



Numerical study of the chimney-collector junction geometry influence on the solar chimney performances

Étude numérique de l'influence de la géométrie de la jonction cheminée-collecteur sur les performances d'une cheminée solaire

Sahraoui KHERRIS^{a*}, Said MEKROUSSI^b, Djallel ZEBBAR^a, Kouider MOSTEFA^a, Mohammed MAKHLOUF^c et Lilia SAIDI^a

^a Institut des Sciences et de la Technologie, Centre Universitaire El-Wancharissi de Tissemsilt, Algérie

^b Département de Génie Mécanique, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie

^c Département de Génie Mécanique, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbes, Algérie

ARTICLE INFO

Article history :

Received 25 September 18

Accepted 17 November 18

Mots clés:

cheminée solaire; Puissance électrique ;
 Jonction ; Simulation numérique ;
 Énergie renouvelable.

Keywords:

Solar chimney ; Electrical power ;
 Junction ; Numerical simulation ;
 Renewable energy.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the influence of the chimney-collector junction geometry on the performance of the solar chimney CCS. Three geometries are chosen for this study: perpendicular, curved and inclined. A mathematical modeling of the CCS has been developed. The results of the numerical simulation obtained were presented, interpreted and compared. They show that the junction in half-circle form is the most favorable.

RÉSUMÉ

L'objectif du présent travail porte sur une étude numérique de l'influence de la géométrie de la jonction cheminée-collecteur pour une meilleure performance de la centrale cheminée solaire CCS. Trois géométries ont été choisies à fin de réaliser l'étude-ci présente : perpendiculaire, courbée et inclinée. Une modélisation mathématique de la CCS a été élaborée. Les résultats de la simulation numérique obtenus ont été présentés, interprétés et comparés. La lecture des résultats obtenus pour les trois géométries en question montre que la jonction sous forme de demi-cercle est la plus favorable.

1 Introduction

L'épuisement des ressources d'énergie d'origine fossile et le réchauffement climatique de la planète dû aux émissions des gaz à effet de serre ont conduit les pouvoirs publics à promouvoir des politiques de développement d'énergie durable.

* Corresponding author. Tel.: +273 674733325.
 kherris.sahaoui@gmail.com

La 21e Conférence des Nations Unies sur le changement climatique (COP 21) s'est tenue en décembre 2015. La première Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) a été adoptée en 1992 au sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Brésil). Cette convention a été prolongée par le protocole de Kyoto adopté en 1997. Ce dernier est un traité international ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Chaque année, des participants à ces conférences se réunissent pour décider des mesures à mettre en place, dans le but de limiter le réchauffement climatique. Ce protocole vise à réduire les émissions de six gaz à effet de serre : dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote et trois substituts des chlorofluorocarbones. Les énergies renouvelables constituent à cet effet l'alternative où le potentiel est important mais largement sous exploité dans la production énergétique. Un pays comme l'Algérie, qui se base presque exclusivement sur les combustibles fossiles 99.2% pour répondre aux besoins croissants d'électricité de sa population pourra bien en tirer profit. Malgré qu'elle soit parmi les pays qui disposent d'un potentiel important en énergies renouvelables, elle n'occupe qu'une part très marginale de la production électrique nationale 0.8% ; cette production est partagée entre la filière hydraulique qui génère 0.7%, et les filières solaires photovoltaïques et thermodynamique qui ne représentent que 0.1% de la production totale.

L'énergie électrique est considérée comme étant un facteur essentiel au développement économique. Son importance relative s'accroît avec les progrès technologiques et l'augmentation de sa production est donc synonyme de l'amélioration de la qualité de vie. C'est pourquoi l'Algérie amorce aujourd'hui une dynamique verte avec le lancement d'un programme prévoyant des installations énergétiques, dans le but de couvrir les besoins en électricité et d'apporter des solutions globales et durables qui n'engendrent pas les précédentes problématiques, et pour parer au déclin énergétique et environnemental de notre planète. Il faudra donc trouver des solutions bien plus réfléchies et performantes que celles qui nous ont permis d'arriver à cet état de décadence mondiale. Le secteur solaire devrait connaître un boum spectaculaire dans la production d'électricité en Algérie. Des ambitions existent pour la réalisation d'une centrale avec plus de 1000 MW de puissance avant 2025.

La centrale à cheminée solaire (CCS) est un générateur naturel à énergie renouvelable (fig.1), construite de manière à canaliser de l'air chauffé par le soleil. Grâce au phénomène de convection naturelle, l'air chauffé par l'effet de serre au bas du collecteur, est dirigé vers le haut de la cheminée. Le flux d'air créé permet alors de produire un vent artificiel qui entraîne la rotation d'une ou plusieurs turbines générant ainsi de l'électricité.

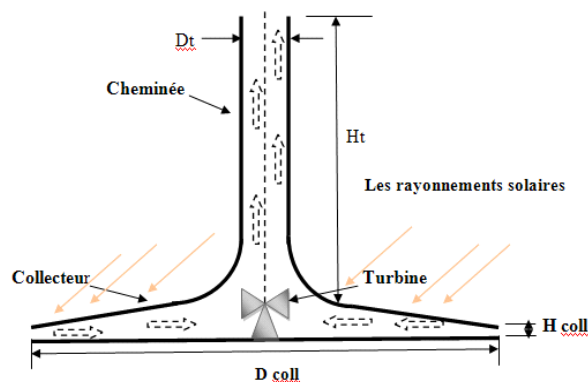


Fig.1- Présentation schématique d'une CCS [2]

La tour solaire à effet de cheminée est l'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie électrique. Actuellement, il existe une centrale construite à Manzanares (194 m) [1] et d'autres projets sont en cours d'étude

tels que ceux de Mildura (1000 m), Ciudad Real en Espagne (750 m), La Namibie (1500 m) et d'autres.

Aujourd'hui, ce n'est pas un problème de construction des cheminées de telles hauteurs (au Japon ils ont des plans pour construire des gratte-ciel avec une hauteur de 2000 m). Il y a donc beaucoup de possibilités pour construire des cheminées de grande hauteur. Le seul hic est que l'investissement de départ est plus lourd par rapport à d'autres sources conventionnelles. La compensation du coût devra miser sur une production à très grande échelle d'électricité avec une performance élevée. De nombreux travaux en particulier ceux des deux dernières décennies ont été publiés, dont la plupart des œuvres traitent l'effet de la variation des paramètres d'entrées sur les paramètres de sorties ainsi que des paramètres géométriques tels que l'inclinaison, la hauteur et d'autres.

