



Simulation numérique de la ventilation naturelle d'un séchoir solaire à cabine utilisant deux types de cheminées

Daoud HALASSA^{1,2}, Abdelghani BOUBEKRI^{1,2}, Mohamed ANNOUN³, Djamel MENNOUCHE¹

¹Laboratoire de développement des énergies nouvelles et renouvelables en zones arides et sahariennes, Université KasdiMerbah Ouargla, Algérie

²Département de génie mécanique, Faculté des sciences appliquées, Université KasdiMerbah Ouargla, Algérie

³Laboratoire Matériaux et Environnement, Département de génie mécanique, Université de Médéa, Algérie

Email : daoudhal2006@gmail.com, boubekri.abdelghani@univ-ouargla.dz

Résumé : Les études effectuées sur les séchoirs solaires particulièrement sur la cheminée d'évacuation ont porté sur l'amélioration des cheminées afin d'accroître le débit d'air réchauffé à travers le produit à sécher, sur la compréhension des relations entre les divers paramètres qui influent sur le fonctionnement de ces séchoirs et enfin sur les moyens d'améliorer les séchoirs de manière à les adapter davantage aux besoins locaux. Ce travail présente les résultats de Simulation numérique de la ventilation naturelle, d'un séchoir solaire, utilisant une cheminée ordinaire et une cheminée solaire dans un objectif d'amélioration des performances du séchoir solaire avec moindre coût dans les conditions climatiques de la région d'Ouargla au nord-est du Sahara algérien. Cette étude a conclu que la l'extraction de l'air a été nettement améliorée avec la cheminée solaire et que les meilleures configurations reviennent à la forme de convergent de 45° pour la cheminée ordinaire et une inclinaison de 49° pour la cheminée solaire.

Mots clés: séchoir solaire; cheminée solaire; convection; ventilation naturelle

1. Introduction

Grâce à divers procédés de transformation énergétique, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur plan à air qui peut être utilisé dans plusieurs applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc... L'Algérie dispose d'un gisement solaire important notamment dans les régions sud [1,2,3]. Le séchage solaire des produits agroalimentaires est un procédé de conservation qui favorise le stockage des aliments et a un intérêt économique certain pour le pays [4]. En agroalimentaire, d'une façon générale, l'optimisation de séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont la consommation restreinte de l'énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité du produit séché [5,6]. Cet aspect a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques qui traitent le problème à différents niveaux du processus : le produit, le séchoir et le coût économique [6]. Au cours des travaux antérieurs sur les prototypes de séchage solaire indirect non ventilé. Quelques auteurs ont exploité des résultats expérimentaux de cas réels de prototypes pour les introduire dans l'un des simulateurs (CFD) afin de prédire l'écoulement de l'air dans une géométrie similaire. Cette approche a permis de trouver la conception optimale permettant un contrôle thermique adéquat et une performance énergétique acceptable [6,7]. D'autres travaux se sont intéressés à rechercher les moyens d'amélioration des conditions opératoires et des formes géométriques menant à une meilleure qualité du produit séché, et ce par exploration expérimentale d'une part et par voie de simulation numérique [8, 9]. Dans les opérations de séchage utilisant des séchoirs solaires on rencontre souvent le problème des conditions instables de l'air asséchant. Les vitesses de l'air mises en jeu sont alors généralement faibles. Afin d'éviter la condensation éventuelle et afin d'accélérer les échanges thermiques dans les séchoirs solaires il est important de s'orienter vers la mise au point de moyens d'extraction de l'air par ventilation.

Dans la présente étude on s'intéresse à la ventilation naturelle utilisant une cheminée ordinaire et une cheminée solaire dans un objectif d'amélioration des performances du séchoir solaire avec moindre coût. Le travail

accompli mettra en application les équations d'écoulement et de transfert thermique moyennant le logiciel CFD Fluent.

2. Méthodologie de traitement du problème

2.1. Description de séchoir solaire indirect

Dans cette étude nous avons utilisé un séchoir solaire indirect à convection naturelle conçu et réalisé au laboratoire LENREZA à l'université KasdiMerbahde Ouargla (Algérie).

