

Simulation numérique d'échange thermique à travers une tour solaire – appliquée à la région du sud d'Algérie.

1st MENECEUR Nouredine
Département de génie mécanique
Faculté de technologie,
Université s'EL-Oued , Algérie.
meneceur-nouredine@univ-
eloued.dz

2nd S.BOULAHROUZ
Department of Mechanical
Engineering
Abbes Laghrour University
Khenchela, 40000, Algeria.
boulahrouz_salim@yahoo.fr

3rd A.ATIA
Mechanical Engineering
Department LEVRES Lab Univ.
El-Oued Algeria.
abdelmalek-atia@univ-eloued.dz

4th R.MENECEUR
Département de génie mécanique
Faculté de technologie,
Université s'EL-Oued , Algérie.
meneceur-redha@univ-eloued.dz

5th K.KHOUNFAIS
Faculty of Science, Department of Physics,
University of Aug. 20, 55 Skikda,
ALGERIA.
Khounfaiskamel@yahoo.fr

Abstract— *Ce travail intéressé à la simulation numérique d'un écoulement d'air dans une tour solaire, sous l'effet de la convection naturelle. Cette approche numérique dont le but est la compréhension du comportement thermique d'écoulement du fluide dans la tour solaire. En utilisant le Logiciel CFD Comsol multiphysics de simulation pour simuler le comportement thermique de l'air au sein du collecteur et la cheminée, c'est - à - dire les différentes températures et vitesses de l'air en fonction de la radiation solaire du jour. Les résultats obtenus montrent que la meilleure performance de la cheminée solaire correspond à la plus haute dégrée d'efficacité thermique et de maximale quantité de chaleurs obtenues dans le collecteur par effet de serre.*

Keywords— *tour solaire, convection naturelle, fluide caloporteur, collecteur, effet de serre, cheminée.*

I. INTRODUCTION

Une tour solaire est une centrale à énergie renouvelable, construite de manière à canaliser l'air chauffé par le soleil afin d'actionner des turbines pour produire de l'électricité. La cheminée solaire se compose de trois éléments essentiels : un collecteur de toiture solaire, une cheminée et une turbine. Les efforts de recherche sur la cheminée solaire sont caractérisés par un certain nombre d'études théoriques et expérimentales.

En 1903 l'ingénieur espagnol Isodoro Cabanyes [1], a été le premier à proposer l'idée d'utiliser une cheminée solaire pour produire de l'électricité. Après quelques années plus tard en 1926, le Professeur Bernard Dubos a proposé à l'Académie des Sciences française la construction d'une centrale solaire aéro-électrique en Afrique du Nord avec sa cheminée solaire sur la pente d'une grande montagne. La première idée de la centrale solaire a été proposée par les ingénieurs allemands Jorg Schlaich et Rudolf Bergermann en 1976 [2]. Les essais effectués sur le premier prototype à Manzanares, en Espagne, avec une puissance maximale de

50 kW, ont montré que le concept est techniquement viable [3]. En 2006 Pretorius et Kröger. Ont évalué l'influence d'une équation de transfert de chaleur convective développée, d'un coefficient de perte d'admission de turbine plus précis, d'un verre de toit de collecteur de qualité et de divers types de sol sur la performance d'une centrale à grande échelle de cheminée solaire. [1]

Dans la même année Ming et al. Ont présenté un modèle mathématique pour évaluer la pression statique relative et la force motrice du système de la centrale solaire et vérifié le modèle avec des simulations numériques. [2]

En 2009 Maia et al. [3] Ont présenté une analyse théorique d'un écoulement turbulent à l'intérieur d'une cheminée solaire. Ils ont montré que les éléments physiques les plus importants dans un système de cheminée solaire sont les dimensions de la tour car ils provoquent la variation la plus significative du comportement d'écoulement. Une augmentation de la hauteur et du diamètre de la tour produit l'augmentation du débit massique et le décremént de la température d'écoulement. Récemment en 2012 dans le centre des énergies renouvelable Ghardaïa T. Chergui, et al [4]. Ils ont écrit un article sur la Technologie de la cheminée solaire pour la production de l'énergie ils ont publié une étude détaillée sur la dynamique des fluides et de comment utiliser cette technologie est plus rentable.