Dos, M.A et al. [3] ont examiné mathématiquement l'effet des conditions ambiantes et les dimensions structurelles sur la puissance produite. Les résultats montrent que la hauteur de la cheminée, le facteur de chute de pression, le diamètre et les propriétés optiques du collecteur sont des paramètres importants pour la conception d'une cheminée solaire, qui influent grandement sur les paramètres de sorties.

La simulation numérique axisymétrique, qui est réalisée avec ANSYS Fluent par *Shams et al.* [4] montre que la puissance est proportionnelle à la hauteur de la tour et le diamètre du collecteur.

Dans la même année *Ong, K.S.* [5] a proposé un modèle mathématique afin de prévoir ses performances, tout en variant les caractéristiques ambiantes ainsi que géométriques, en prévoyant la température de glace de la serre, la chaleur absorbée par le mur de la cheminée et également mesurer la vitesse de l'air induit. Cet auteur a montré que cette dernière est comprise entre 0.25-0.39 m/s pour une intensité de rayonnement avoisinant les 650 W.m².

Maia, C.B. et al. [6] ont analysé l'effet du rayon de la tour sur la température de l'écoulement. Ils ont conclu que plus le rayon de la tour est grand, plus la température de l'écoulement dans le collecteur est moindre.

Bernarde, M.A. [7] avait développé une étude analytique et numérique pour la cheminée solaire, tout en examinant l'effet de divers conditions environnementales ainsi que structurelle de la central sur la puissance électrique. Il a montré que la hauteur de la cheminée, le facteur de chute de pression au niveau de la turbine, le diamètre et les propriétés optiques du collecteur influent excessivement sur la puissance produite.

Gannon, A.J. et Backstrom, T.W.V. [8] avaient testé l'utilisation de la turbine éolienne dans la cheminée solaire. Par ailleurs, *Negrout, B et al.* [9] avaient analysé l'écoulement dans le cas où la conception contient des turbomachines ou des turboéoliennes, d'où ils ont essayé de développer un modèle efficace.

Bilgen, E. et Rheault, J. [10] ont testé mathématiquement la performance de la CCS de production de 5 MW en utilisant des bases de données moyennes mensuelles dans trois endroits de latitude différentes. Les résultats montrent que l'installation aux latitudes élevées peut avoir des performances satisfaisantes et produit plus de 85%.

Tan, Y.K.A. et al. [11] confirment la réussite de l'installation de la cheminée solaire dans les régions tropicales humides et chaudes y compris pendant les journées froides. Dans un autre document *Tan, Y.K.A. et al.* [12] affirment que pour optimiser la cheminée solaire dans les pays tropicaux, il est recommandé de maximiser sa largeur. De plus, la largeur de la cheminée solaire est le facteur le plus significatif ayant une influence sur la vitesse de l'écoulement de l'air à l'intérieur de la cheminée.

Compte tenu de l'importance du rapport de chute de pression dans l'amélioration de la production électrique de CCS, il est intéressant de connaître sa valeur optimale pour une puissance maximale. Pour cela *Nizetic, S.A. et Klarin, B.*

[13] ont conclu que le rapport optimal de la chute de pression de la turbine est entre 0.8 et 0.9. Un an après, *Koonsrisuk, A.* et *Chitsomboon, T.* [14] ont modélisé mathématiquement la CCS et ils ont affirmé que le facteur de chute de pression optimal est de l'ordre de 0.84 presque identique à celui évalué par *Penghua, G. et al.* [15] égale à 0.9. Ce facteur a été estimé par *Von Backstrom et Fluri* [16] égal à 2/3.

Sakonidou, E.P. et al. [17] ont déterminé l'inclinaison de la cheminée qui maximise l'air entrant ainsi que le facteur de transmission et l'absorption du vitrage ; en tenant compte de la vitesse de l'air à l'entrée et la température du vitrage.

Trois configurations de P.C.U (power convection unit) à savoir un seul axe vertical, multi-axes vertical et axe multiple horizontal ont été vérifiées par *Fluri, T.P. et al.* [18]. Ils ont constaté que la turbine avec un seul axe vertical a un faible avantage concernant l'efficacité du rendement à cause de l'absence de certain mécanisme de pertes, mais par contre son couple de production est grand et son entraînement est coûteux, ce qui rend sa faisabilité incertaine.

Ninic, N. [19] avait estimé dans son article « energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration » le travail potentiel disponible de l'air atmosphérique qui coule au-dessus de la surface du collecteur.

Profitant de la grande superficie du collecteur, *Nerreira et al.* [20] confirment la faisabilité de l'utilisation de la cheminée solaire comme séchoir pour produits agricoles, et ce là après avoir construit un prototype de la cheminée solaire dans laquelle ils avaient vérifié la vitesse de l'air, la température et l'humidité en fonction d'irradiations solaire.

Une simulation numérique a été effectuée par *Tingzhenet, T. et al.* [21] en utilisant le prototype de l'Espagne qui comporte une turbine à 3 pales. Les résultats montrent que l'augmentation de la vitesse de rotation de la turbine influe sur la vitesse de l'air à la sortie de la tour, où elle chute et fait réduire le débit massique.

Semai, H. [22] dans sa thèse de magistère avait étudié en 3D l'écoulement du fluide dans la cheminée solaire en régime turbulent, sous l'effet de la convection naturelle en régime non stationnaire en utilisant les mêmes dimensions du prototype de Manzanares, sauf que cette fois-ci le capteur présente une inclinaison avec un système de stockage. Le but de l'étude en question est de localiser la région dans laquelle la vitesse atteint son maximum, et de voir l'impact du stockage sur la performance du système.

Tayebi, T. [23] a étudié numériquement l'effet de la géométrie de la cheminée sur le phénomène de la convection naturelle laminaire en régime permanent, en se basant sur un schéma de discrétisations avec la méthode des volumes finis. Les résultats obtenus montrent que les caractéristiques géométriques ont une influence sur le transfert de chaleur. Plus est élevé l'espace entre le sol et le collecteur d'autant est meilleur le transfert de chaleur.

Larbi, S. et al. [24] avaient estimé dans leur article « *Performance Analysis of a Solar Chimney Power Plant in the South western Region of Algeria* » la puissance électrique que peut produire une cheminée solaire, en supposant qu'elle est installée dans un village isolé situé dans la région du sud-ouest algérien.

Sangi, R. et al. [25] procédaient à une analyse numérique plus détaillée, d'une centrale solaire basée sur les équations de Navier-Stokes afin de décrire le mécanisme de la centrale. Le logiciel fluent a été utilisé pour la résolution numérique.. Les résultats numériques sont raisonnablement en accord avec les données expérimentales du prototype de Manzanares.