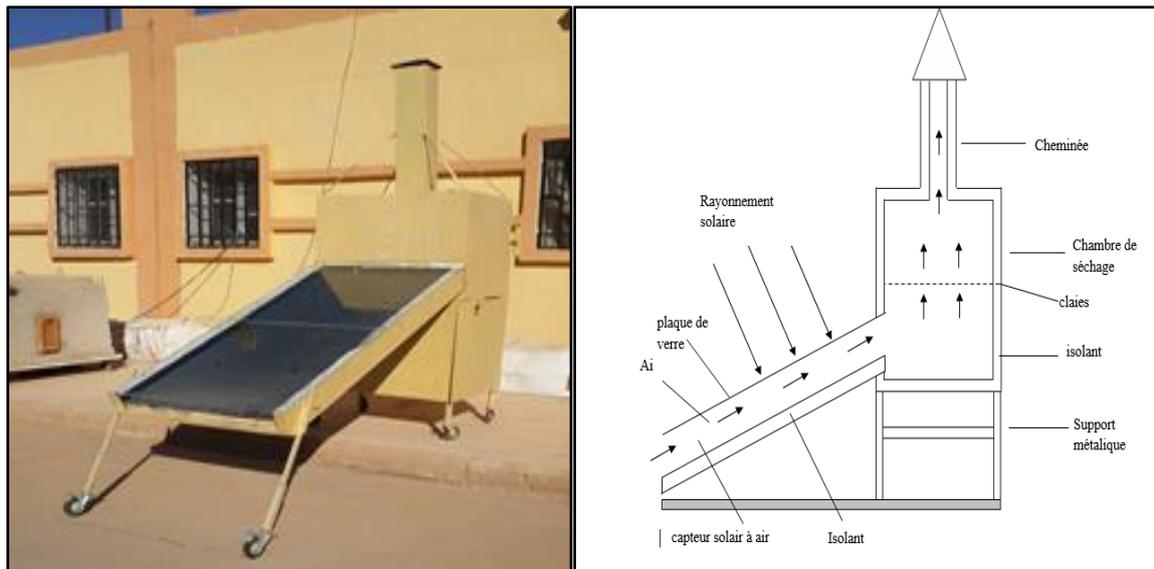


Figure 1 : Photo et schéma de principe du séchoir solaire indirect

2.1.1. Le capteur solaire

Le capteur solaire est un capteur à air plan de longueur de 2 m, une largeur à 1 m, et la hauteur est de 0,13 m, le capteur est recouvert d'une plaque de verre d'épaisseur de 0,004 m, au-dessous de cette plaque et à une distance de 0,06 m est déposée une plaque d'aluminium peinte en noire mate qui sert d'absorbant. Les côtés latéraux, et la partie inférieure sont isolés thermiquement avec du polystyrène. Le capteur est incliné d'un angle de 31° par rapport au plan horizontal et orienté plein sud.

2.1.2. La chambre de séchage

La chambre de séchage est une boîte galvanisée de forme cubique, de hauteur 1 m, de profondeur de 0,8 m, les parois latérales, et les parties inférieures et supérieures sont isolées thermiquement par du polystyrène. La chambre de séchage est munie d'une cheminée cubique fabriquée avec des feuilles galvanisées de hauteur 1 m, les côtés de 0,020 m, les parties latérales sont isolées thermiquement par du polystyrène. La chambre de séchage est posée sur un support métallique, les produits sont déposés à l'intérieur sur une claie de forme rectangulaire composée d'un cadre en métal sur lequel est fixé un grillage permettant le passage de l'air.

2.1.3. La cheminée

La cheminée est un conduit posé sur le dessus de la chambre de séchage, de hauteur 1 m, et la largeur 0,085 m, les parois latérales, et les parties inférieures et supérieures sont isolées thermiquement.

3. Methode de travail sur simulateur

Pour aborder notre étude, nous avons commencé par le traitement du cas du séchoir solaire indirect à l'état original. Nous avons commencé par simuler les champs dynamique et thermique de la cheminée ordinaire en considérant la géométrie et les dimensions réelles. Quelques modifications ont été ensuite considérées sur la cheminée du séchoir de laboratoire illustré, ci-dessus, par la figure 1. D'autre part une simulation détaillée sur la cheminée solaire dans les dimensions initiales puis des modifications pour obtenir le meilleur cas où la ventilation est convenable avec l'homogénéité de distribution de température au sein de la chambre de séchage et la qualité de produit à sécher.

