

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهر وميكانيك

Department automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : sciences de la matière

Filière : physique

Spécialité : physique énergétique et énergies renouvelables

Thème

**Etude Expérimentale de la Convection de Chaleur
autour d'un Cylindre horizontal**

Présenté par :

HAMAÏMI Kaoutar

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de:

SEBA Hadj Yahia	MCA	Univ- Ghardaïa	Président
BOUARAOUR Kamal	MCA	Univ- Ghardaïa	Examineur
AISSAOUI Faris	MCA	Univ- Ghardaïa	Examineur
TAHTAH Reda	MAB	Univ- Ghardaïa	Encadrant

Année universitaire : 2023 / 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

"من سارَ على الدرب وصل"، تتجسد الإرادة والصمود في مواجهة التحديات. اليوم، أقف وسط فرحة التحقيق والإنجاز، وأبدي امتناني العميق لكل من وقف بجانبني، مقدماً شكري الجزيل لدعمهم اللامتناهي ومساندتهم الدائمة. إن كانت بداية الطريق مليئة بالألم، فإن نهايتها تترجم حلمًا محققًا، وإذا كانت الانطلاقة الأولى مصحوبة بدمعة، فإن نهايتها تنزين بابتسامة. اليوم، بعد أن انقضت السنوات وتحقق الحلم، أقدم هذا العمل بكل فخر وامتنان لأولئك الذين كانوا بجانبني، يدًا بيد، مساندين ومشجعين، فلهم كل الشكر والتقدير. إلى الأيادي الطاهرة التي أزالت من طريقي أشواك الفشل، إلى من ساندني بكل حب عند ضعفي، إلى من رسموا لي المستقبل بخطوط من الثقة والحب، إلى عائلتي، إلى من علموني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، إلى الذين لم يبخلوا علي بأي شيء، إلى من سعوا وناضلوا لأجل راحتي ونجاحي، إلى أعظم أشخاصي وأعز الناس على روعي أمي وأبي دتم لي بخير وحب وعافية طول العمر، إلى الشموع التي تنير لي الطريق وانتظروا هذه اللحظة كثيرا ليفخروا بي كما أفخر بهم وبوجودهم، إلى إخوتي، إلى كل من كان له يد العون في مذكرتي، إلى كل من شاركني لحظات كتابتها وتحضيرها، إلى كل من تعلقت بهم قلوبنا قبل عقولنا، إلى كل من قدم لي فكرة أو نصحاً أو إرشاداً أو توجيهاً أو ساهم معي ولو بحرف،

أقول لكم: جزاكم الله خيراً.



Remerciements

Ce travail a été réalisé dans un laboratoire de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Ghardaïa, dans le cadre des démarches d'obtention d'un master dans le domaine de la physique de l'énergie et des énergies renouvelables pour l'année 2023-2024. À cette occasion, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la réussite dans la réalisation de mon parcours universitaire.

J'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à mon encadrant, le Dr "Tahtah Reda", enseignant à l'Université de Ghardaïa, pour sa confiance dans mon acceptation de travailler sur ce sujet, et je lui exprime mes remerciements pour ses discussions fructueuses et ses conseils efficaces.

Je tiens également à remercier le Dr "Seba Hadj Yahia", maître de conférences à l'université de Ghardaïa, pour avoir accepté de juger mon travail de mémoire.

Je remercie le Dr "Bouaraour Kamal" et "Aissaoui Faris" d'avoir accepté d'arbitrer ma thèse.

Je remercie le Dr Bouamer Khira et les ingénieurs du laboratoire pour leurs bonnes relations du début à la fin de l'expérience.

À cette belle occasion, je tiens à remercier tous mes collègues de la promotion 2023-2024, avec qui j'ai passé de bons moments et échangé des conversations et des blagues, je tiens à souligner leurs grandes qualités humaines.

Sommaire

الإهداء	/
Remerciements	/
Sommaire	I
Nomenclature	II
Liste des figures et tableaux	III
Introduction général	V
Chapitre I. Synthèse Bibliographique	/
I.1. Introduction	1
Chapitre II . Matériels et Méthodes	/
II.1.Introduction	5
II.2.Description de l'appareil	5
II.2.1.Fonctionnement de l'appareil et les composants	5
II.2.2.Boîtier de l'appareil (Conduit d'air et Points de mesure de la température)	6
II.2.3.Capteur de vitesse et Générateur de turbulences	7
II.2.4. Ventilateur	7
II.2.5. Grille anti-vortex et l'éléments chauffants	8
II.2.6. Commande et acquisition des données de mesure	8
II.2.7. Interface USB utilisateur	9
II.3. Equations générales pour la convection mixte	9
Chapitre III. Résultats et Discussions	/
III.1.Résultats et Discussions	14
Conclusion générale	25

Références bibliographiques	26
Résumé	/
Abstract	/
الملخص	/

Nomenclature

Nomenclature

Symbole latin	Définition	Unités
C_p	Capacité thermique	[J/kg.K]
D	Diamètre caractéristique	[m]
L	Longueur de la conduite	[m]
K	Conductivité thermique. fluide	[W/m.K]
q	Densité de flux chaleur	[W/m ²]
T	Température	[°C]
A	Surface de la paroi	[m ²]

Nombres adimensionnels	Définition	Unités
Re	Nombre de Reynolds	/
Nu	Nombre de Nusselt	/

Glossaire	Définition
CFD	Computational Fluid Dynamics

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

Figure. II. 1. Représente l'appareil de la convection mixte de type WL 440	6
Figure. II. 2. Points de mesure de la température	7
Figure II. 3. Capteur de vitesse et générateur de turbulences	8
Figure II. 4. Ventilateur en haut, au niveau du conduit d'air	8
Figure II. 5. Photographiée de la grille anti-vortex, avec l'élément de chauffe cylindre	9
Figure.1.6. Raccordements et interrupteurs sur la face arrière de l'appareil	9
Figure. II.7. Diagramme du système du WL 440	11
Figure. II.8. Représente l'appareil de la convection mixte de type WL 440	13
Figure III.1. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 20w , V = 0,28 (m/s))	15
Figure III.2. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 20w , V = 0,65 (m/s))	15
Figure III.3. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 20w , V = 1,06 (m/s))	15
Figure III.4. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 15w , V = 0,28 (m/s))	16
Figure III.5. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 15w , V = 0,65 (m/s))	16
Figure III. 6. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 15w , V = 1,06(m/s))	16
Figure III.7. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 10w , V = 0,28 (m/s))	17
Figure III. 8. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 10w , V = 0,65	17

(m/s))	
Figure III.9. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 10w , V = 1,06 (m/s))	17
Figure III.10. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 5w , V = 0,28 (m/s))	18
Figure III.11. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 5w , V = 0,65(m/s))	18
Figure III.12. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 5w , V = 1,06 (m/s))	18
Figure III. 13. L'évolution de la température T4 pour (Q= 5w ,Q=10w ,Q=15w et Q=20w, V = 0,28 (m/s))	19
Figure III. 14. L'évolution de la température T4 pour (Q= 5w ,Q=10w ,Q=15w et Q=20w, V = 0,65 (m/s))	19
Figure III. 15. L'évolution de la température T4 pour (Q= 5w ,Q=10w ,Q=15w et Q=20w, V =1,06 (m/s))	19
Figure III. 16. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 5w)	21
Figure III. 17. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 10w)	21
Figure III. 18. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 15w)	21
Figure III. 19. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 20w)	21
Figure III. 20. L'évolution de la température T3 pour (Q= 5w ,Q=10w ,Q=15w et Q=20w)	22
Figure III. 21. L'évolution de la température T4 pour (Q= 5w ,Q=10w ,Q=15w et Q=20w)	22
Figure III. 22. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour différentes vitesse (Q=5w)	23
Figure III. 23. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour	23

différentes vitesse ($Q=10w$)

Figure III.24. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour 23

différentes vitesse ($Q=15w$)

Figure III. 25. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour 23

différentes vitesse ($Q=20w$)

Figure III.26. Evolution de coefficient de convection pour le débit 24

Introduction générale

I.1. Introduction générale

Le transfert de chaleur par convection est un domaine vital et important dans les sciences de l'ingénierie thermique et mécanique, jouant un rôle crucial dans la conception et le développement de nombreuses applications industrielles et technologiques telles que les systèmes de refroidissement et de chauffage, les échangeurs de chaleur, l'énergie solaire, la climatisation et les réacteurs nucléaires. La convection implique le transfert de chaleur d'une surface chaude à un fluide en mouvement (gaz ou liquide), et cela se produit par deux types principaux : la convection naturelle et la convection forcée.

Dans la convection naturelle, le fluide se déplace en raison des différences de densité résultant des variations thermiques, tandis que dans la convection forcée, le fluide est mis en mouvement par des forces externes telles que des ventilateurs ou des pompes. En plus de ces deux types, il existe un troisième type appelé convection mixte, où la convection naturelle et forcée interagissent simultanément, ce qui complique davantage le processus de transfert de chaleur et son analyse.

L'étude expérimentale de la convection vise à comprendre les mécanismes de transfert de chaleur et à déterminer les facteurs influençant son efficacité et sa performance. Ces facteurs comprennent : le type de fluide, sa vitesse d'écoulement, ses propriétés physiques, ainsi que les propriétés géométriques des surfaces en contact. Ces études sont généralement menées dans des laboratoires spécialisés utilisant des outils et des techniques avancées pour mesurer la température, la vitesse du fluide et d'autres variables importantes.

Dans cette étude, l'accent a été mis sur l'analyse de la convection mixte autour d'un cylindre, un système géométrique simple mais fournissant des informations précieuses sur le comportement et l'interaction des différents flux d'air et leur impact sur le transfert de chaleur. Les expériences ont été réalisées dans le laboratoire de transfert de chaleur de l'Université de Ghardaïa, en utilisant l'appareil WL440, qui permet de réaliser des conditions expérimentales précises et de simuler différents flux à des vitesses de refroidissement variées.