Fei Cao, et al. [5] Ils ont écrit un article sur la conception et la simulation de cheminée solaire d'une centrale électrique, la construction de ce programme est développée avec TRNSYS, dans cette étude ont évalué la performance de la CCS. Ont été constaté que la production d'énergie par CCS est très pertinente par rapport à l'irradiation solaire locale et que le CCS à capacité de puissance plus élevée présente de meilleures caractéristiques coût-bénéfice. Ces chercheurs ont pensé que TRNSYS c'est un outil efficace et conventionnel pour évaluer à la fois les performances passagères et les moyennes du CCS.

Plus récemment, Ehsan Shabahang Nia, M. Ghazi khani [6], ont fait une étude numérique sur les caractéristiques de transfert de chaleur pour l'amélioration d'une centrale de cheminée solaire grâce à une approche de contrôle de flux passif. Plus récemment, une étude expérimentale d'une cheminée solaire est faite par Mohamed Ramzi Jemli, et al. [7]. Dans le laboratoire des procédés énergétiques et des énergies renouvelables dans le Centre de Recherches et des Technologies de l'Énergie (CRTEn) Borj-Cédria àTunisie. Ce prototype est le premier en Tunisie en termes d'implémentation. Cette cheminée a été réalisé avec un collecteur de 8 m de diamètre et de 2 m de hauteur, la puissance électrique obtenus après le test est d'environ de 0.30 W/m^2 pendant l'été, et de 0.1 W/m^2 en hiver. Ces chercheurs ont ressort que la production d'électricité est proportionnelle à la surface ensoleillée et la hauteur de la cheminée elle est influencée par la température ambiante

Le sud algérien présente un gisement solaire important, la conversion d'énergie solaire à la forme électrique se présente sous différentes formes : photovoltaïque, cheminée solaire ...etc. Dans cet article nous avons présenté une étude des échanges de chaleur à travers une tour solaire, l'étude a donc été orientée vers la simulation numérique d'un flux d'air dans une cheminée pour obtenir la puissance cinétique théorique de l'air pour différentes vitesses d'écoulement à l'entrée de collecteur dans une période de 15 minutes lorsque le flux solaire est maximum et minimum dans la région d'EL-Oued.

II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CHEMINEE SOLAIRE

Il consiste à réchauffer une grande surface de sol à l'aide d'une serre en matière plastique ou en verre (voir fig.1). Le réchauffement du sol permet de créer un mouvement de convection thermique à l'intérieur d'une cheminée verticale placée au centre de la serre. On retrouve le principe de base de l'ascendance thermique qui se résume par les étapes suivantes [8]:

1. Le soleil chauffe le sol par rayonnement ;
2. L'air frais qui circule juste au-dessus du sol chaud se réchauffe par conduction ;
3. L'air, plus chaud que la masse d'air environnant se met à monter ;
4. L'air chaud se mélange peu avec l'air environnant plus frais, il continue à monter et se refroidit par détente ;
5. A une certaine altitude, la température du volume d'air ascendant s'équilibre avec celle de l'air environnant donc il s'arrête de monter ;

Le courant ascendant produit par le phénomène de l'ascendance thermique fait tourner l'axe d'une turbine placée à l'embouchure de la cheminée produisant ainsi de l'énergie mécanique qui sera ensuite transformée en énergie électrique à travers un alternateur.

Les principales composantes d'une tour solaire sont : le collecteur, la turbine, la cheminée et le système de stockage.

A. Le collecteur

Le collecteur est la partie qui est employée pour produire l'air chaud par effet de serre. Le collecteur est composé du sol comme un système de stockage de la chaleur, d'une surface transparente située quelques centimètres au-dessus du sol et d'un domaine de circulation de l'air. Celui-ci, ouvert aux deux extrémités, récupère l'énergie solaire incidente en réchauffant et en contenant l'air qui y circule.

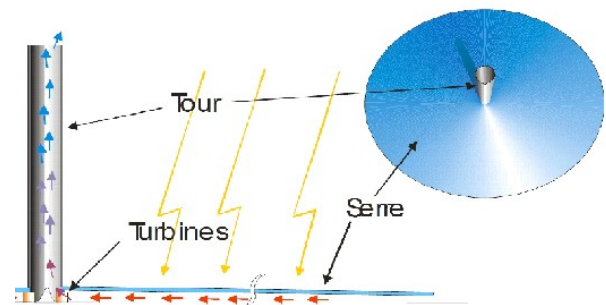


Fig. 1 .Principe de fonctionnement d'une tour solaire à mouvement d'air ascendant.