4. Données des conditions opératoires mesurées

Les relevés de deux journées typiques dans deux mois différents : le 28 avril et le 25 juin, ont été choisis pour définir les conditions limites à introduire dans les calculs de simulation. Ces conditions sont données sur le tableau 1 ci-dessous. Notons que la particularité réside dans le fait que la vitesse à l'entrée du capteur diffère en valeur, faible et moyenne vitesse.

Tableau 1 : Conditions aux limites

Journée	V_e (m/s)	T_e (K)	T_{abs} (K)	T_v (K)	T_s (K)
Avril	0.8	313.41	376.28	346.86	345.86
Juin	0.16	318	342	337.3	335

5. Résultats et discussion

5.1. Simulation des cas des conditions des journées typiques

Tableaux 2 : Valeurs de l'expérimental

T_{ch1}	T_{ch2}	T_{ch3}	dans la chambre
334,8	335,1	334,4	Avril

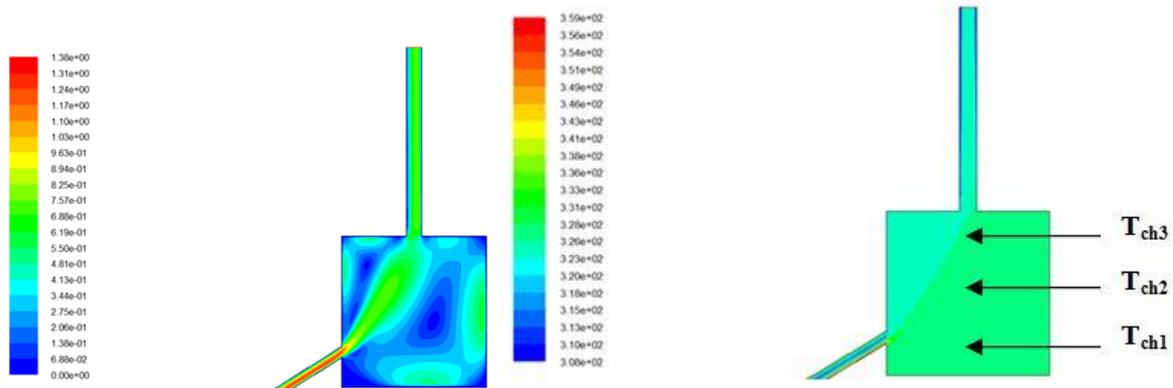


Figure 2 : Distributions de vitesse et de température pour la journée du mois d'avril

Tableau 3 : valeurs des mesures expérimentales

T_{ch1}	T_{ch2}	T_{ch3}	dans la chambre
331	330,7	330,7	Juin

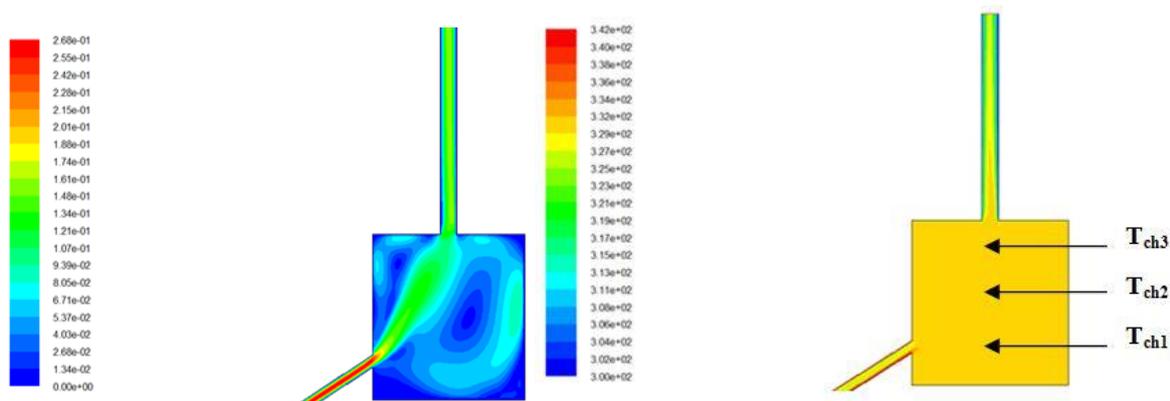


Figure 3 : Distributions de vitesse et de température pour la journée du mois de juin