Le mémoire de maîtrise est organisé comme suit :

Introduction générale : Vue d'ensemble sur étude expérimentale de la convection de chaleur autour d'un cylindre horizontal

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

- Revue des travaux antérieurs liés à mon étude
- Vue d'ensemble sur les progrès réalisés dans ce domaine

Chapitre 2 : Matériaux et méthodes

- Description détaillée du prototype expérimental pour la convection mixte spécialement conçu pour cette étude
- Méthode utilisant l'appareil WL440
- Description de chaque élément séparément

Chapitre 3 : Résultats et discussions

- Présentation des résultats obtenus de l'expérience scientifique WL440
 - Présentation des résultats obtenus des mesures de température et du le coefficient de convection h , la source de chaleur Q et la vitesse, le nombre de Nusselt .
- Comparaison des résultats
- Résumé des principaux résultats obtenus lors de l'expérience
- Perspectives et recommandations futures pour des améliorations potentielles

En résumé, cette thèse de master vise à étudier expérimentalement la convection thermique, un domaine vital qui contribue au développement de technologies plus efficaces et durables. En comprenant les facteurs influençant le transfert de chaleur et en appliquant des méthodes modernes d'analyse et de conception, des progrès significatifs peuvent être réalisés dans ce domaine, conduisant à des bénéfices environnementaux et économiques importants.

Chapitre I.

Synthèse Bibliographique

I.1. Introduction

Le transfert de chaleur est un phénomène fondamental en physique et en ingénierie, décrivant le déplacement de l'énergie thermique d'un endroit à un autre en raison d'une

différence de température. Cette énergie peut se transférer par trois mécanismes principaux : la conduction, la convection et le rayonnement. Comprendre ces mécanismes est crucial pour le design et l'analyse des systèmes thermiques dans divers domaines, tels que l'ingénierie mécanique, le génie civil, l'aérospatiale, et l'électronique.

Le transfert de chaleur joue un rôle crucial dans de nombreuses applications industrielles et domestiques. Dans le domaine de l'ingénierie thermique, la conception de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, repose sur une compréhension approfondie des mécanismes de transfert de chaleur. Comme exemples les échangeurs de chaleur, utilisés dans les centrales électriques, les réacteurs chimiques et les systèmes de réfrigération, sont conçus pour maximiser l'efficacité du transfert de chaleur entre fluides.

Dans l'électronique, la gestion thermique est essentielle pour maintenir les composants à des températures sécuritaires et optimales. Les dissipateurs de chaleur et les ventilateurs sont des exemples courants de dispositifs conçus pour favoriser la dissipation de chaleur par conduction et convection.

Les ingénieurs spécialisés dans ce secteur jouent un rôle clé dans l'amélioration de l'efficacité énergétique, la réduction des impacts environnementaux, et la promotion de solutions énergétiques durables pour répondre aux besoins actuels et futurs de l'industrie.

En résumé, le transfert de chaleur est un concept central en thermodynamique et en génie thermique, influençant une vaste gamme d'applications technologiques. La maîtrise des principes de conduction, de convection et de rayonnement permet de concevoir des systèmes plus efficaces et de résoudre divers problèmes liés à la gestion thermique.

- La conduction est un mode de transfert se produit lorsque deux objets à des températures différentes sont en contact direct. La chaleur se propage des particules ayant une énergie cinétique (température) plus élevée vers des particules moins riches en énergie (plus froides).
- Le rayonnement est un mécanisme de transmission de chaleur se produit par le biais d'ondes électromagnétiques et peut être transmis par le vide. La quantité de chaleur transférée dépend de la longueur d'onde
- La convection est le transfert de chaleur par le mouvement des fluides (liquides ou gaz). Elle peut être naturelle ou forcée. La convection naturelle se produit en raison des variations de densité dans le fluide dues aux différences de température, entraînant

des mouvements de fluide. Par exemple, l'air chaud monte tandis que l'air froid descend, créant des courants convectifs. La convection forcée, quant à elle, implique des dispositifs externes comme des ventilateurs ou des pompes pour déplacer le fluide.

Dans cette mémoire nous avons précisé un axe de recherche basé sur le mode de transfert par convection et nous avons ciblé quelques références très importantes.

En 1993, C. ABID et al. ont mené une étude intégrée sur la convection mixte influençant le transfert de chaleur dans un conduit horizontal[1]. En 2008, K. S. Reddy et G. V ont réalisé une étude numérique sur un récepteur optimisé pour un concentrateur solaire parabolique[2]. En 2010, Y.B. Tao et al. ont examiné numériquement le transfert de chaleur couplé dans un tube collecteur solaire parabolique, développant un modèle unifié pour ce processus[3]. En 2011, S. Özgür Atayılmaz [4] a mené une analyse expérimentale sur des cylindres horizontaux nus et concentriques, montrant une amélioration significative du transfert de chaleur. La même année, Hany Al-Ansary et al[5] . ont étudié numériquement un matériau d'isolation thermique pour réduire les pertes de chaleur dans un récepteur solaire. En 2012, Xiaoping Yang et al. ont réalisé une étude numérique sur le transfert de chaleur dans le tube récepteur d'une tour de puissance solaire thermique [6]. La même année, une autre étude de Xiaoping Yang et al. a simulé numériquement les caractéristiques de transfert de chaleur d'un récepteur à tube de sel fondu avec un flux thermique asymétrique[7]. En 2012 également, Omar Mohammed Ali et al[8]. ont évalué numériquement le transfert de chaleur en convection mixte avec deux cylindres chauffés alignés horizontalement dans un boîtier ventilé. En 2013, P. Wang et al[9]. ont réalisé une simulation numérique tridimensionnelle sur le tube récepteur d'un collecteur parabolique en insérant des mousses métalliques. La même année, A. Hachicha et al[10]. ont présenté un modèle numérique détaillé de transfert de chaleur basé sur la méthode des volumes finis pour les récepteurs solaires. En 2014, Zhiyong Wu et al. ont simulé avec succès la distribution détaillée de la température d'un récepteur parabolique en combinant un code MCRT et le logiciel FLUENT[11]. En 2015, Z.Y. Li* et al. ont analysé numériquement l'écoulement turbulent mixte pour le transfert de chaleur dans le tube récepteur d'un collecteur solaire parabolique en forme de chéneau[12]. En 2016, Qibin Liu et al. ont examiné les caractéristiques thermo-physiques d'un réacteur solaire pour la production d'hydrogène, utilisant un modèle de couplage multiphasique[13]. En 2018, R. Tahtaha et al. ont étudié numériquement le comportement thermique d'un récepteur solaire cylindro-parabolique avec différentes concentrations[14]. La même année, Wael M. El-

Maghlany et al[15]. ont exploré le transfert de chaleur en convection mixte laminaire à partir d'un cylindre elliptique isotherme horizontal. En 2019, K. Maarka et al[16]. ont mené une étude numérique de la convection mixte d'un écoulement d'eau en régime laminaire dans un cylindre chauffé. La même année, K. Maarka et al[17]. ont étudié analytiquement l'écoulement mixte périodique d'un fluide traditionnel autour d'un cylindre circulaire horizontal non conducteur. En 2022, Sudhanshu Pandey et al. ont examiné les dimensions tridimensionnelles du transfert de chaleur à des nombres de Rayleigh plus élevés, pour aider à la conception thermique des échangeurs de chaleur[18]. En 2023, Syed M. Hussain et al. ont étudié numériquement l'effet du rayonnement sur la convection mixte d'un fluide hybride à nano-particules[20]. La même année, Alexander Fedotov et al[21]. ont analysé la convection libre dans une couche cylindrique horizontale avec une frontière intérieure chaude et une frontière extérieure froide. En 2023 également, Muhammad Naveed Khan et al[22]. ont réalisé des simulations numériques pour étudier le transfert de chaleur par convection magnétohydrodynamique dans un cylindre horizontal chauffé. En 2024, Rachid Hidki et al[23]. ont étudié numériquement la convection mixte couplée au rayonnement de surface dans un canal horizontal ventilé. Enfin, en 2024, Jafar Beharinnik, et al. ont examiné le taux de transfert de chaleur à travers une enceinte utilisant un polygone régulier à douze côtés comme modèle, en utilisant un côté comme surface chaude et un autre côté comme surface froid.[24].

Les recherches examinent divers aspects du transfert de chaleur par convection, allant de l'analyse de la convection mixte dans des conduits cylindriques à l'étude du comportement thermique des récepteurs solaires paraboliques. Ces investigations, menées par plusieurs chercheurs, offrent un éventail complet de perspectives théoriques, expérimentales et numériques, soulignant ainsi la richesse des approches et des applications dans le domaine du transfert de chaleur.

Ce travail se concentre sur la convection mixte dans un cylindre horizontal, ce qui représente une analyse fondamentale dans le domaine du transfert de chaleur. L'objectif de cette recherche est d'explorer et de comprendre les interactions entre différents modes de transfert de chaleur dans ce contexte, tels que le coefficient thermique et le flux thermique résultant du mouvement de l'air autour du cylindre.

Le choix du cylindre horizontal comme moyen efficace d'explorer ces processus permet une analyse détaillée de l'interaction entre le chauffage résultant du flux thermique et la convection thermique résultant du mouvement environnant. De plus, une étude sur le transfert

de chaleur mixte a été incluse, explorant l'impact conjoint du chargement thermique et du flux thermique simultanément.

Par conséquent, cette étude offre l'opportunité d'explorer les défis et les conditions influentes dans ce contexte, ce qui contribue à une meilleure compréhension du transfert de chaleur dans les études expérimentaux.