Bouziane, I. [26] a effectué une simulation numérique à l'aide du logiciel gambit et le code fluent en appliquant le modèle de Manzanares. Son objectif est de développer une technique de stockage d'énergie thermique basée sur une source géothermique à fin d'améliorer la production nocturne.

Ming, T. et al. [27] ont étudié l'impact du vent latéral externe sur les paramètres de sortie tels que le débit massique et

la puissance de sortie. Ils ont découvert que le vent latéral et sa force ont une influence sur la performance de la cheminée.

Un programme de TRNSYS était établi pour l'évaluation de la performance de la cheminée solaire. *Fei, C. et al.* [28] ont affirmé dans leur document que TRNSYS est un outil efficace et conventionnel pour évaluer la performance de la centrale solaire.

Lebbi, M. et al. [29] ont analysé numériquement le comportement de l'écoulement au dessous du collecteur en fonction des variations des paramètres géométrique telle que le diamètre de la tour et la hauteur du toit du collecteur. Ils ont fini par prouver que l'augmentation de ces derniers engendre la vitesse de l'écoulement maximale au dessous de la serre mais diminue sa température.

Alex Yong et al. [30] ont étudié l'influence de la vitesse de l'air ambiant et la chaleur interne sur la performance de la cheminée. Ils ont déterminé que la vitesse de l'air ambiant influe sur la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée sauf si elle dépasse 2 m/s.

Un modèle expérimental et numérique de la cheminée solaire a été proposé par *Abdulnabi, I. et al.* [31]. Il prévoit l'amélioration de la cheminée solaire en variant son inclinaison entre 15 et 60°. Les résultats du modèle numérique ont montré que l'angle optimal est de 60°.

Siyang, Hu [32] a examiné par une simulation numérique l'effet de la variation de la géométrie de la paroi-guide sur la performance de la centrale cheminée. Il a prouvé que la hauteur de la paroi-guide a une influence sur le débit massique qui est quasiment indépendant de son rayon. Quant à la vitesse et la force motrice sont significativement dépendantes de celle-ci.

Gholmalizadeh, E. et al. [33] ont démontré que l'augmentation de l'inclinaison du toit du collecteur entraîne une augmentation du débit massique. Ils ont montré aussi que la vitesse d'entrée dans le cas du toit incliné est plus élevée par rapport à celle obtenue pour le cas du toit avec une pente nulle.

Cottam, P.J. et al. [34] ont élaboré un model analytique pour décrire avec précision l'impact des différentes conceptions de la jonction sur la performance de la centrale. Ils ont décrit dans leurs résultats que la hauteur de la canopée a une importance sur la performance de la centrale et que le toit collecteur doit être suffisamment élevé par rapport à la jonction pour assurer le maximum d'énergie cinétique.

Une étude numérique d'une cheminée solaire de 2 km de rayon et de 1 km de hauteur est faite par *Fariborz, K. et Yang, M.* [35]. Son objectif est de déterminer l'impact de la hauteur d'entrée du collecteur et du rayon sur les caractéristiques thermiques intérieures.

Semai, H. et al. [36] avaient étudié l'influence de la pente du collecteur sur la performance de la centrale. Deux cas de cheminée ont été considérés. Le premier système de cheminée avec uniquement le sol sous le collecteur, alors que le deuxième possède une cuvette de 10 cm d'épaisseur gorgée d'eau. L'étude a mis en évidence l'impact positif de la deuxième configuration sur la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée.

Chergui, B. et al. [37] ont étudié l'influence de la forme de la tour pour deux angles différents de la tour. La première tour a un angle divergent, alors que celui de la deuxième est convergent. Ils ont démontré que la forme divergente engendre l'augmentation du débit massique. Alors que l'autre forme engendre une diminution du débit massique.

Zhou et al. [38] ont réalisé une étude numérique sur une centrale à effet de cheminée en se basant sur les équations de Navier-Stokes. Ils ont prouvé que le champ de la température augmente à partir de l'ouverture en allant au centre du

collecteur et précisément, le maximum des températures du collecteur est généralement situé à une distance de 0-5 à 3-5 m à partir du centre du collecteur.

Cheloufi, DJ. [39] a effectué des expériences sur une maquette de cheminée solaire. Il a observé que la vitesse maximale de l'écoulement est obtenue entre 13h00 et 14h30.

Akchich, Z. [40] a étudié le comportement de la cheminée solaire sur un dispositif expérimental complété par une simulation avec le code Fluent pour deux différentes géométries et inclinaisons.

Gannon *et al.* [41] ont étudié l'écoulement compressible unidimensionnel dans la cheminée avec variation de la hauteur de la tour et du frottement au voisinage des parois.

Kherris *et al.* [42] avaient effectué une étude de l'efficacité énergétique d'une centrale à cheminée solaire destinée à la production d'énergie électrique dans la ville de Tissemsilt. Les résultats montrent que la production d'électricité augmente avec l'augmentation de la hauteur de la cheminée et de la surface du collecteur. Plus encore, l'étude a souligné que l'irradiation solaire a une grande influence sur la productivité de la tour.

L'objectif de cette présente étude est la contribution à l'étude numérique de l'influence de la géométrie de la jonction cheminée-collecteur sur les performances de la cheminée solaire. Elle vient compléter les travaux sur l'influence de la géométrie de la jonction cheminée-collecteur sur les performances de la cheminée solaire à savoir la distribution de la température et celle de la vitesse.

2 Équations du mouvement

La configuration géométrique étudiée est représentée sur la fig.2, il s'agit d'une cheminée solaire dont les conditions aux limites ont été imposées de façon à garantir un écoulement laminaire le long du dispositif, tout en considérant que la paroi de la tour est supposée adiabatique, la température de la surface du sol est la température chaude $T_{\text{sol}}=325$ K, quant à l'air entrant dans le collecteur sa température est celle du milieu ambiant $T_0=300$ K avec des vitesses axiale et radiale nulles (Fig.2).