Les résultats numériques de la distribution des températures au sein de la chambre de séchage et la cheminée donnent des valeurs proches de l'expérience avec une différence de température de 2-3°C probablement due aux instabilités des conditions climatiques. On remarque pour le cas de la journée du mois d'Avril que la température est élevée à l'intérieur de la chambre (323K à 336K) et la distribution de température dans la chambre est presque homogène sauf l'exception du côté gauche de la chambre et la cheminée ; ceci est dû à l'influence de la vitesse de l'air, relativement élevée, à l'entrée du capteur (0.8m/s). Par ailleurs pour le cas de la journée du mois de Juin où la température est complètement homogène à la valeur de 329K à part un petit écart de température sur les deux côtés de la cheminée. Ceci explique l'influence de la vitesse de l'air sur l'homogénéité et la diminution de la température à l'intérieur de la chambre de séchage.

5.2.Simulation de la cheminée ordinaire modifiée

Dans la suite de ce travail nous avons modifié la forme du séchoir en modifiant la longueur, la largeur, l'angle de convergence de la cheminée. L'ensemble des modifications est résumé comme sur le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4: modifications de cheminée ordinaire

Paramètres	Symboles et valeurs	Conception
Longueur de cheminée	$L=1,5m$	<i>C1</i>
Angle de convergence et largeur de cheminée	$\alpha=45^\circ, \ell=0,16m$	<i>C2</i>
positionnement de cheminée (gauche)	gauche	<i>C3</i>
Positionnement de cheminée (droite)	droite	<i>C4</i>

On note ici que dans la suite de présentation et discussion des résultats on se restreint à exposer les résultats correspondants à la journée typique du mois d'avril.

5.2.1.Effet de la variation de la Longueur (conception C1)

Dans ce premier cas nous avons modifié la longueur de la cheminée, les autres paramètres étant maintenus aux valeurs initiales, comme c'est donné sur le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5: Les paramètres du premier cas de modification

Paramètres	Valeurs initiales	Valeurs modifiées
Longueur : L (m)	1.000	1.500
Largeur : l (m)	0.085	*
Angle coude : α	90°	*