La recherche comprend une expérience pratique sur un cylindre en aluminium et une étude de la formation de convection thermiques sur sa surface extérieure. L'objectif principal de cette étude est d'analyser le transfert de chaleur et les pertes thermiques vers l'air ambiant à partir de surfaces cylindriques, dans le but d'améliorer l'efficacité des systèmes de refroidissement ou de chauffage et de choisir judicieusement les matériaux utilisés. De plus, cette étude vise à améliorer les applications industrielles pertinentes. Notre objectif principal est de comprendre les mécanismes de transfert de chaleur dans les tubes cylindriques horizontaux et d'évaluer l'effet des convection thermiques naturelles et forcées sur le transfert de chaleur vers l'air ambiant ainsi que sur les pertes de chaleur.

Chapitre II

Matériel et Méthodes

II.1 Introduction

L'étude de la perte de chaleur dans les tubes est considérée comme l'un des domaines importants de la thermique et du transfert de chaleur. Cette expérience vise à comprendre les mécanismes de transfert de chaleur dans les tubes horizontaux, et à déterminer l'impact du refroidissement naturel et du refroidissement forcé sur la perte de chaleur. L'accent sera mis dans cette expérience sur un tube modèle de type WL 440, où l'effet combiné du refroidissement naturel et du refroidissement forcé sur les performances du transfert de chaleur sera étudié. Obtenir une meilleure vision de ce phénomène contribue au développement de notre compréhension des processus de transfert de chaleur et fournit des indications utiles pour améliorer l'efficacité thermique dans diverses applications industrielles.

II.2. Description de l'appareil

II.2.1. Fonctionnement de l'appareil et les composants :

La figure II.1.2.1 indique l'appareil de la convection mixte de type WL 440 qui se trouve aux niveaux de notre laboratoire de l'université de Ghardaïa, est nous avons appliqué le phénomène de transfert de chaleur par convection forcé et libre.

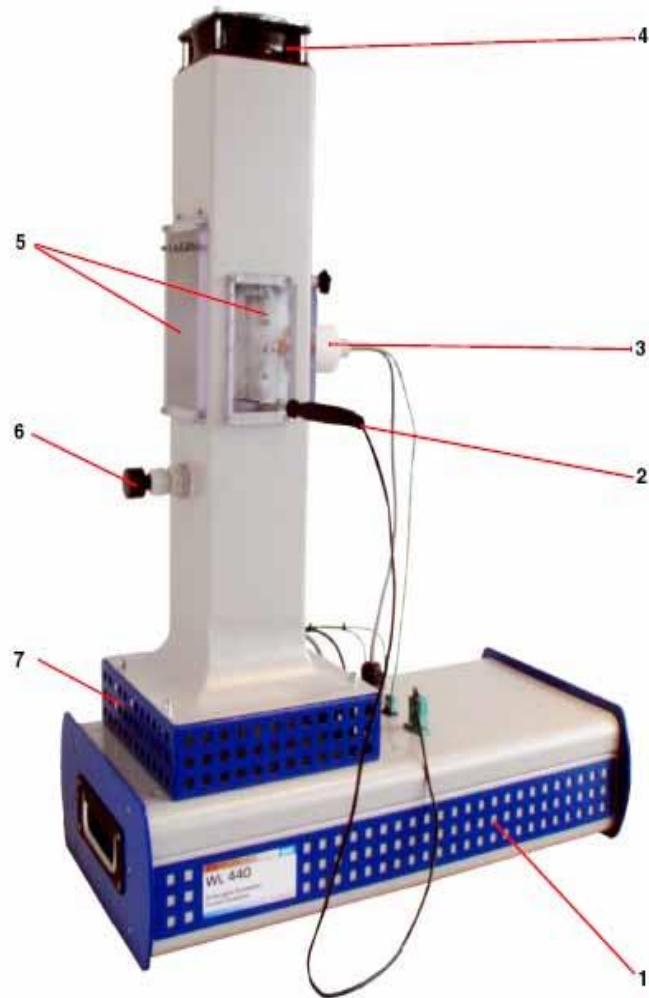


Figure. II.1 Représente l'appareil de la convection mixte de type WL 440, **1)** Boîtier de base, **2)** Capteur de température manuel, **3)** Élément chauffant (cylindre), **4)** Ventilateur, **5)** Voyants **6)** Générateur de turbulences, **7)** Entrée d'air.

II.2.2. Boîtier de l'appareil (Conduit d'air et Points de mesure de la température)

Le conduit d'air joue un rôle crucial dans le guidage du flux d'air et dans le support des composants essentiels tels que les points de mesure, le dispositif de chauffage et le ventilateur. Les valeurs de mesure des points de mesure de température, au nombre de quatre, permettent d'explorer les principes fondamentaux de la convection. Ces mesures comprennent T_1 et T_2 pour les températures d'entrée et de sortie de l'air dans le conduit, T_3 pour la température détectée par un capteur manuel, placé à deux centimètres du sommet du cylindre pour capturer la température la plus proche de l'air, et T_4 pour la température de surface du dispositif de chauffage respectif. Tous ces éléments sont intégrés dans le boîtier de l'appareil,

qui abrite également l'équipement informatique nécessaire pour communiquer avec un PC. [25].

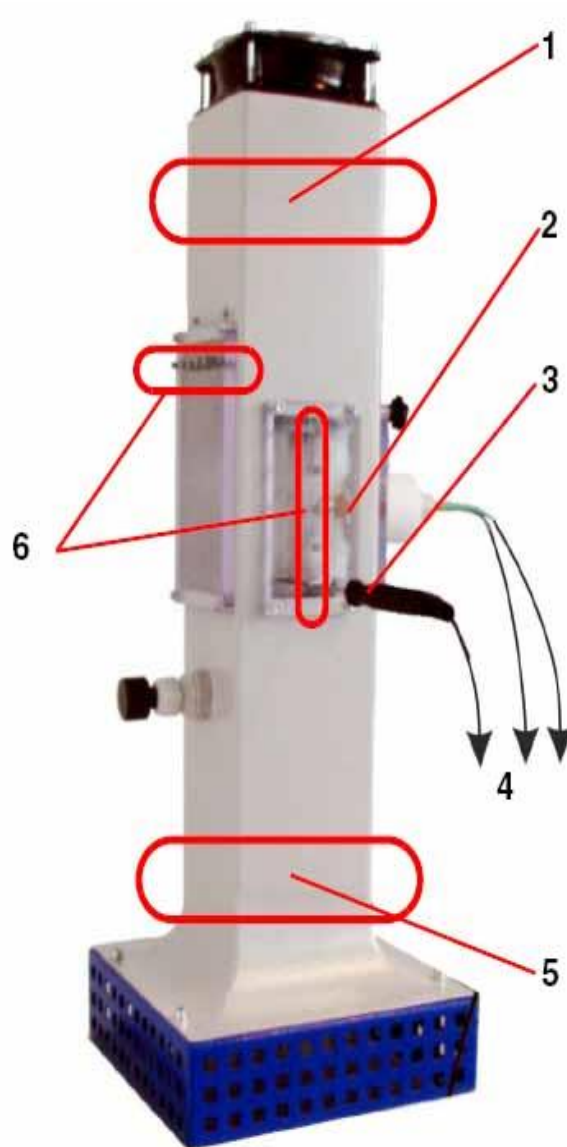


Figure. II.2. Points de mesure de la température, **1)** Plage du point de mesure T2, **2)** Point de mesure T4 au niveau du dispositif de chauffage, **3)** Point de mesure T3 capteur de température manuel, **4)** Raccords au boîtier de l'appareil, **5)** Plage du point de mesure T1, **6)** Mesure des champs de température.

II.2.3. Capteur de vitesse et Générateur de turbulences

Le capteur de vitesse se trouve derrière, sur le conduit d'air, et mesure la vitesse de l'air en se basant sur le principe de l'anémomètre thermique. Le générateur de turbulences est un composant de mécanique des fluides qui permet de mieux comprendre de quelle manière des écoulements d'intensités différentes influencent l'essai. Sur la figure, il est immergé dans

l'écoulement. Lorsqu'on ne souhaite pas l'utiliser lors des essais, il faut le sortir de l'écoulement jusqu'à ce qu'il affleure à la paroi (Figure. II.3.) [25] .

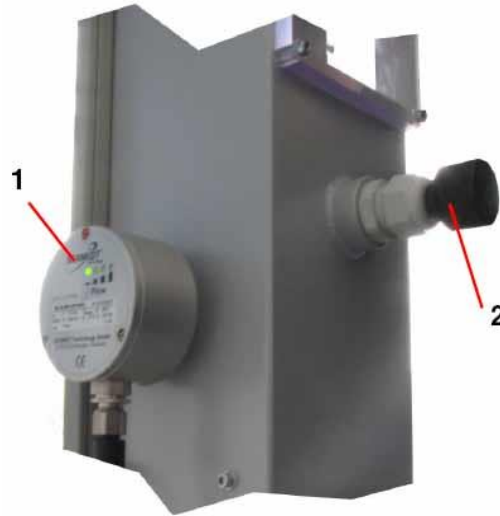


Figure II.3. Capteur de vitesse et générateur de turbulences.

II.2.4. Ventilateur

Le ventilateur (Figure II.4.) assure l'écoulement d'air dans le conduit d'air. Il est suffisamment puissant pour accélérer l'air à une vitesse suffisante à travers la section d'essai[25] .



Figure II.4. Ventilateur en haut, au niveau du conduit d'air.

II.2.5. Grille anti-vortex et l'éléments chauffants

La grille anti-vortex sert à mélanger l'air, afin que la température soit la plus homogène possible sur l'ensemble de la section transversale.

Les différents éléments chauffants montrent les différents effets de la forme sur le temps de chauffe et la convection. La puissance de chauffe est ajustée et réglée au moyen du logiciel.

Le dispositif de chauffage (Figure II.5) est arrêté lorsqu'une température de 90°C est atteinte, afin de le protéger contre le surchauffé (la température critique).

Le cylindre est chauffé par une cartouche chauffante qui se trouve au centre d'un orifice. La bonne conduction thermique permet d'avoir la même température sur toute la surface [25] .