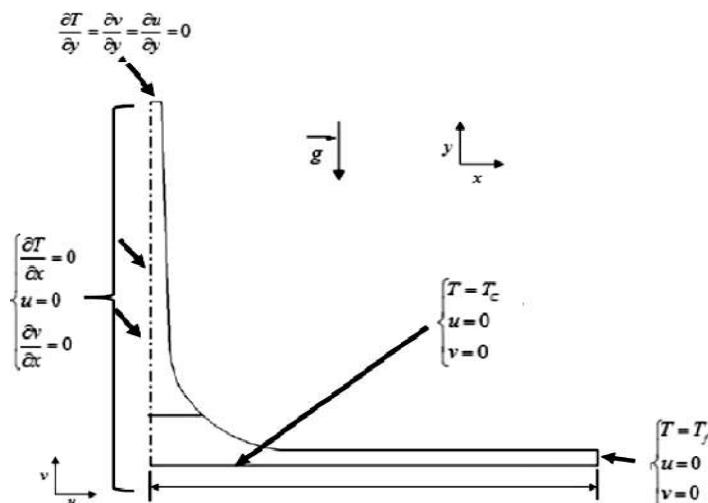


Fig.2- Schéma du problème

Les équations adimensionnelles régissant le problème sont :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

$$U \frac{\partial v}{\partial X} + V \frac{\partial v}{\partial Y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial Y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial Y^2} \right) - g \quad (3)$$

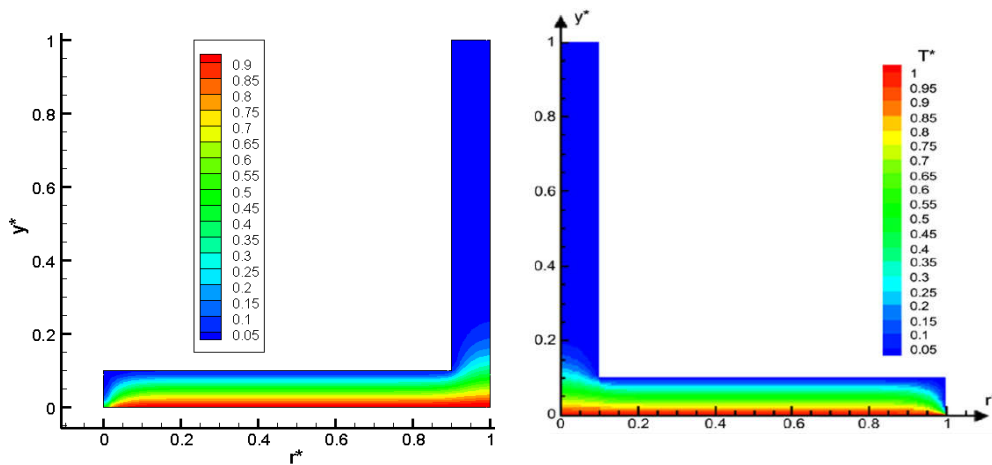
$$\left(U \frac{\partial T}{\partial X} + v \frac{\partial T}{\partial Y} \right) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) \quad (4)$$

3 Résultats et discussions

Afin de trouver la meilleure géométrie de la jonction, une étude numérique de la convection laminaire dans une première étape a été effectuée. Une validation des résultats obtenus par simulation numérique avec ceux obtenus par d'autres auteurs a été effectuée.

3.1 Validation des résultats

Les figures 3 et 5 représentent une comparaison (thermique et dynamique) entre les résultats rapportés par Chergui et *al.* [41] et ceux de la présente étude. Cependant, les mêmes conditions aux limites adimensionnelles pour un nombre de Rayleigh $Ra = 100$ ont été utilisées. Une bonne concordance est ainsi obtenue.



a)- Présente étude

b)- Chergui et *al.* [41]

Fig.3 – Validation des résultats de température

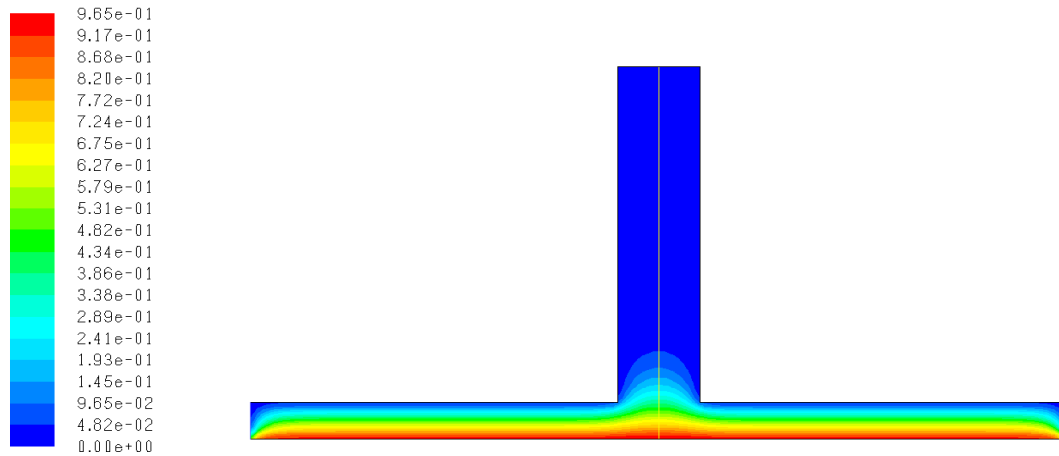


Fig.4 – Contours de la température adimensionnelle pour Ra= 100 et e/H=0.1

Il en ressort que la température maximale dans les deux résultats est située près du sol en raison de l'échange thermique entre l'air et la surface du sol.