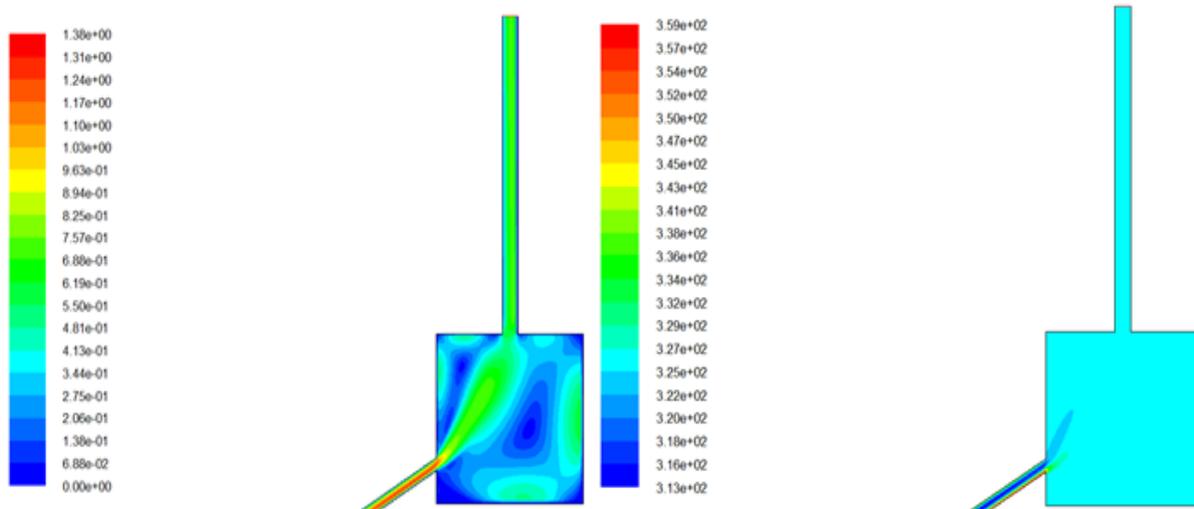


Figure 4: Distributions de vitesse et de température C1

Les résultats de la simulation numérique de la modification de la longueur de cheminée à 1.5m, donnent plus d'homogénéité de distribution de température à l'intérieur de la chambre par comparaison avec les résultats de l'état réel où la longueur de cheminée était de 1m. Nous remarquons une diminution de l'effet négatif de la vitesse élevée d'entrée sur la température de la chambre de séchage qui constatée à l'état réel dans le même mois. Ce résultat confirme l'influence de la longueur de la cheminée 1.5m sur la distribution des températures.

5.2.2 Effet de la variation de l'angle de convergence (Conception C2)

Tableau 6: Les paramètres du 2^{ème} cas de modification

Paramètres	Valeurs initiales	Valeurs modifiées
Longueur : L (m)	1.000	*
Largeur : l (m)	0.085	0.16
Angle coude : α	90°	45°

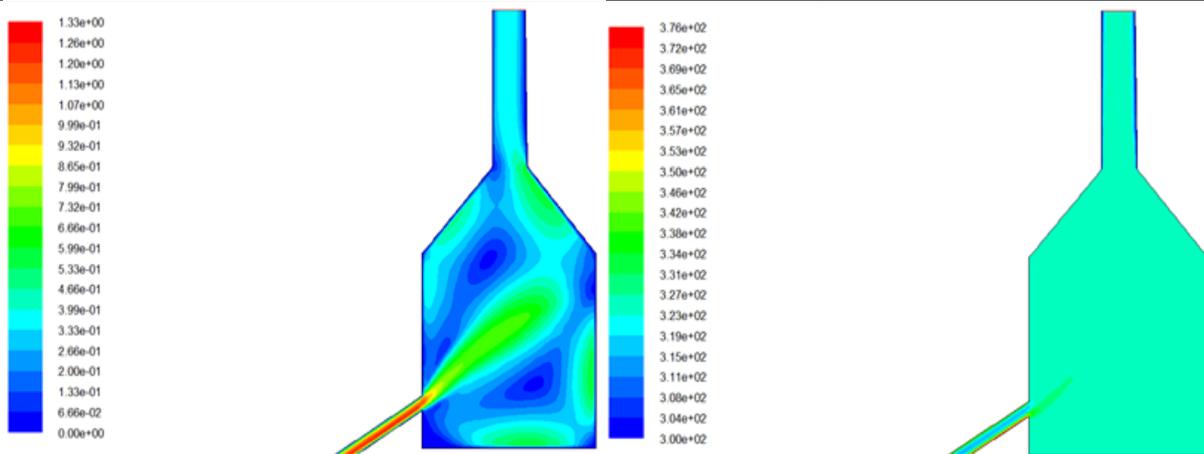


Figure 4 : Distributions de vitesse et de température pour C2

Dans ce cas d'application nous avons adopté une forme optimale selon une étude faite sur le même prototype de séchage [6], (angle de convergence de cheminée $\alpha = 45^\circ$). Nous pouvons voir que l'homogénéité de distribution de température dans la chambre et la cheminée est convenable par comparaison aux résultats à l'état réel et à l'état de cheminée C1. Cela explique que cette forme de cheminée a permis d'éviter les zones d'accumulation des températures et simplifier la circulation et l'évacuation de l'air vers la cheminée. D'autre part nous avons remarqué plus de baisse de la température (320K) grâce à l'influence de la vitesse relativement élevée de l'air à l'entrée du capteur.