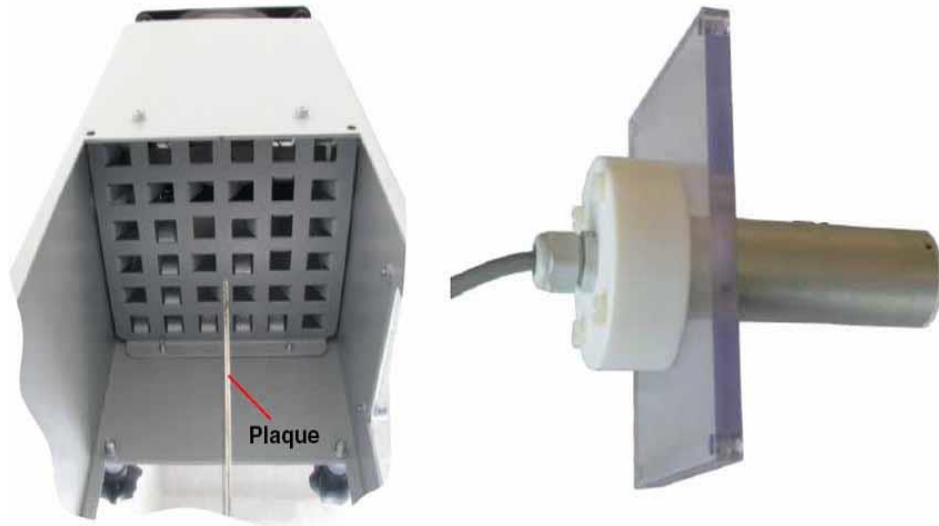


Figure II.5. Photographiée de la grille anti-vortex, avec l'élément de chauffe cylindre.

II.2.6. Commande et acquisition des données de mesure

Face arrière : L'interrupteur principal sert à allumer et éteindre l'alimentation électrique. Il s'agit d'un interrupteur à bascule I/O. Le port de raccordement de l'alimentation électrique se trouve à côté de l'interrupteur principal. Le porte-fusible accueille les deux petits fusibles. Le port de connexion USB est situé de l'autre côté de l'appareil[25].

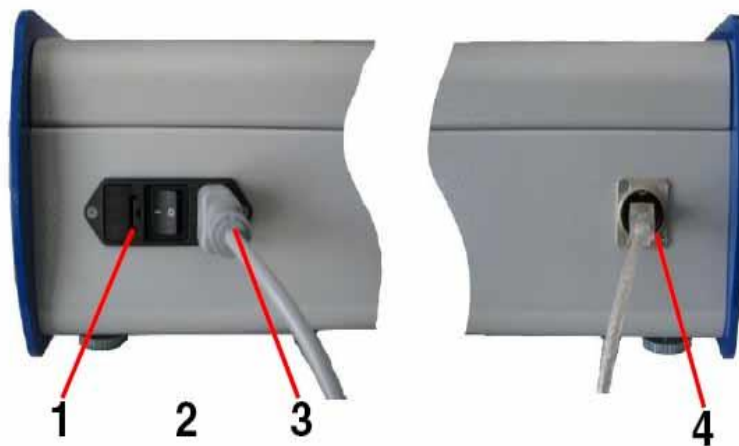


Figure II.6. Raccordements et interrupteurs sur la face arrière de l'appareil, 1) Porte-fusible 2) Commutateur principal 3) Alimentation électrique 4) Connexion USB.

L'acquisition des données de mesure et la commande se font par l'intermédiaire de la carte du microcontrôleur intégrée. Le programme d'acquisition des données de mesure sert aussi bien à commander l'appareil d'essai qu'à enregistrer et afficher les données de mesure. Le programme d'acquisition des données de mesure (appelé simplement « programme » dans ce qui suit) est installé sur un PC mis à disposition par le client . La connexion entre l'appareil d'essai et le PC est assurée par l'interface USB. Le programme permet de commander le dispositif de chauffage (spécification de la puissance électrique) et le ventilateur (spécification de la puissance du ventilateur en pourcentage). Dans le programme, on a le choix entre les options suivantes pour la représentation des valeurs de mesure et des valeurs calculées .

II.2.7. L'interface USB utilisateur

- Diagramme du système. Il comprend une représentation de l'appareil avec l'interface utilisateur
- Traceur. Montre la courbe dans le temps des valeurs de mesure.
- Enregistreur de données. Il permet d'enregistrer les évolutions dans le temps.
- Visualiser de données. Il est possible de visualiser les données enregistrées par l'enregistreur de données.
- Les fichiers de valeurs de mesure contiennent à la fois les valeurs de mesure disponibles et les valeurs calculées. Ces fichiers de valeurs de mesure peuvent être importés dans un programme de type tableur (par exemple MS Excel®) pour y être traités. La fonction d'aide intégrée explique comment fonctionne le programme [25] .

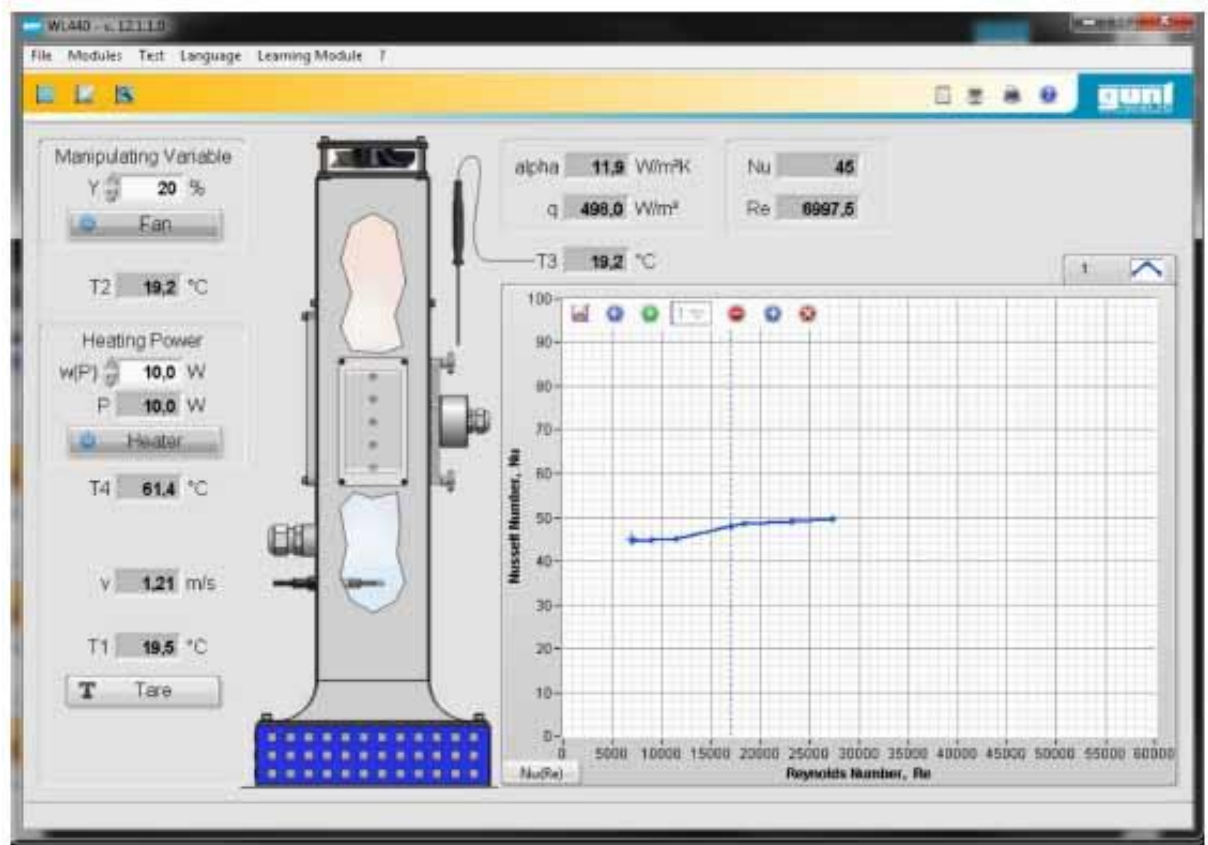


Figure II.7. Diagramme du système du WL 440.

La figure II.7 représente l'interface de logiciel de contrôle qui permis de lancer les mesures de notre manipe expérimentale que ce soit la source de chaleur, la vitesse d'écoulement d'air et l'enregistrement des donnée des températures, le coefficient de convection h , la source de chaleur Q , le nombre de Reynolds et le nombre de Nusselt . Ce logiciel donne aussi la partie graphique de cette manipe et les diagramme d'évolution des mesures qui sont relie avec la carte d'acquisition des données.

II.3. Equations générales pour la convection mixte

a . Flux thermique : différentiel de température dispositif de chauffage – fluide [25].

$$Q' = A_s \cdot h(T_4 - T_1) \quad (\text{II .1.1})$$

Q' =flux thermique

A_s = surface exothermique

h = coefficient de transfert de chaleur

T_1 = température ambiante

T_4 = température du dispositif de chauffage

b . Densité de Flux : Charge des surfaces de chauffage [25]

$$q = \frac{Q}{A_s} = h(T_4 - T_1) \quad (\text{II .1.2})$$

C . Résistance thermique :

$$R = \frac{T_4 - T_1}{Q} = \frac{1}{A_s h} \quad (\text{II .1.3})$$

d . Le nombre de Nusselt : nombre caractéristique du transfert de chaleur

$$Nu = \frac{h D}{k} \quad (\text{II .1.4})$$

e . Nombre de Rayleigh : compare les forces d'inertie et les forces visqueuses.

$$Ra = \frac{W_0 D}{\nu} \quad (\text{II .1.5})$$

En conclusion, nous constatons que l'utilisation des équations(1-5) et la compréhension du comportement de la machine nécessitent une connaissance approfondie des processus que se déroulant et l'intérieur du cylindre horizontal. Nous avons présenté un aperçu global de ce processus ainsi que de l'impact des conditions de fonctionnement, fournissant ainsi une base solide pour l'analyse et l'interprétation des données expérimentales collectées. Dans la section suivante, nous analyserons ces données en nous appuyant sur la compréhension approfondie que nous avons acquise du processus de la machine et de l'impact des conditions de fonctionnement sur celui-ci. Cette analyse détaillée permettra d'affiner nos modèles et de développer des solutions optimisées pour des applications industrielles plus efficaces et durables.