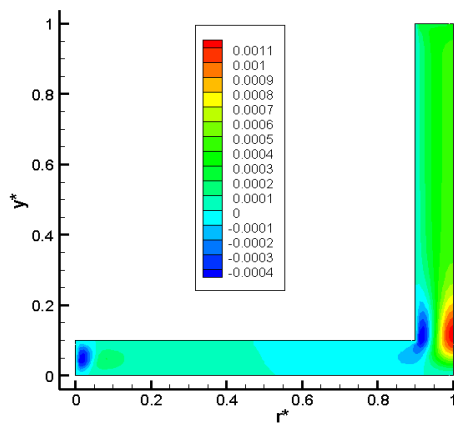


Fig.5 – Distribution de la vitesse

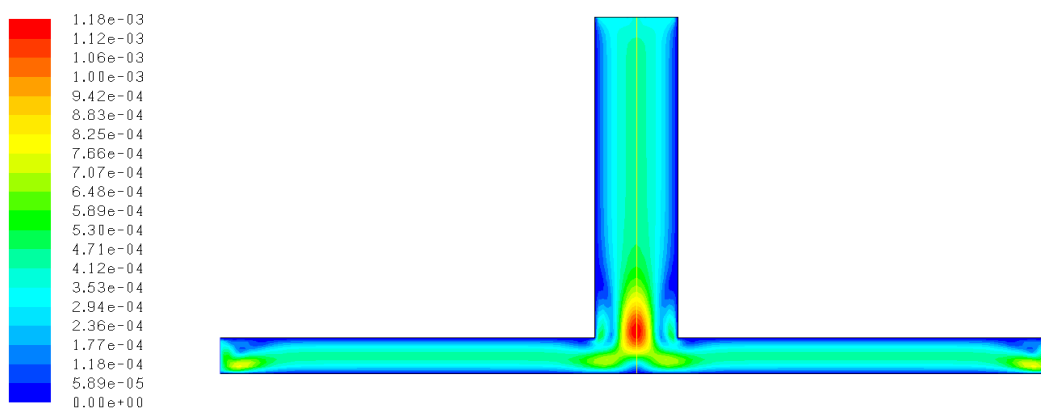
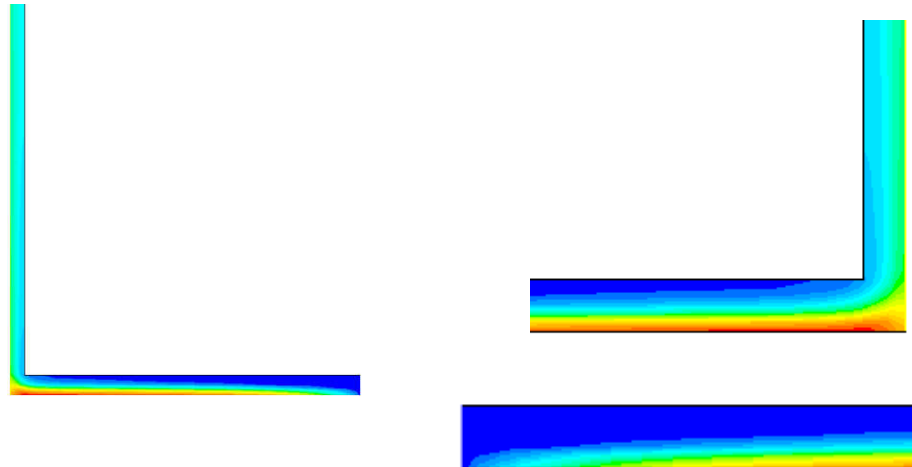
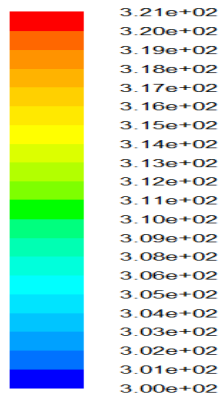


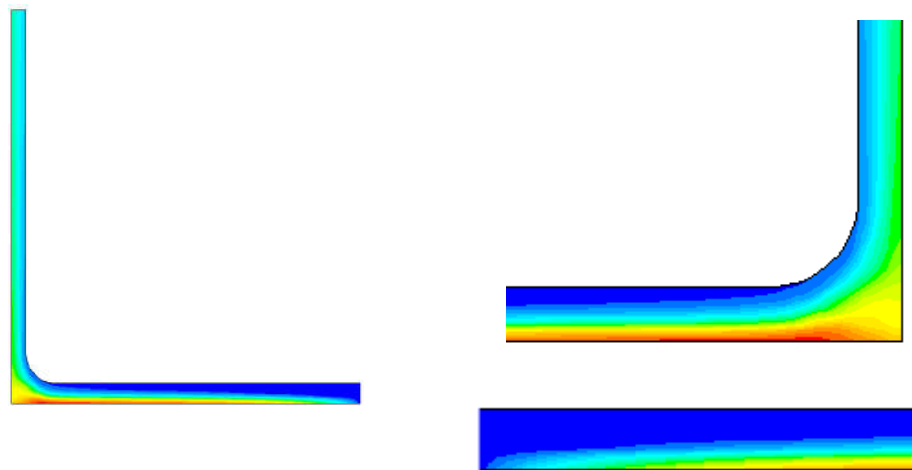
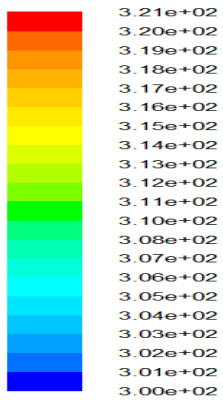
Fig.6 – Contours de la vitesse adimensionnelle pour Ra= 100 et e/H=0.1

On note aussi que la vitesse augmente avec l'augmentation du nombre de Rayleigh et elle atteint son maximum approximativement dans la cheminée, alors que sa valeur minimale se trouve au voisinage des parois.

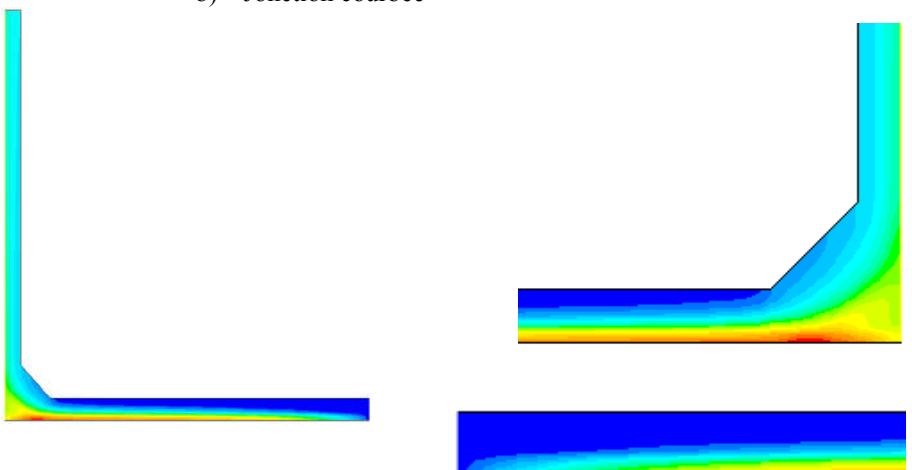
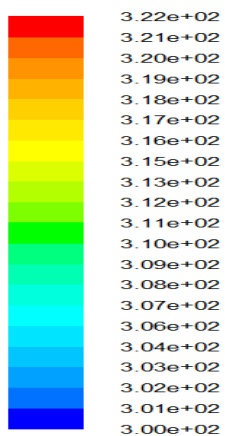
3.2 Champ de température



a) Jonction droite



b) Jonction courbée



c) Jonction inclinée

Fig.7 – Contour de température

La Figure 7 présente la distribution de la température dans la cheminée solaire pour la jonction droite, inclinée et courbée.

Les trois jonctions présentent l'évolution de la température le long du collecteur, dans lesquelles la température de l'écoulement augmente en allant vers le centre du collecteur (sens horizontal) et diminue du sol vers le toit jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur minimale (sens vertical). Il faut noter que sa valeur maximale est au voisinage du sol à cause de l'échange thermique entre l'air et la surface du sol qui sert à emmagasiner la chaleur des rayonnements transmis.