5.2.3 Effet du positionnement de la cheminée (gauche et droite)

5.2.3.1 Cheminée à gauche (ConceptionC3)

Tableau 7: Paramètres du 3^{ème} cas de modification

Paramètres	Valeurs initiales	Valeurs modifiées
Longueur : L (m)	1.000	*
Largeur : l (m)	0.085	*
Angle coude : α	90°	*

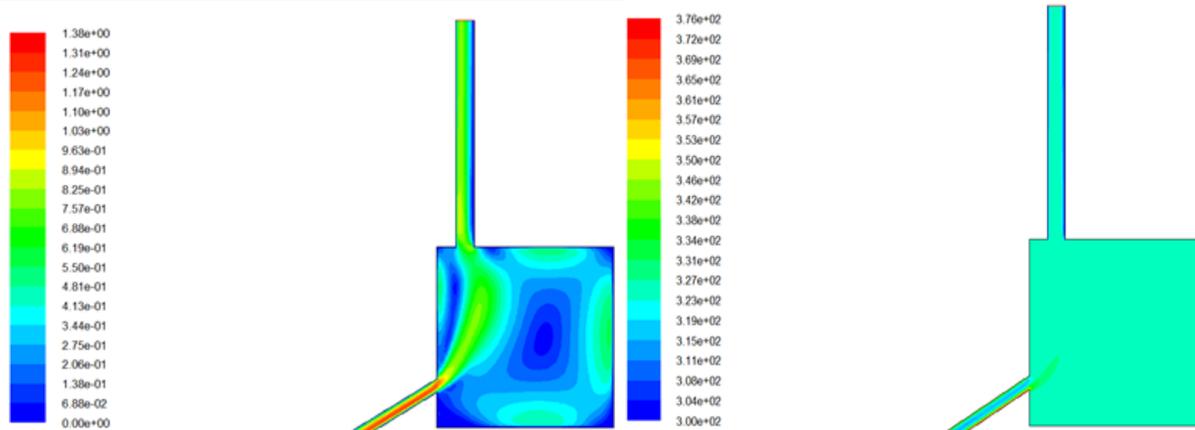


Figure 5 : Distributions de vitesse et de température pour C3

Les résultats de la simulation numérique de la cheminée positionnée à gauche de la chambre, nous donnent une meilleure homogénéité de distribution de la température à l'intérieur de la chambre par la comparaison aux résultats de l'état réel. On remarque alors une température 322K. Cette diminution de température peut être expliquée par l'effet négatif de la vitesse de l'air dans ce positionnement de la cheminée.

5.2.3.2 Cheminée élargie positionnée à droite (ConceptionC4)

Tableau 8 : Paramètres du 4^{ème} cas de modification

Paramètres	Valeurs initiales	Valeurs modifiées
Longueur : L (m)	1.000	*
Largeur : l (m)	0.085	0.16
Angle coude : α	90°	*

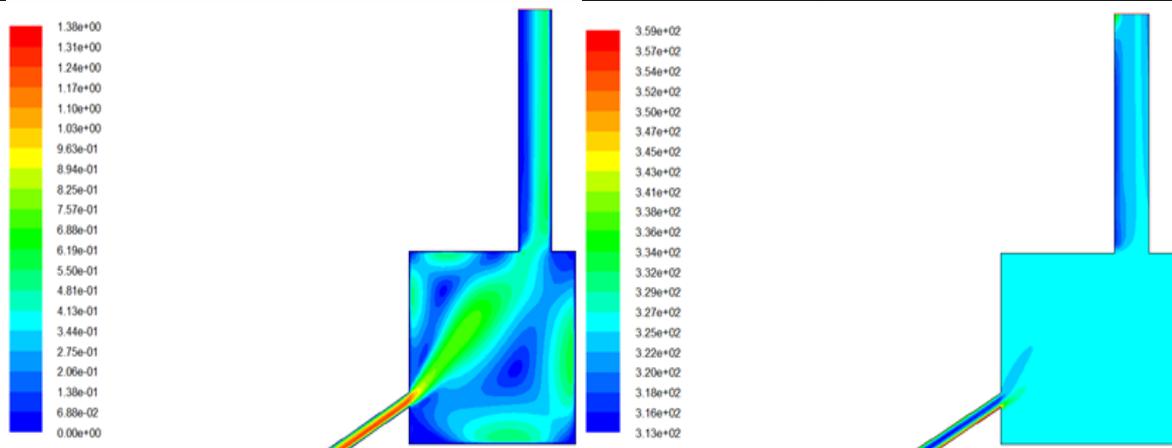


Figure 6 : Distributions de vitesse et de température selon la configuration C4

Dans ce cas la simulation de la cheminée, élargie à 0,16m de coté et positionnée sur le côté droit, a montré une température dans la chambre relativement faible par comparaison avec celle à l'état réel dans les mêmes conditions climatiques avec un écart de 2°C entre les deux cas (réel et modifié). L'homogénéité de distribution de la température dans la chambre est vérifiée sauf à côté de la cheminée où on observe un écart de 5°C et 7°C, ce qui peut être expliqué par le fait que la modification de position et la largeur de la cheminée diminue la température et affecte l'homogénéité de distribution de la température dans la chambre malgré la vitesse de l'air plus grande.