Figure. II.8. Représente l'appareil de la convection mixte de type WL 440

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1. Résultats et Discussions

Ce travail a été réalisé dans les mêmes conditions climatiques pour les différents flux imposés sur la surface du cylindre (les puissances utilisées 20w, 15w, 10w et 5w), pour la convection forcée, nous avons fixé 3 vitesses différentes pour chaque flux. Par ailleurs pour la convection libre, les mêmes puissances imposées avec une vitesse d'écoulement d'air égale 0m/s.

Avant le démarrage de l'appareil WL440 de transfert de chaleur par convection, il faut lancer d'abord le logiciel et l'étalonnage des thermocouples T1, T2, T3, et T4, est assurée le bon fonctionnement de la manipe.

Nous avons lancé le calcul pour une durée de 1h et 20 minutes avec l'enregistrement des valeurs expérimentales sur la station de calcul afin de traiter les résultats et tracer les diagrammes sur L'Origin.

Une variation de température en fonction du temps a été observée lors du transfert de chaleur, ce qui indique l'impact de la vitesse sur le transfert de chaleur à l'extérieur du cylindre.

Concernant la convection forcée, les figures III.1. à III.12. montrent les variations de température des quatre thermocouples à une vitesse constante et avec différents flux imposés, indiquant ainsi leurs effets sur le transfert de chaleur à l'extérieur du cylindre.

En augmentant la vitesse du flux à une même puissance thermique, le refroidissement est considérablement amélioré. Cela se traduit par une baisse plus rapide des températures par rapport aux cas avec des vitesses plus faibles.

Les observations principales de ces figures sont :

On remarque sur les courbes que la température de la surface du cylindre (T4) est plus basse à des vitesses de flux plus élevées. Cela indique une efficacité de refroidissement supérieure avec la convection forcée.

Les figures III. 13. à III.15. reflètent l'évolution de la température de la surface du cylindre T4 avec les variations de convection, indiquant leurs effets sur la distribution de la chaleur hors du cylindre.

Il y a un effet clair du flux thermique sur la distribution de la chaleur extérieure. La convection forcée contribue à une distribution plus homogène des températures et conduit à un refroidissement plus rapide par rapport à la convection naturelle (grande perte thermique).

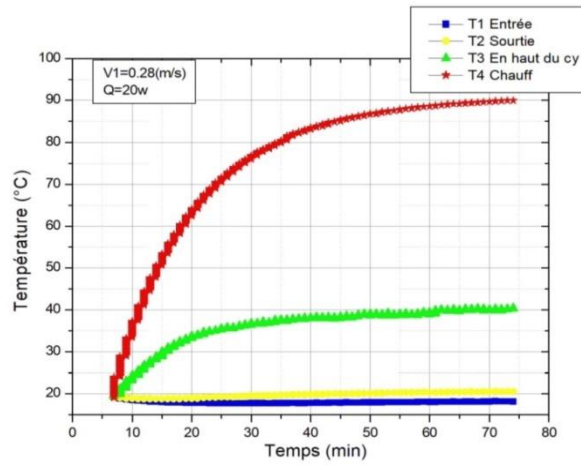


Figure III. 1. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 20w$, $V = 0,28$ (m/s)).

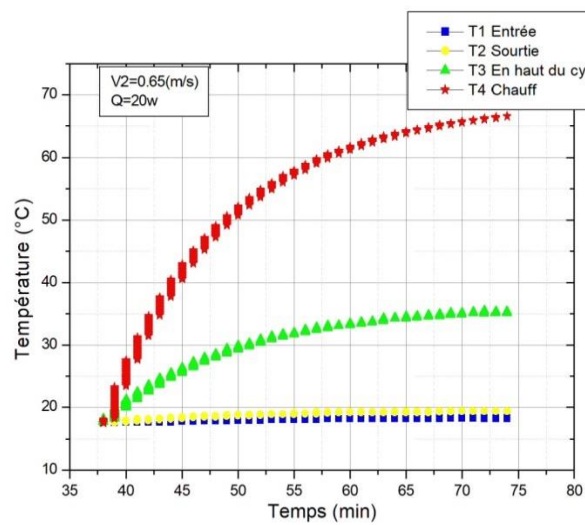


Figure III. 2. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 20w$, $V = 0,65$ (m/s)).

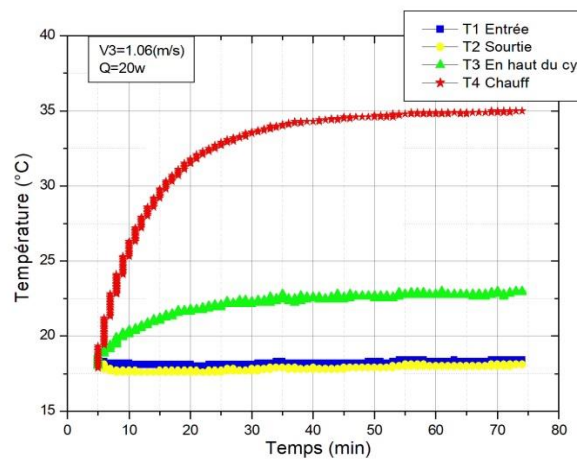


Figure III. 3. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 20w$, $V = 1,06$ (m/s)).

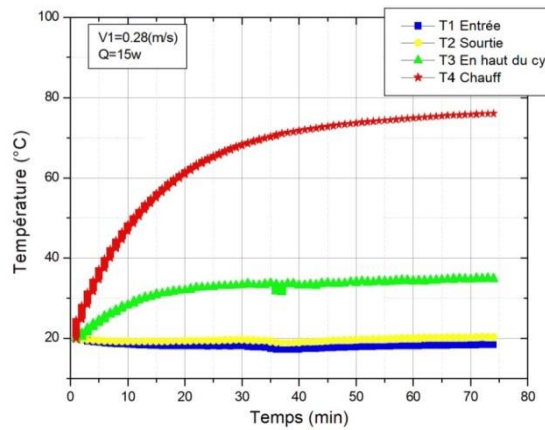


Figure III. 4. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 15w$, $V = 0,28$ (m/s)).

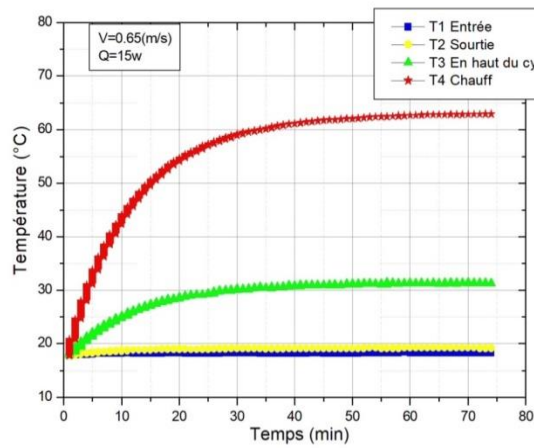


Figure III. 5. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 15w$, $V = 0,65$ (m/s)).

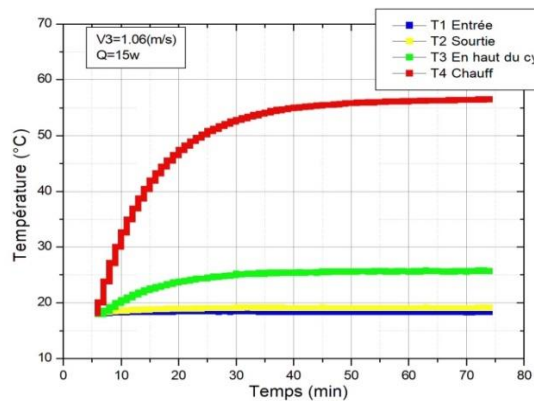


Figure III. 6. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 15w$, $V = 1,06$ (m/s)).

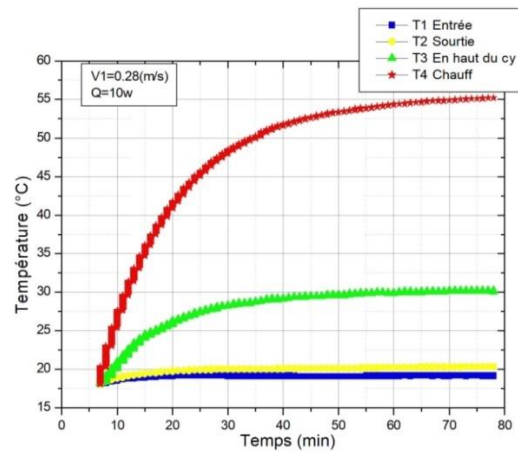


Figure III. 7. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 10w$, $V = 0,28$ (m/s)).

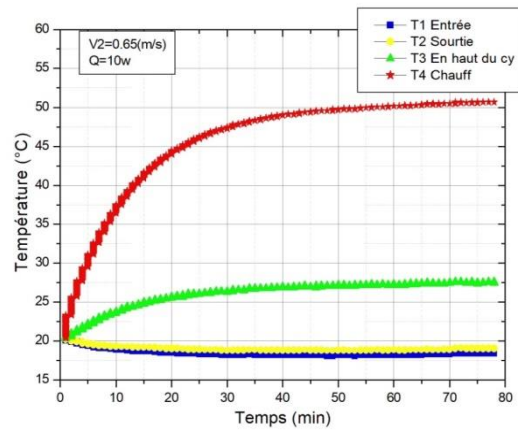


Figure III. 8. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 10w$, $V = 0,65$ (m/s)).