Il en ressort notamment que les faibles températures sont situées au voisinage des parois de la cheminée. Cette tendance disparaît progressivement en aval de la cheminée où l'échange par convection devient de plus en plus faible.

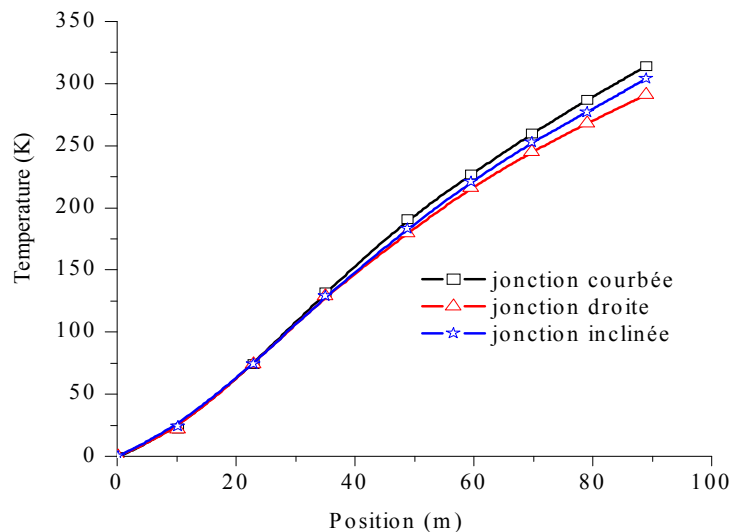


Fig.8 – La variation de la température le long du diamètre du collecteur

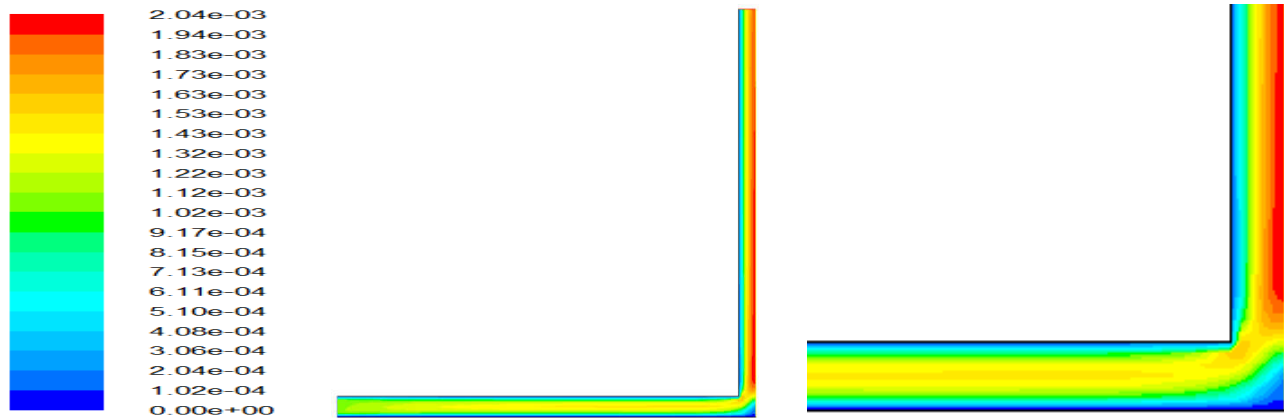
La figure 8 présente l'évolution de la température le long du diamètre du collecteur de son entrée jusqu'à sa sortie (centre du collecteur). L'influence de la jonction n'est pas fortement prononcée en fonction de la température. La température dans le cas de la jonction courbée atteint la plus haute température en comparaison aux cas de jonctions perpendiculaire et inclinée. Il y a lieu de noter que la température est minimale à l'entrée du collecteur et augmente en allant vers le centre du collecteur.

3.4 Champ de vitesse

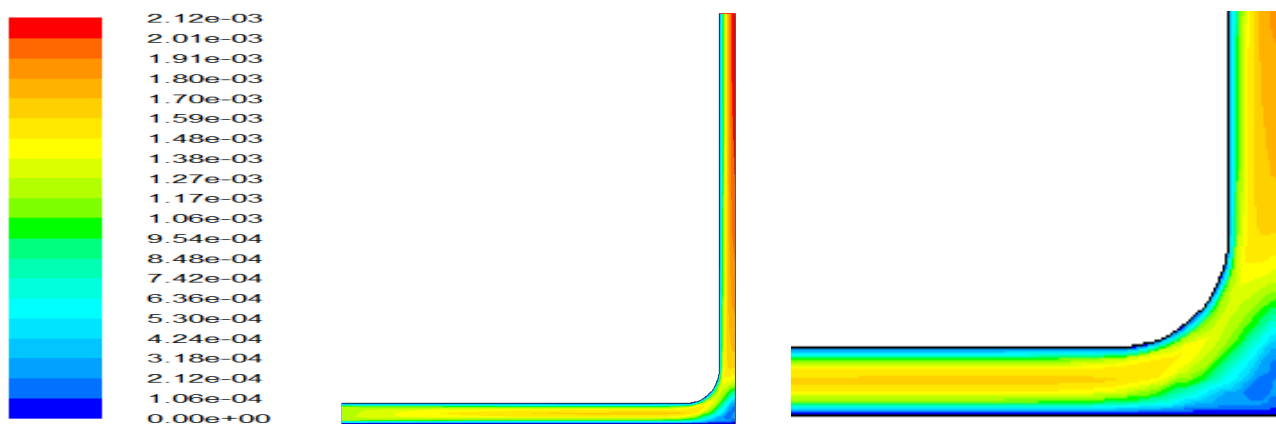
La figure 9 indique la vitesse de l'air le long de la cheminée solaire. Il a été démontré que la vitesse atteint sa valeur maximale au bas de la cheminée à cause du rétrécissement de la section de passage.

Les vitesses s'annulent sur les parois par effet d'adhérence (la condition à la limite imposée sur la paroi de vitre, et de l'absorbeur).