B. La turbine

La turbine est située sur le parcours de l'écoulement du fluide. Elle transforme l'énergie cinétique du fluide en énergie mécanique. Celle-ci sera ensuite transformée en énergie électrique par le biais d'un générateur. Elles sont placées sur le parcours de l'écoulement du fluide (soit verticalement dans le collecteur ; soit horizontalement dans la cheminée). Toujours est située à la base de la cheminée où la vitesse d'écoulement d'air est plus élevée.

C. La cheminée

La cheminée est la partie la plus importante de la tour solaire. Elle est délimitée par une paroi au centre de laquelle se situe la zone d'écoulement du fluide. Celle-ci crée un appel d'air en sortie collecteur et le potentiel de pression entre le haut et le bas de cette dernière entraîne le fluide dans un mouvement ascendant.

Plus haute est la cheminée, plus importante est la quantité d'énergie produite par la tour solaire : l'air chaud montera de plus en plus rapidement afin d'y rejoindre l'air frais de l'extérieur, en passant par les turbines (effet de convection).

III. MODÈLE MATHÉMATIQUE

Nous avons modélisé la tour solaire (l'ensemble de collecteurs et cheminée) sous COMSOL comme un milieu continu 2D symétrie avec la forme et les dimensions comme sur la figure 2. L'ensemble cheminée et collecteur modélisé ici pour l'étude de la pression et la température de sortie d'écoulement d'air. Les caractéristiques et le dimensionnement de cheminée et de collecteur sont présentés au tableau I.

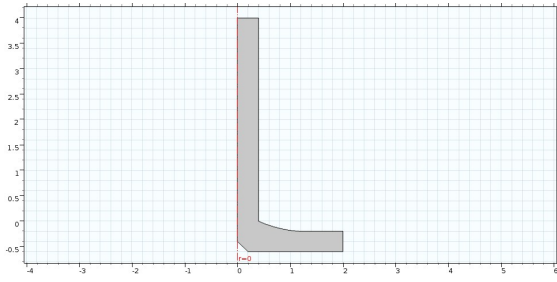


Fig.2 .modèle géométrique de l'ensemble cheminée et collecteur, dessiné par Comsol multiphysics.

TABLE I. CARACTERISTIQUES DE QUELQUES PARAMETRES LORS D'ESSAI D'UNE CHEMINEE SOLAIRE DANS LA REGION D'EL-OUED (ALGERIE).

MATÉRIAUX	CARACTERISTIQUES					
	ρ (Kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/Kg.K)	ϕ (cm)	H (m)	ep (mm)
PVC	1380	0.15	960	40	4	5
Air	1.24	0.26	1006	/	/	/
Collecteur	CARACTERISTIQUES					
	Emetteur récepteur					0.27
	Hauteur d'ouverture [cm]					40
	Surface (m)					16
	Absorption du récepteur					0.96
	Efficacité optique [%]					0.77

A. Les conditions climatiques de la région pour une journée en hiver :

- Température ambiante : 25 °C.
- Vitesse de l'air : 0.2, 0.4, 0.6 en (m/s).
- Température de l'air à l'entrée : 25 °C
- Humidité relative : 45%.
- Flux solaire : 1300 (W/m²)

B. Les conditions climatiques de la région pour une journée en été :

- Température ambiante : 40 °C.
- Vitesse de l'air : 0.2, 0.4, 0.6 en (m/s).
- Température de l'air à l'entrée : 40 °C
- Humidité relative : 15%.
- Flux solaire : 900 (W/m²).

Le modèle comprend également le transfert de chaleur par convection de l'écoulement dans le collecteur et la cheminée à travers l'équation de la chaleur en régime transitoire suivante :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla q = Q + Q_p + Q_{vd} \quad (1)$$

$$q = -k \nabla T \quad (2)$$

On supposant que l'écoulement de l'air à travers la cheminée est laminaire est donnée par l'expression suivante :

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho (u \cdot \nabla) u = \nabla \cdot \left[-pI + \mu (\nabla u + (\nabla u)^T) \right] + F \rho \nabla \cdot (u) = 0 \quad (3)$$

C. Choix du maillage :

Nous avons choisi pour notre modèle de simulation sous COMSOL un maillage à élément triangulaire simple de type fine avec 1036 éléments (voir figure 3). Le choix d'un maillage qui nécessite un temps de calcul réduit représente la solution optimale.