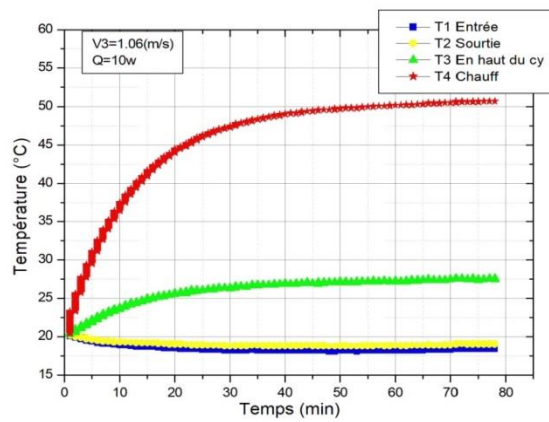


Figure III. 9. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour ($Q= 10w$, $V = 1,06$ (m/s)).

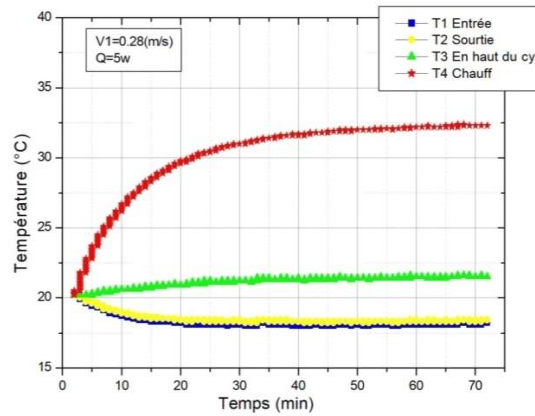


Figure III. 10. L'évolution de la température T1, T2, T3 et T4 pour ($Q = 5\text{w}$, $V = 0,28\text{ (m/s)}$).

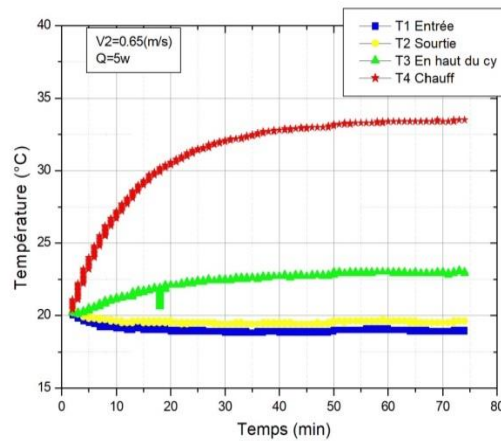


Figure III. 11. L'évolution de la température T1, T2, T3 et T4 pour ($Q = 5\text{w}$, $V = 0,65\text{ (m/s)}$).

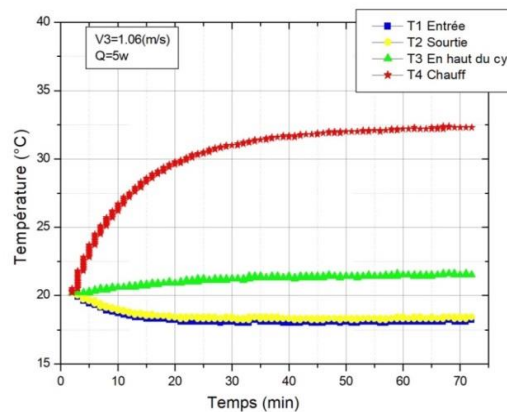


Figure III. 12. L'évolution de la température T1, T2, T3 et T4 pour ($Q = 5\text{w}$, $V = 1,06\text{ (m/s)}$).

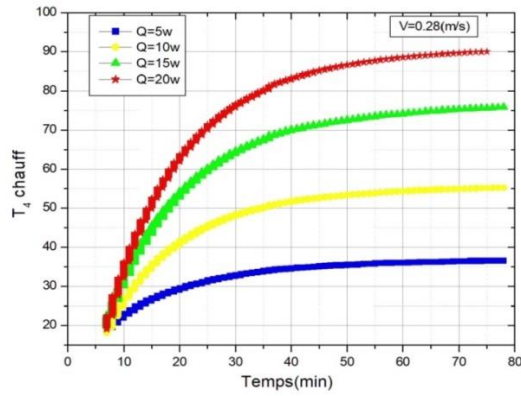


Figure III. 13. L'évolution de la température T_4 pour ($Q= 5\text{w}$, $Q=10\text{w}$, $Q=15\text{w}$ et $Q=20\text{w}$, $V = 0,28$ (m/s)).

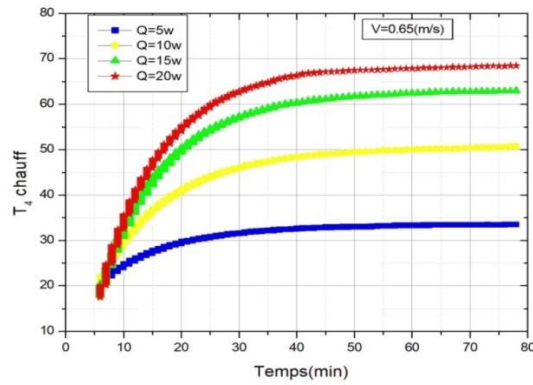


Figure III. 14. L'évolution de la température T_4 pour ($Q= 5\text{w}$, $Q=10\text{w}$, $Q=15\text{w}$ et $Q=20\text{w}$, $V = 0,65$ (m/s)).

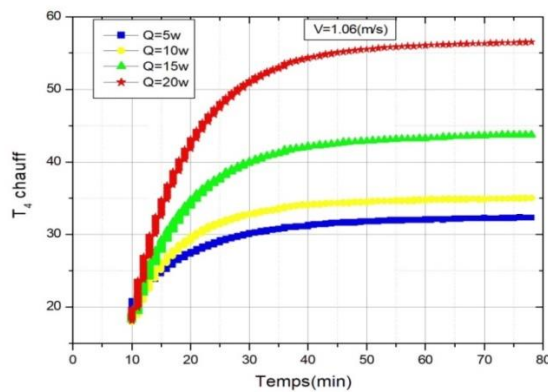


Figure III. 15. L'évolution de la température T_4 pour ($Q= 5\text{w}$, $Q=10\text{w}$, $Q=15\text{w}$ et $Q=20\text{w}$, $V = 1,06$ (m/s)).

Concernent la convection libre les figures III.16. a III. 19. montrent les variations de température des quatre thermocouples, avec différents flux thermiques, indiquant leurs effets sur le transfert de chaleur hors du cylindre.

La perte de chaleur et le refroidissement sont beaucoup plus importants dans le cas de la convection forcée par rapport au convection naturel, ce qui reflète l'efficacité de la convection mixte pour améliorer le processus de refroidissement.

La figure III.20. montre l'évolution de la température de T3 avec un flux thermique variable, indiquant ses effets sur le transfert de chaleur et la perte de chaleur hors du cylindre.

La figure III.21. montre l'évolution de la température de T4 avec un flux thermique variable, indiquant ses effets sur le transfert de chaleur à la surface du cylindre. L'arrêt de la courbe T4 pour $Q = 20\text{w}$ à 90°C indique la présence d'un système de protection pour limiter une élévation excessive de la température, assurant ainsi la sécurité de l'appareil. Cela indique la validité de ce que nous avons évoqué dans la partie théorique.

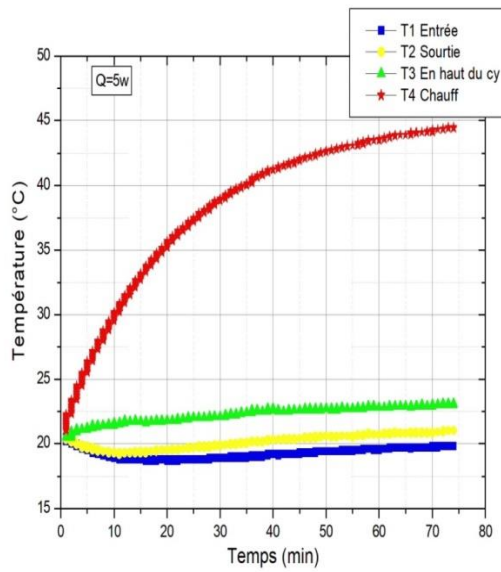


Figure III. 16. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 5w).

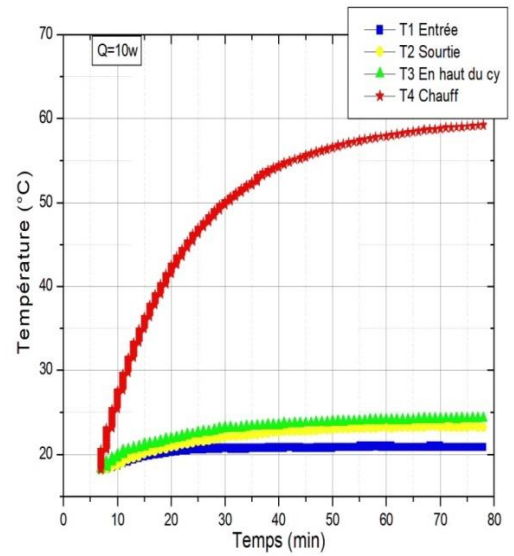


Figure III. 17. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 10w).