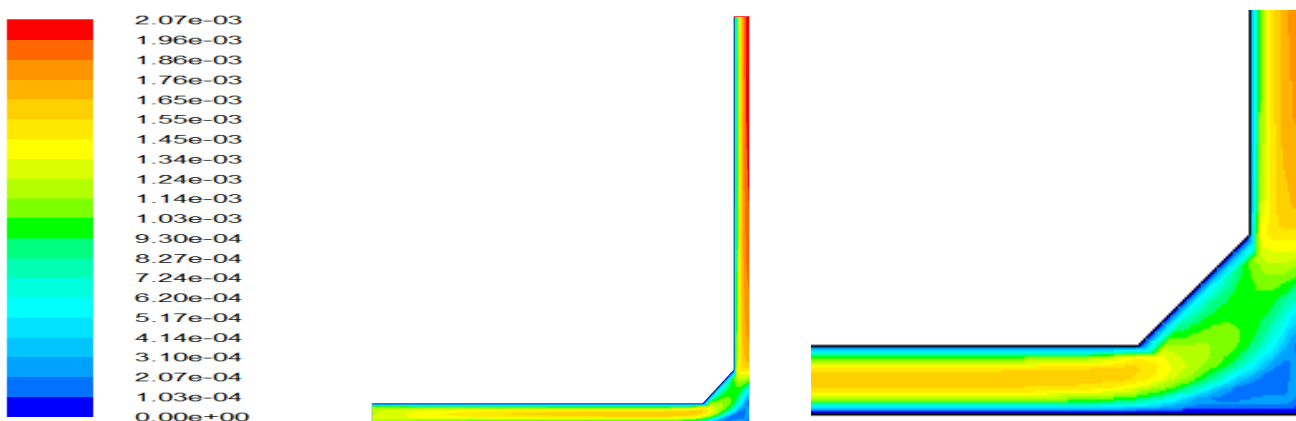
L'influence de la jonction est admirable vis-à-vis la vitesse. Dans le cas d'une tour à jonction courbée, la vitesse augmente en permanence suite à la contraction de la section de passage d'écoulement pour atteindre sa valeur maximale à la sortie de la tour.



a) Jonction droite



b) Jonction courbée



c) Jonction inclinée

Fig.9 – Contour de vitesse

La Figure 10 indique la variation de la vitesse de l'air le long du rayon du collecteur dans les trois cas étudiés. La vitesse est importante et maximale sur une même section, elle augmente en s'approchant de la cheminée.

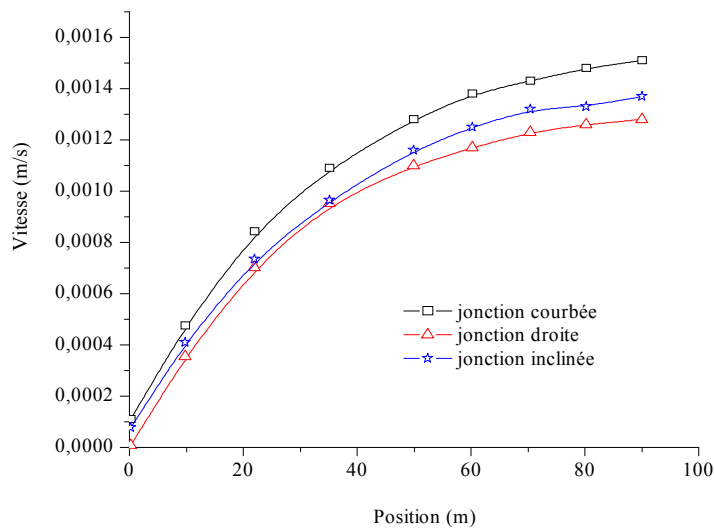


Fig.10 – La variation de la vitesse le long du diamètre du collecteur

4 Conclusions

Dans le cadre du présent travail, une étude numérique d'une Centrale à Cheminée Solaire (C.C.S) a été entreprise pour assurer une production d'électricité tout en évitant les émissions des gaz nocifs, et en consommant le maximum de rayonnement solaire.

Cette recherche permet de tirer quelques conclusions sur les critères pouvant avoir une influence sur les performances du système (C.C.S) particulièrement sur son efficacité thermique et par la suite sur sa rentabilité économique. Il s'agit des conditions internes et externes et des paramètres géométriques et thermiques. Les conclusions tirées sont les suivantes:

- L'air à l'intérieur de la centrale est chauffé par effet de serre et circule par convection libre.
- C'est le gradient de température de l'air entre le collecteur et le haut de la tour qui provoque le mouvement ascendant qui actionne les turbines avec des vitesses appropriées afin de générer de l'électricité.
- Il s'agit d'une installation simple avec une efficacité élevée (elle produit jusqu' à 200MW).
- Les paramètres géométriques agissent grandement sur la performance du dispositif.
- L'évolution de la vitesse est importante dans la jonction courbée et permet une bonne performance par-rapport aux autres jonctions étudiées surtout vis-à-vis la vitesse.

Nomenclature

a	Diffusivité thermique	$[M^2/s^2]$
T	Température	$[K]$
H	Hauteur	$[m]$
x, y	Coordonnées spatiales	$[m]$
X	Distance adimensionnelle de la longueur	$[-]$
Y	Distance adimensionnelle de la largeur	$[-]$
Ra	Nombre de Raileigh	$[-]$
ρ	Masse volumique	$[kg/m^3]$
V, U	vitesse	$[m/s]$

P	Pression	[Pa]
g	Accélération de la pesanteur	[m/s ²]