D. Conditions initiales et conditions aux limites
l'instant initial, la température est uniforme dans le collecteur et la cheminée à la température ambiante T_0 .
 $T(r, \theta, z, 0) = T_{air} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$.

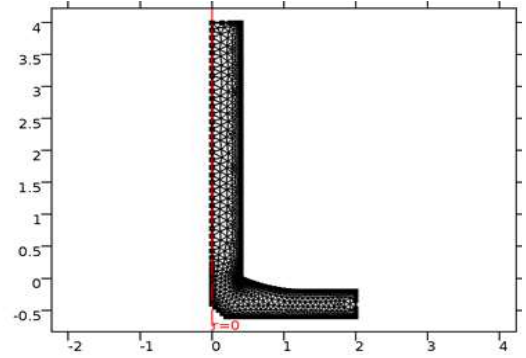


Fig.3. Le type de maillage généré automatiquement par le logiciel COMSOL.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Distribution de la Temperature dans le collecteur et la cheminée en (K), $V_{in} = 0.2$ (m/s).

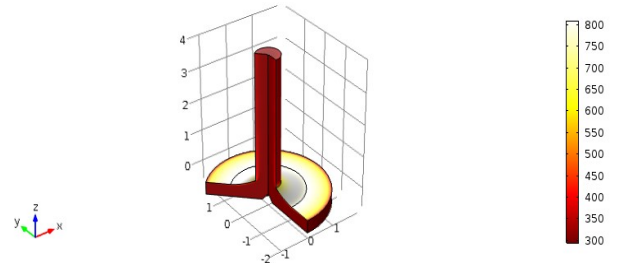


Fig.4. Distribution de la température d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in} = 0,2$ (m/s) dans une période de 15 min en hiver.

Distribution de la Temperature dans le collecteur et la cheminée en (K), $V_{in} = 0.6$ (m/s).

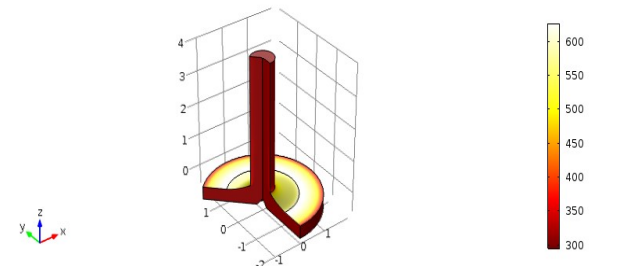


Fig.5. Distribution de la température d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in} = 0,6$ (m/s) dans une période de 15 min en hiver.

Distribution de la Température dans le collecteur et la cheminée en (K), $V_{in}=0.2$ (m/s).

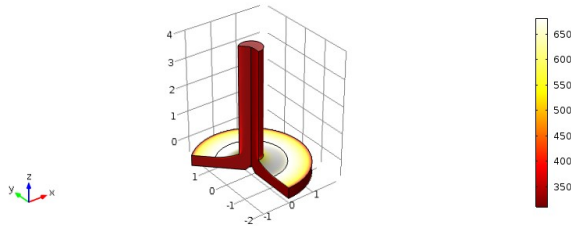


Fig.6. Distribution de la température d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.2$ (m/s) dans une période de 15 min en été.

Les figures (4-7) montrent les résultats de la simulation numérique du comportement thermique de la cheminée et le collecteur pour un intervalle de temps [0 1] s, à deux vitesses d'écoulement d'air à l'entrée (0.2 et 0.6 m/s) et pour deux valeurs différentes de flux solaire (hiver et été).

Distribution de la Température dans le collecteur et la cheminée en (K), $V_{in}=0.6$ (m/s).

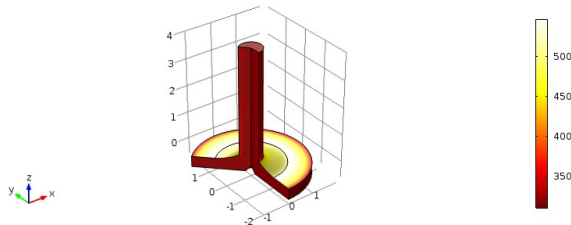


Fig.7. Distribution de la température d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.6$ (m/s) dans une période de 15 min en été.