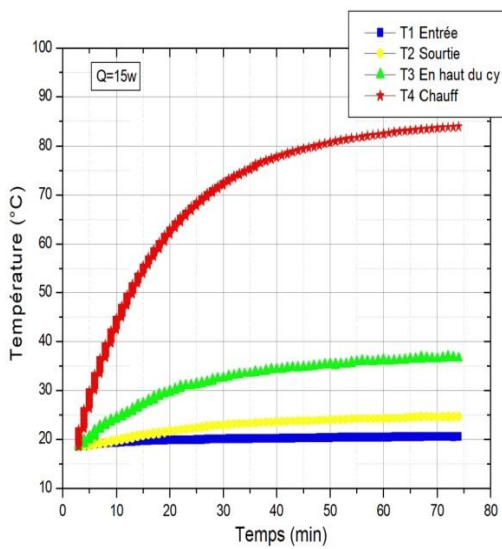


Figure III. 18. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 15w).

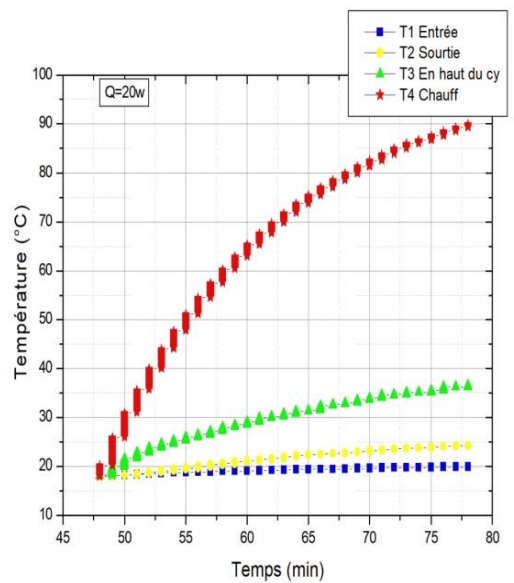


Figure III. 19. L'évolution de la température T1,T2,T3 et T4 pour (Q= 20w).

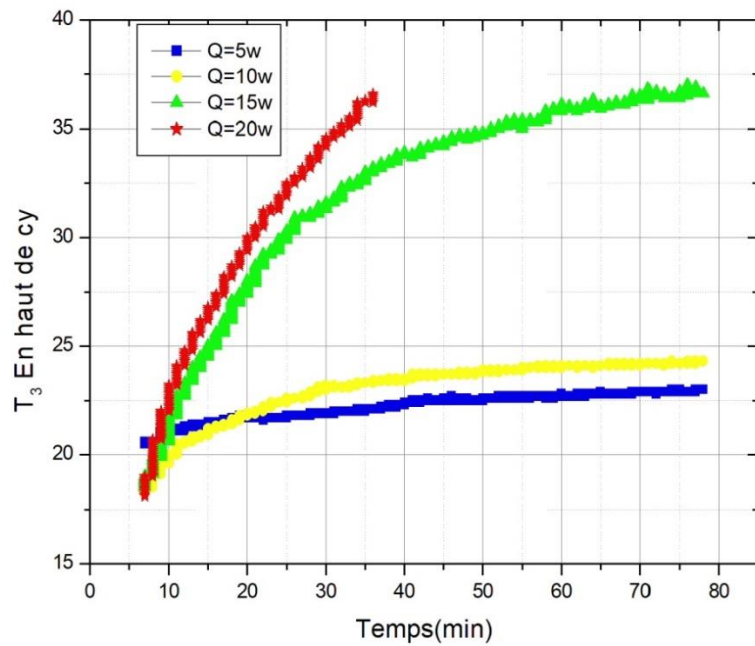


Figure III. 20. L'évolution de la température T_3 pour ($Q= 5w$, $Q=10w$, $Q=15w$ et $Q=20w$).

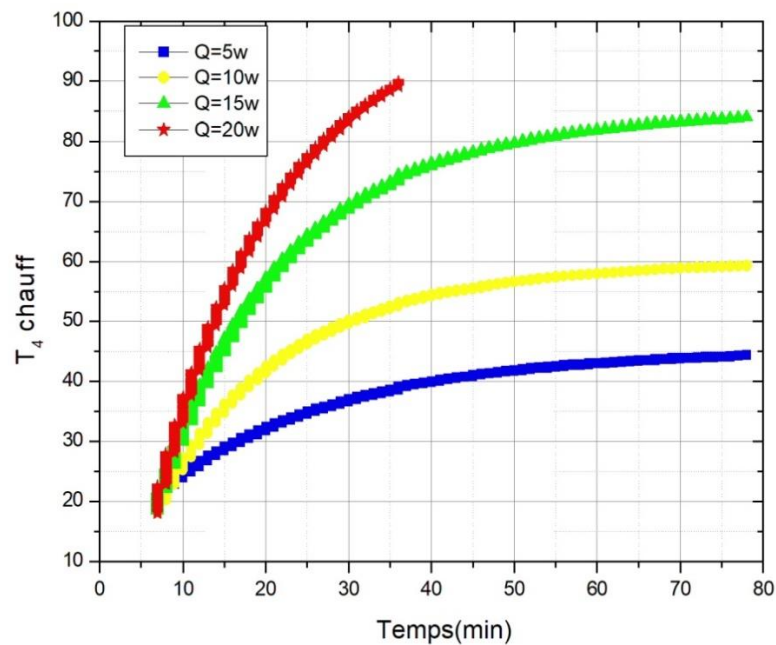


Figure III.21. L'évolution de la température T_4 pour ($Q= 5w$, $Q=10w$, $Q=15w$ et $Q=20w$).

Les figures III .22. a III.25. montrent l'évolution du nombre de Nusselt et de l'angle β en fonction de l'augmentation de la hauteur du cylindre à l'extérieur.

Réponse proportionnelle: Il existe une relation directe et proportionnelle entre ces variables. Cela démontre l'efficacité dans la conception des systèmes thermiques pour obtenir de meilleures performances et une efficacité accrue.

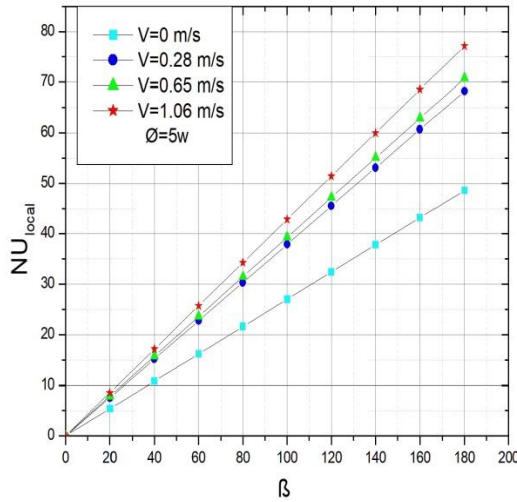


Figure III.22. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour différentes de vitesse ($Q=5w$).

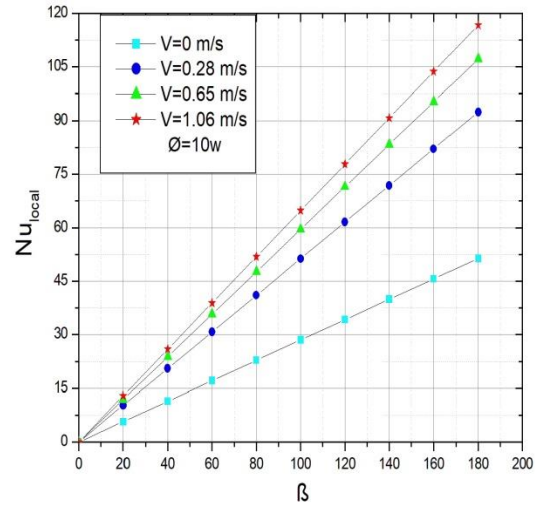


Figure III. 23. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour différentes de vitesse ($Q=10w$).

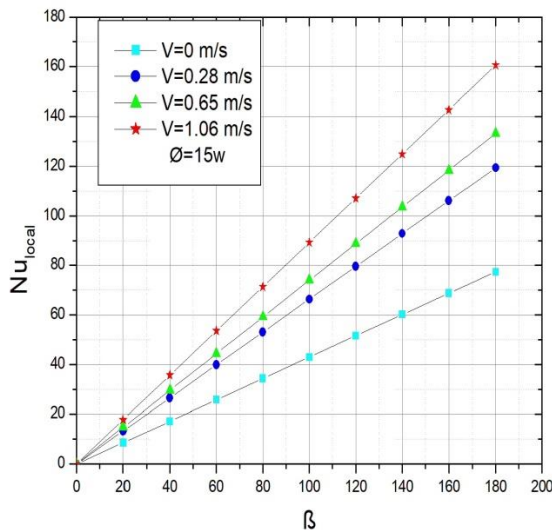


Figure III. 24. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour différentes de vitesse ($Q=15w$).

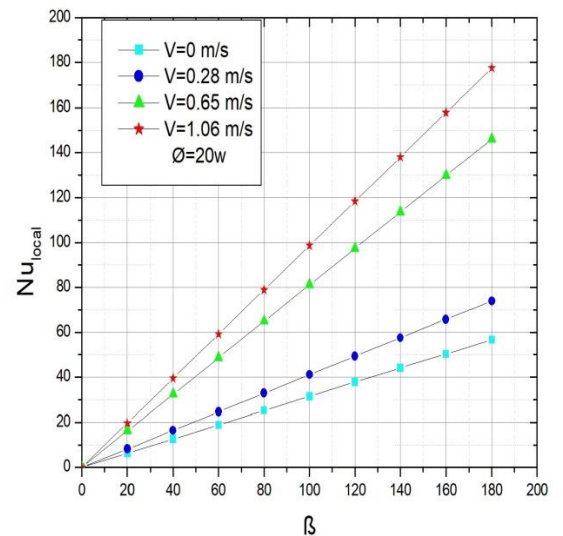


Figure III. 25. Evolution du nombre de Nusselt en fonction de l'angle β pour différentes de vitesse ($Q=20w$).

La figure III.25. montre l'évolution du coefficient de convection en fonction du débit, montrant une relation directe entre les deux : avec une augmentation du débit, le coefficient de convection augmente.