REFERENCES

- [1] Philippe Arqués., 2007. Théorie générale des machines : machine à réaction, motrices et réceptrices, à vapeur ou à gaz. Edition Technip, Paris.
- [2] Amel Dhahri, Ahmed Omri, 2013. A Review of solar chimney power generation technology, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), vol. 2, n° 3, pp. 1-17.
- [3] Dos, M.A., Bernardes, S., Vob, A., Meinrebe, G., 2003. Thermal and technical analyses of solar chimneys, Solar Energy, vol. 75, pp.511-524.
- [4] Shams, E., Gross, A., Fasel, H., 2011. Performance analysis of solar chimneys of different physical scales using CFD. Paper no. Es2011-54537, in: proceedings of the ASME International Conference Energy Sustainability, pp. 2147-2156.
- [5] Ong, K.S., 2003. Performance of a solar chimney, Chow Monash, University of Malaysia, Solar Energy, vol. 74, pp. 1-17.
- [6] Maia, C.B., Ferreira A.G., Valle, R.M., Cortez , M.F.B.,2009. Theoretical evaluation of the influence of geometric parameters and materials on the behavior of the air flow in a Solar chimney', computers and fluids, vol. 38, pp. 625-636.
- [7] Bernardes, M.A.D.S., 2003. Symmetric sink flow and heat transfer between two parallel disks. ASME Summer Heat Transfer Conference – Heat Transfer, Las Vegas, Nevada, USA.
- [8] Gannon, A.J. Backstrom, T.W.V., 2004. Solar chimney turbine characteristics, ASME, Journal of Solar Energy Engineering, vol. 76, pp. 235-241.
- [9] Negrou,B., Belahia, H., Dokkar, B., Drid, M., Settou, N., 2008. Conception d'une turbine éolienne installée dans une cheminée solaire. Revue des Energies Renouvelables, CISM'08 Oum El Bouaghi .pp. 265-276.
- [10] Bilgen.E., Rheault, J., 2005. Solar chimney power plants for high latitudes. Solar Energy, vol. 79, pp. 449-458.
- [11] Tan, Y.K.A., Wong, N.H., 2012. Natural ventilation performance of classroom with solar chimney system. Energy build. 53, 19–27.
- [12] Tan, Y.K.A., Wong, N.H., 2013. Parameterization studies of solar chimneys in the tropics. Energies, vol. 6, pp. 145-163.
- [13] Nizetic, S.A, Klarin, B., 2009. A simplified analytical approach for evaluation of the optimal ratio of pressure drop across the turbine in solar chimney power plants. Applied Energy, vol. 87, pp. 587-591.
- [14] Koonsrisuk,A ., Chitsomboon, T., 2007. Dynamic similarity in solar chimney modeling. Solar Energy, vol. 81, pp. 1439-1446.
- [15] Penghua,Guo., Jingyin,L., Yuan ,W., Yingwen, L., 2013.Numerical analysis of the optimal turbine pressure drop ratio in a solar chimney power plant. Solar Energy, vol. 98, pp. 42-48.
- [16] Von Backstrom, T.W., Fluri, T.P., 2006. Maximum fluid power condition in solar chimney power plants – an analytical approach. Solar Energy, vol. 80, n° 11, pp. 1417-1423.
- [17] Sakonidou, E.P., Karapantsios., Balouktsis, A.I., Chassapis, D., 2007. Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow. Solar Energy, vol. 82, pp. 80-94.
- [18] Fluri, T.P., Von Backstrom, T.W., 2008. Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant. Solar Energy, vol. 82, pp. 999-1008.
- [19] Ninic, N., 2006. Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration. Solar Energy, vol. 80, n° 7, pp. 804-811.
- [20] Nerreira, A.G., Maia, C.B., Cortez, M.F.B., Valle, R.M., 2008. Technical feasibility assessment of a solar chimney next term for food drying. Solar Energy, vol. 82, n° 3, pp. 198–205.
- [21] Tingzhen,T., Weia, L., Guoling, X., Yanbin, X., Xuhu, G., Yuan, P.,2008. Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine', Renewable Energy, vol. 33, n°5, pp. 897-905.
- [22] Semai, H., 2009. Energie renouvelable modélisation d'une centrale à cheminée solaire en régime turbulent et avec sticage thermique, Mémoire de magister, université d'Abou Bekr Belaid Tlemcen.
- [23] Tayebi, T., 2010. Processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire, mémoire de magister en physique, université Mentouri Constantine.
- [24] Larbi, S., Bouhdjar.A., Chergui,T., 2010. Performance analysis of a solar chimney power plant in the southwestern region of algeria', Renewable and sustainable energy reviews, vol. 14, n°1, pp. 470 – 477.
- [25] Sangi, R., Amidpour, M., Hosseinizadeh, B., 2011. Modeling and numerical simulation of solar chimney power plants. Solar Energy, vol. 85, pp. 829-838.
- [26] Bouziane, I. E.Kh., 2011.Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique, mémoire de master en Génie mécanique, Université Kasdi Merbah

Ouargla.

- [27] Ming, T., Wang, X., De Richter, R.K., Liu, W., Wu, T., Pan, Y., 2012. Numerical analysis on the influence of ambient crosswind on the performance of solar updraft power plant system. *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 16, pp. 5567–5583.
- [28] Fei, C., Huashan, L., Liang, Z., Tianyang, Liejin, G., 2013. Design and simulation of the solar chimney power plants with transys. *Solar Energy*, vol. 98, pp. 23–33.
- [29] Lebbi, M., Chergui, T., Boualit, H., Boutina, L., 2014. Influence des paramètres géométriques sur le contrôle thermo-hydrodynamique d'une centrale à cheminée solaire. *Revue des énergies renouvelables*, vol. 17 n°3, pp. 377-386.
- [30] Alex Yong Kwang Tan., Nyuk Hien Wong., 2014. Influences of ambient air speed and internal heat load On the performance of solar chimney in the tropics. *Solar Energy*, vol. 102, pp.116–125.
- [31] Abdulnabi, I., Jalal, M.J., Sabah, T.A., 2015. Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney. *Renewable Energy*, vol. 78, pp. 236-244.
- [32] Siyang, Hu., Dennis, Y.C., Leung 2016. Impact of guide wall geometry on the power output of a solar chimney power plant. *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 414-421.
- [33] Gholamalizadeh E., Man-Hoe, K., 2016. Computational fluid dynamics, analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof. *Energy*, vol. 107, pp. 661-667.
- [34] Cottam, P.J., Duffour, P., Lindstrand, P., Fromme, P., 2016. Effect of canopy profile on solar thermal chimney performance, *Solar Energy*, vol. 129, pp. 286–296.
- [35] Fariborz, K., Yang, M., 2014. Numerical investigation of thermal characteristics in a solar chimney project, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 136, pp. 011008-1-011008-7.
- [36] Semai, H., Bouhdjar, A., Larbi, S., 2016. Canopy slope effect on the performance of the solar chimney power plant, *International Journal of Green Energy*, vol. 14, n° 3, pp. 229-238.
- [37] Chergui T., Boualit Abd. H., Lebbi M., Boutina L., 2015. Improved thermo-hydrodynamic field quality in the solar chimneys. . 6th International Renewable Energy Congress (IREC15). March. INSPEC 15144396-10.1109/IREC.2015.7110972-IEEE.
- [38] Zhou, X.P., Yang, J.K., Xiao, B., Long, F., 2008. Numerical Study of a Solar Chimney Thermal Power Setup Using Turbulent Model, *Journal of the Energy Institute*, vol. 81, n°2, pp. 86 – 91.
- [39] Cheloufi, Dj., 2014. Réalisation et expérimentation d'une Cheminée solaire, mémoire de master département du génie mécanique. Université d'Ouargla.
- [40] Akchich, Z., 2011 Etude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique, mémoire Master département de génie des procédés, université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [41] Chergui, T., Larbi, S., Bouhdjar, A., 2010 Thermo-hydrodynamic aspect analysis of flows in solar chimney power plants—A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1410–1418.
- [42] Sahraoui KHERRIS, Djallel ZEBBAR, Brahim MEBARKI, Said MEKROUSSI, Kouider MOSTEFA, Lilia SAIDI, 2017. Efficiency analysis of solar chimney power plant in Tissemsilt city, *Recueil De Mécanique*, vol. 2, n° 2, pp. 175-180.