5.3. Simulation de la cheminée solaire

Dans cette partie nous avons considéré une cheminée dotée d'un vitrage et une plaque absorbante soit une configuration connue sous l'appellation de cheminée solaire. Nous avons alors choisi de simuler cette cheminée avec les meilleures configurations obtenues dans le cas d'étude précédente où la ventilation du séchoir était assurée par une cheminée ordinaire [9]. Le tableau 9 résume les configurations testées numériquement.

Tableau 9 : Configurations testées pour le cas de la cheminée solaire

Paramètres	Symboles et valeurs	Conception
Positionnement de cheminée solaire a gauche	Gauche et $\ell=0,16m$	CS1
Positionnement de cheminée solaire a droite	Droite et $\ell=0,16m$	CS2

5.3.3. Effet de la variation de positionnement de cheminée à gauche et droite

5.3.3.1 Cheminée solaire à gauche ($\ell = 0.16m$) (Conception CS1)

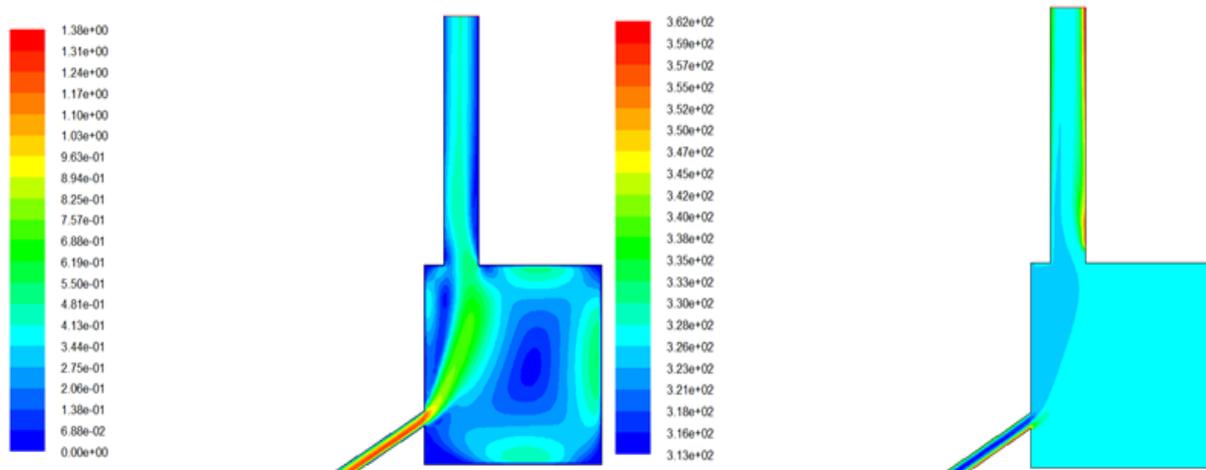


Figure 10: Distributions de vitesse et de température la cheminée solaire CS1

La simulation des transferts dans la cheminée solaire élargie a donné une meilleure homogénéité comparée au même cas avec la cheminée ordinaire. Ce qui prouve un effet cumulé positif de cette configuration.