Ces figures en 3D montrent que la quantité de chaleur la plus élevée sont celles qui présentent la distribution des températures les plus élevées. On remarque que les températures augmentent dans la cheminée en hiver pour les faibles valeurs de vitesse d'écoulement d'air.

Distribution de vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée (m/s) $V_{in}=0.6$ (m/s).

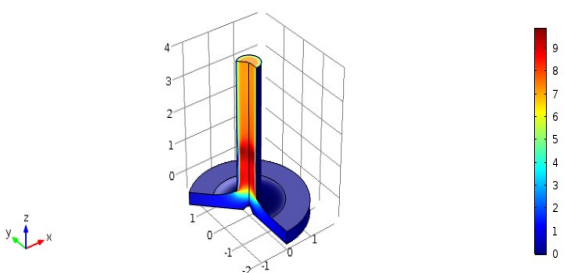


Fig.8. Distribution de la vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.6$ (m/s) dans une période de 15 min en hiver.

Les figures (8-11) représentent la distribution de la vitesse d'écoulement d'air dans la cheminée et le collecteur pour deux valeurs de flux solaire et à deux vitesses d'écoulement à l'entrée.

D'après ces figures ont observé que la vitesse la plus élevée d'écoulement d'air est situé au début de la cheminée à une hauteur presque de 1 (m) lorsque le flux solaire est maximum dans la saison d'hiver, alors on peut dire que la meilleure efficacité énergétique d'une tour solaire est obtenus dans la période d'hiver pour des faibles valeurs d'écoulement d'air.

Distribution de vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée (m/s) $V_{in}=0.6$ (m/s).

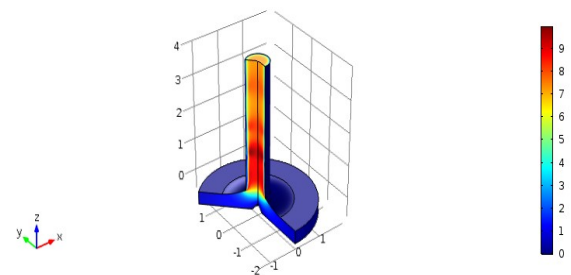


Fig.9. Distribution de la vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.6$ (m/s) dans une période de 15 min en été.

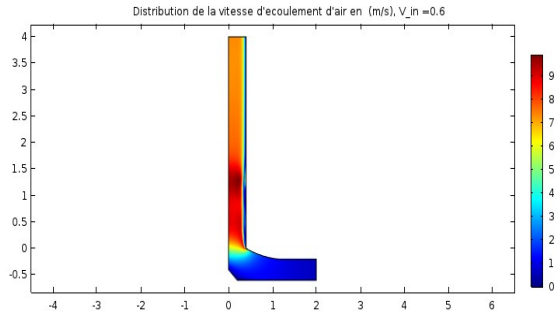


Fig.10. Distribution symétrique de la vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.6$ (m/s) dans une période de 15 min en hiver.

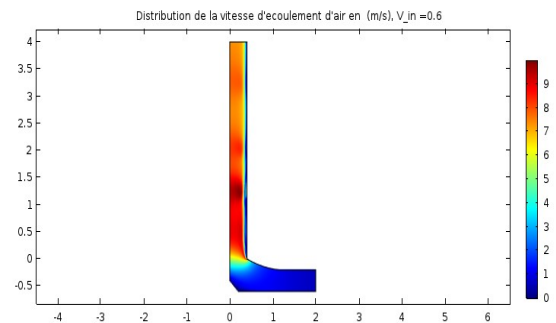


Fig.11. Distribution symétrique de la vitesse d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in}=0.6$ (m/s) dans une période de 15 min en été.

Les figures (12-13) montrent le contour de vitesse d'écoulement d'air à travers la cheminée et le collecteur, pour une période de 15 minutes en hiver et en été. On remarque que la pression la plus élevée est situé au début de la cheminée presque dans la zone de placement de la turbine.

