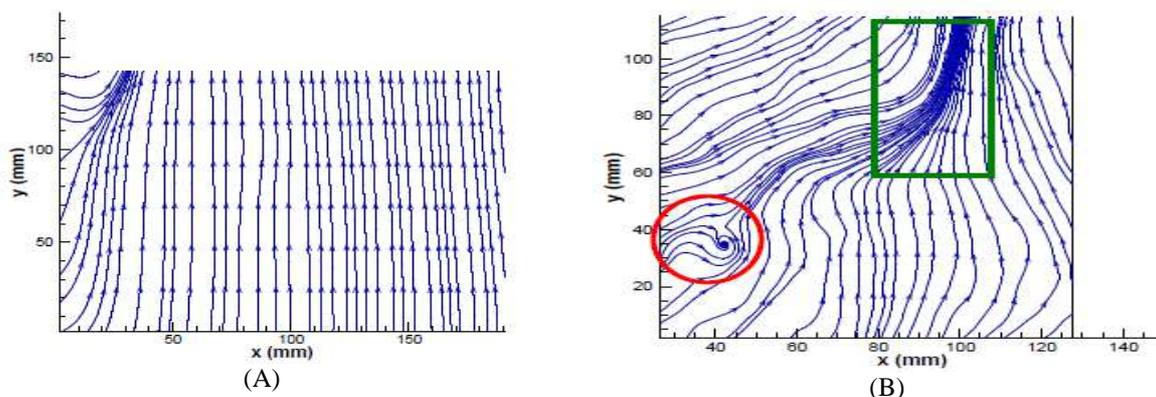


Figure 7: Lignes de courant dans le cas d'une serre fermée chauffée à 313K (A) et aérée (B)

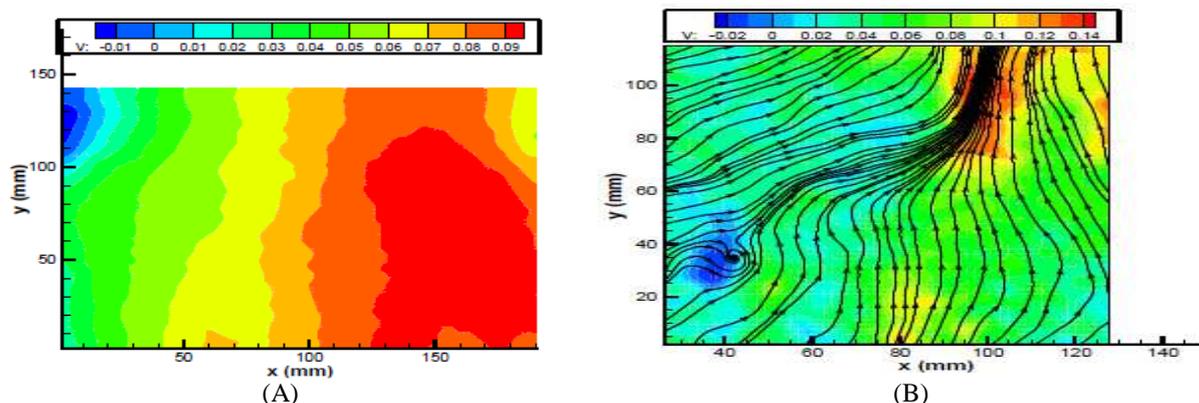


Figure 8 : Composante verticale de la vitesse, cas d'une serre fermée, chauffée à 313K (A) et aérée (B)

#### 4. Conclusion

Une caractérisation bidimensionnelle de l'écoulement d'air à l'intérieur d'une serre mono chapelle est présentée. Quelques spécificités des champs moyens de vitesses sont étudiées en régime laminaire par Vélocimétrie à Images de Particules PIV. L'étude de l'écoulement se focalise dans le plan médian vertical de la serre. La variation du gradient de la température entre la base de la serre et la toiture, engendre des augmentations de la vitesse de l'écoulement et des changements de la circulation d'air au sein de l'abri. La présence de système de chauffage entraîne la création d'une zone de recirculation à l'intérieur de la serre. L'aération naturelle de la serre sous l'effet de la présence d'un ouvrant au niveau du toit, génère un échappement de flux d'air dans la direction verticale accompagné d'une importante élévation de la vitesse à ce niveau.

#### Nomenclature

$Ra$	Nombre de Rayleigh
$\alpha$	Diffusivité thermique, $m^2s^{-1}$
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide, $m^2s^{-1}$
$g$	Accélération de la pesanteur, $ms^{-2}$
$\beta$	Coefficient de dilatation thermique volumétrique, $K^{-1}$
$\Delta T$	Différence maximale de température, $K$
$H$	Hauteur de la serre, $m$
$T_p$	Température de la plaque, $K$

#### Références

- [1] A.BENALLAL et P.Y. GLORENNEC, Modélisation d'un système de stockage et déstockage de chaleur dans le sol, *Revue générale de thermique*, tome 34 n°402, juin 1995.
- [2] T.BOULARD, E.RAZAFINJOHANY et A.BAILLE, Etude et modélisation dynamique des transferts de chaleur dans une serre à stockage dans le sol, *troisième journées internationale de thermique*, Lyon-Villeurbanne, avril 1987.
- [3] A.MOUGOU, K.BELDHODJIA, H.VERLODT et H.ESSID, Chauffage géothermique des serres dans le sud tunisien, Méthodes simples de régulation, *Plasticulture*, n°75, septembre 1987.
- [4] - N. DIHMANI, H. BOUALI, A. MEZRHAB, L. ELFARH, Simulation numérique des transferts thermiques dans une serre agricole chauffée par des blocs solides isothermes, *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, 221–224, 2007.
- [5] - Roy et al, Characterization of the natural convection in a heated greenhouse, *9 th International Symposium on Flow Visualization*, paper 254, 2000.
- [6] J. PÉREZ PARRA, E. BAEZA, J.I. MONTERO, B.J. BAILEY, Natural Ventilation of Perral Greenhouses, *Biosystems Engineering*, 87, 355–366, 2004.
- [7] - P. SONI, V.M. SALOKHE, H.J. TANTAU, Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses, *Biosystems Engineering*, 92, 469–482, 2005.
- [8]- S. Bougoul, S. Zeroual, T. Boulard, F. Azil, Simulation numérique du mouvement d'air et de la variation de température dans des serres chauffées, *Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda*, 209–212, 2007.
- [9] Bougoul Saadi, Soudani Azeddine, Messaoudi Laid, caractérisation et modélisation du climat sous serre, Algérie 2005.