5.3.3.2 Cheminée solaire à droite ($\ell = 0.16m$) (Conception CS2)

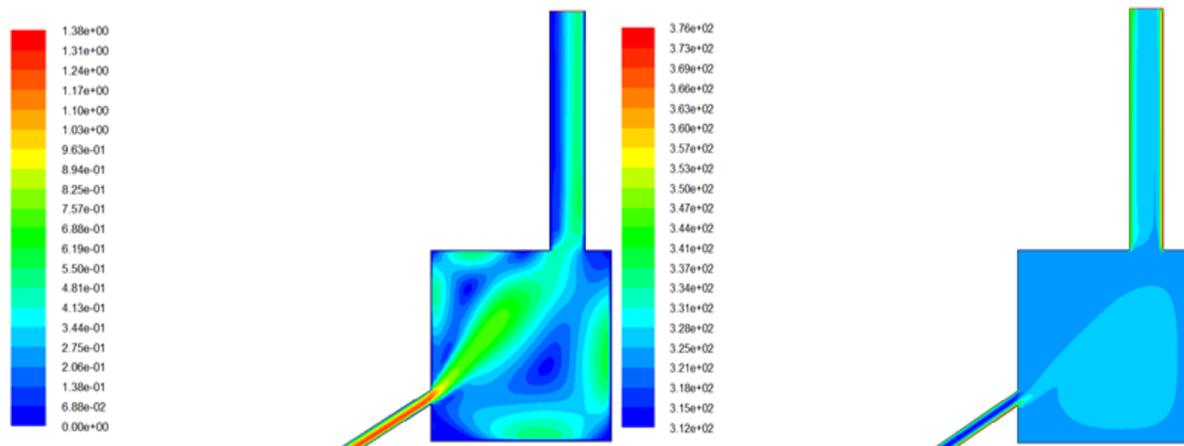


Figure 11: Distributions de vitesse et de température la cheminée solaire CS2

La modification de la largeur et la position de la cheminée solaire au côté droit a entraîné moins d'homogénéité de la distribution de température à l'intérieur de la chambre. Une augmentation est remarquée en température (325K) avec l'accumulation à l'intérieur de la chambre avec une distribution relativement homogène.

6. Conclusion

La motivation principale de cette étude visait l'évaluation du comportement de la cheminée ordinaire et la cheminée solaire ajustée et sa performance thermique à l'intérieur de la chambre du séchoir, de manière à accroître la circulation d'air dans les séchoirs à convection naturelle. Ce travail, à base de calcul numérique, a été monté et validé par une comparaison avec les résultats expérimentaux relatifs à des mesures prises sur un prototype de séchage solaire indirect à échelle de laboratoire. Afin d'atteindre l'objectif désiré, une simulation numérique de l'écoulement convectif a été effectuée avec le code de calcul Fluent pour visualiser les différents phénomènes qui gouvernent l'écoulement.

En premier lieu, l'étude a concerné une cheminée ordinaire assujettie à différentes modifications. Les résultats ainsi obtenus ont ressorti la cheminée de longueur 1,5m placée au côté droit de la face est du séchoir comme étant le cas préféré en termes d'homogénéisation du champ de température dans la chambre de séchage. Dans un second lieu les mêmes simulations ont été reconduites utilisant une cheminée solaire. Il a été remarqué à chaque fois l'impact de l'extraction de l'air par cette technique sur le comportement du séchoir et la meilleure configuration retenue correspondait alors à une cheminée solaire de longueur 1,5m mais placée au côté gauche de la face est du système de séchage.

Références

- [1] Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition – GearTeamDuffie JA, Beckman WA. Solar Engineering of thermal processes. 4th edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2013.
- [2] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [3] A. Mefti; M.Y Bouroubi; H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N° 2, P12, décembre 2002.
- [4] D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, magister génie des procédés, université de Ouargla, 2006.
- [5] S. Oumaya, Correction d'une géométrie d'un séchoir solaire par le code FLUENT, mémoire d'ingénieur d'Etat, Génie des Procédés, Université de Ouargla, 2010.
- [6] A. Babahani, Investigation expérimentale d'un séchoir Solaire indirect en vue d'amélioration de la qualité du produit fini, Magister Génie des Procédés, Université de Ouargla, 2013.
- [7] D. Semmar, S-A Betrouni et D. Lafri, «Étude théorique et expérimentale d'un capteur à air», 4^{ème} Séminaire International sur la Physique Énergétique, 10-12 Novembre 1998. Béchar . ALGERIE
- [8] M. Amraoui, Etude numérique d'un capteur solaire plan à air influence de la forme de rugosité , mémoire de magister, Génie Mécanique, 2011-2012.
- [9] M. O. Hamdan et al. (eds.), ICREGA'14 - Renewable Energy: Generation and Applications, 2014