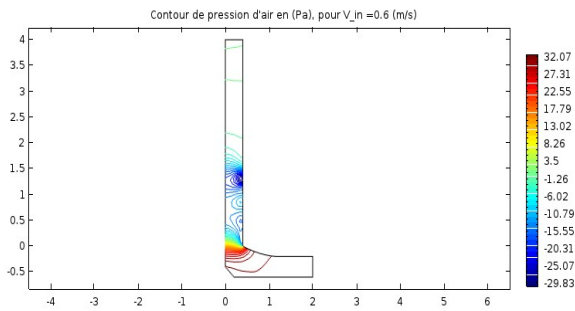


Fig.12. Contour de la pression d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in} = 0,6$ (m/s) dans une période de 15 min en hiver.

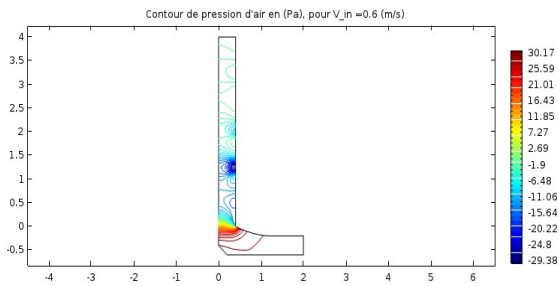


Fig.13. Contour de la pression d'écoulement d'air dans le collecteur et la cheminée, pour une $V_{in} = 0,6$ (m/s) dans une période de 15 min en été.

V. CONCLUSION

Une simulation numérique sous le logiciel COMSOL multiphysics pour une tour solaire en régime transitoire bidimensionnel axis symétrie a été réalisée. Cette simulation numérique est basée sur l'effet de la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de collecteur pour deux valeurs de flux solaire différents (en hiver et été). En employant un maillage triangulaire fine avec 1036 éléments, étendu sur un intervalle de temps [0 1] s.

La distribution de la température, la pression et la vitesse d'écoulement d'air à travers la cheminée et le collecteur augmentent progressivement en valeurs, le reste zone se

trouve à des températures proches de la température ambiante de l'air. La prédiction des performances nécessite la connaissance de quelques paramètres, notamment : la température de l'air à l'entrée de collecteur, le flux solaire de la région, la vitesse de vent et la température ambiante. Ces paramètres on a pu constater qu'elle influe sur l'écoulement de l'air à la sortie.

À la suite de cette approche numérique, il nous semble utile de rappeler quelque conclusion importante comme :

La température de l'air dans la cheminée, le flux solaire et la géométrie de collecteur influencée directement sur la performance de la cheminée, ainsi que sur la température de l'écoulement de l'air à la sortie de cheminée.

Les résultats obtenus montre que la meilleure performance de la cheminée solaire correspond à la plus haute degré d'efficacité thermique et de maximum quantité de chaleur obtenus dans le collecteur par effet de serre.

REFERENCES

- [1] W. Chekirou, N. Boukheit, and T. Kerbache, "Différents modes de transfert de chaleur dans un absorbeur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique," *Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen*, pp. 21-28, 2007.
- [2] L. Beneke, C. Fourie, and Z. Huan, "Investigation of an octagon-shaped chimney solar power plant," *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 27, no. 4, pp. 38-52, 2016.
- [3] T. Tayebi and M. Djeddar, "Numerical Analysis of Flows in a Solar Chimney Power Plant with a Curved Junction," *International Journal of Energy Science*, vol. 3, no. 4, 2013.
- [4] T. Chergui, H. Boualit, S. Larbi, and A. Bouhdjar, "Technologie de la cheminée solaire pour la production de l'énergie."
- [5] F. Cao, H. Li, L. Zhao, T. Bao, and L. Guo, "Design and simulation of the solar chimney power plants with TRNSYS," *Solar Energy*, vol. 98, pp. 23-33, 2013.
- [6] E. S. Nia and M. Ghazikhani, "Numerical investigation on heat transfer characteristics amelioration of a solar chimney power plant through passive flow control approach," *Energy Conversion and Management*, vol. 105, pp. 588-595, 2015.
- [7] M. R. Jemli, N. Naili, A. Farhat, and A. Guizani, "Experimental investigation of solar tower with chimney effect installed in CRTEn, Tunisia," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016.
- [8] M. BOUANANI and A. DJELAILI, "PERFORMANCE EN ÉTÉ, DE LA CHEMINÉE SOLAIRE SUR TOIT INCLINÉ PAR LA VENTILATION NATURELLE."