L'interprétation des résultats dépend du contexte de l'expérience et des conditions environnantes, et parmi les interprétations possibles :

Une augmentation de la température dans le cylindre entraîne une augmentation du coefficient de convection, ce qui signifie une augmentation de la quantité de chaleur transférée du cylindre à l'air.

Les conditions externes telles que température ambiante et la vitesse de l'air peuvent affecter le coefficient de convection, par exemple, une augmentation des courants d'air peut augmenter le coefficient de convection en raison d'une augmentation du transfert de chaleur.

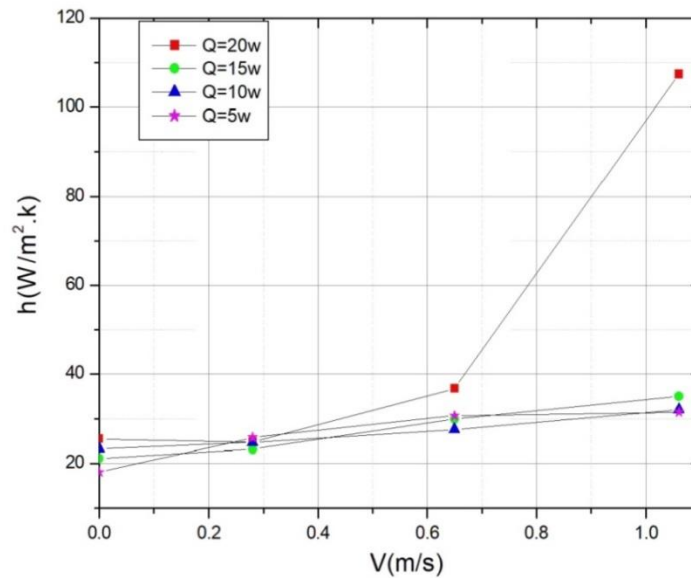


Figure III. 26. Evolution de coefficient de convection pour la vitesse .

En conclusion, les résultats de cette étude soulignent l'importance de l'analyse des conditions de flux et la convection sur les performances des systèmes de transfert de chaleur et leur impact sur les pertes d'énergie. Ils mettent en lumière la performance exceptionnelle du cylindre en aluminium et l'importance significative du contrôle du flux d'air sur la distribution des températures. Cette conclusion souligne également l'importance du développement de nouvelles stratégies opérationnelles pour améliorer l'efficacité du transfert de chaleur et garantir des performances durables et fiables des systèmes thermiques dans diverses applications industrielles et technologiques

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude sur le transfert de chaleur par convection autour d'un cylindre horizontal a permis de mieux comprendre les interactions complexes entre différentes conditions aux limites milieux. À travers cette étude expérimentale, cette recherche met en évidence les mécanismes fondamentaux qui influencent l'étude des systèmes de refroidissement et de chauffage.

Des expériences réalisées sur un cylindre en aluminium pour ce mode de transfert de chaleur ont révélé des informations importantes sur l'effet de la vitesse de l'air sur la température de surface du cylindre. Les résultats ont montré l'importance de la convection forcée pour améliorer le transfert de chaleur, et ainsi réduire les pertes de chaleur vers l'air ambiant.

En somme, cette étude a démontré que la maîtrise des mécanismes de convection mixte est essentielle pour le développement des solutions thermiques efficaces et durables. Elle offre des perspectives précieuses pour l'amélioration des systèmes industriels de chauffage et de refroidissement, en réduisant les coûts énergétiques et en augmentant l'efficacité thermique. Les stratégies opérationnelles développées à partir de ces travaux pourront ainsi contribuer à la conception des systèmes thermiques plus performants et respectueux de l'environnement, répondant aux défis énergétiques actuels et futurs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **Abid, C., Papini, F., Ropke, A., & Veyret, D. (1993).** “Etude de la convection mixte dans un conduit cylindrique. Approches analytique/numérique et détermination expérimental de la température de paroi par thermographie infrarouge.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 37 (1):91–101.
- [2] **Reddy, K. S., & Numericalstudy, G. V. (2008).** Numerical study of porous finned receiver for solar parabolic trough concentrator. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, *2*(2), 172-184 .
- [3] **Tao, Y. B., & He, Y. L. (2010).** Numerical study on coupled fluid flow and heat transfer process in parabolic trough solar collector tube. **State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710049, China.**
- [4] **Atayılmaz, S. Ö. (2011).** Experimental and numerical study of natural convection heat transfer from horizontal concentric cylinders. **Department of Mechanical Engineering, Yildiz Technical University, 34349 Istanbul, Turkey.*
- [5] **Al-Ansary, H., & Zeitoun, O. (2011).** “Numerical study of conduction and convection heat losses from a half-insulated air-filled annulus of the receiver of a parabolic trough collector.” *Mechanical Engineering Department, King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia.* Received 31 March 2011; received in revised form 2 September 2011; accepted 2 September 2011. Available online 24 September 2011.
- [6] **Yang, X., et al. (2012).** Étude numérique sur les caractéristiques du transfert de chaleur du tube récepteur de la tour solaire thermique. *Université de technologie du Sud de la Chine, Guangzhou, Chine.*
- [7] **Yang, X., et al. (2012).** ”Numerical simulation study on the heat transfer characteristics of the tube receiver of the solar thermal power tower.” **Applied Energy**, vol. 90, 2012, pp. 142-147.
- [8] **Ali, O. M., & Alomar, O. R. (2012).** Mixed convection heat transfer from heated aligned linearly contoured cylinders in vented square enclosures.
- [9] **Wang, P., et al. (2013).** "Numerical study of heat transfer enhancement in the receiver tube of direct steam generation with parabolic trough by inserting metal foams." **Applied Energy**, vol. 102, 2013, pp. 449-460 .

- [10] **Hachicha, A. A., Rodriguez, I., Capdevila, R., & Oliva, A. (2013).** "Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough solar collector." **Applied Energy**, vol. 111, 2013, pp. 581-592 .
- [11] **Wu, Z., et al. (2014).** Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics of parabolic trough receiver. **Applied Energy*, 113*, 902-911.
- [12] **Li, Z. Y., Huang, J., & Tao, W. Q. (2015).** Three-dimensional numerical study on turbulent mixed convection in parabolic trough solar receiver tube. **Energy Procedia*, 75*, 462-466.
- [13] **Liu, Q., et al. (2016).** Numerical investigation of the thermophysical characteristics of the mid-and-low temperature solar receiver/reactor for hydrogen production. **International Journal of Heat and Mass Transfer*, 97*, 379-390.
- [14] **R. Tahtah, A., et al. (2018).** Numerical study of mixed convection for different concentrations of a parabolic trough collector and experimental determination of temperatures (case study for winter climatic conditions). **International Journal of Ambient Energy**, DOI: 10.1080/01425750.2018.1562973.
- [15] **El-Maghlany, W. M., et al. (2018).** Experimental and numerical study of laminar mixed convection from a horizontal isothermal elliptic cylinder. *International Journal of Thermal Sciences*, 125, 116-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.04.022>.
- [16] **Maarka, K., & Soudani, A. (2019).** Etude tridimensionnelle de la convection mixte dans une conduite cylindrique horizontale. **Revue des Energies Renouvelables**, 22(2), 227-236.
- [17] **Maarka, K., et al. (2019).** The analysis of amplitude and phase angle of periodic mixed convective fluid flow across a non-conducting horizontal circular cylinder.
- [18] **Pandey, S., et al. (2022).** Direct numerical simulation of natural convection between an enclosure and multiple circular cylinders: An influence of horizontal arrangement of cylinders.
- [19] **Hollingshead, C. W., et al. (2022).** Mixed convection around two vertically aligned horizontal cylinders.
- [20] **Hussain, S. M., et al. (2023).** Artificial neural network modeling of mixed convection viscoelastic hybrid nanofluid across a circular cylinder with radiation effect: Case study. *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume(Issue), Page range.
- [21] **Fedotov, A., et al. (2023).** Numerical study of free convection in a thin layer between coaxial horizontal cylinders.

- [22] **Khan, M. N., et al. (2023)**. Analysis of fluctuating heat and current density of mixed convection flow with viscosity and thermal conductivity effects along horizontal non-conducting cylinder.
- [23] **Hidki, R., et al. (2024)**. Analysis of mixed convection and surface radiation in a horizontal channel containing different finned heat-generating blocks. *Thermal Science and Engineering Progress*, 48, 102370. DOI: 10.1016/j.tsep.2024.102370 .
- [24] **Behtarinik, J., & Mehryar, R. (2024)**. Numerical simulation of fluid flow and heat transfer in steady state laminar natural convection in horizontal circular cylindrical enclosures. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, 105, 109251 .
- [25] **GUNT. (n.d.)**. **Convection libre et forcée**: <https://gunt.de/fr/produits/convection-libre-et-forcee/060.44000/wl440/glct-1:pa-149:pr-1522>.

Résumé

Afin d'améliorer les systèmes de refroidissement et de chauffage, ainsi que de développer des applications industrielles connexes en réduisant le coût des systèmes énergétiques, une étude expérimentale de la convection mixte autour d'un cylindre a été réalisée. L'étude expérimentale a été menée au Laboratoire pédagogique de Transfert de Chaleur de l'Université de Ghardaïa. L'étude a été effectuée sur une manipe de transfert de chaleur à convection mixte WL440 dans laquelle un cylindre en aluminium a été placé au milieu du canal de refroidissement par l'air. Différents flux imposés sont obtenus à différentes vitesses de refroidissement. Les résultats obtenus indiquent l'importance et l'influence des vitesses de l'air lors de ce travail et de la température de la surface externe du cylindre. Ces résultats mettent en évidence l'importance d'un contrôle précis des conditions de travail pour améliorer les performances des systèmes de transfert de chaleur. Il souligne la nécessité de développer des stratégies opérationnelles innovantes pour améliorer l'efficacité du transfert de chaleur et garantir des performances durables des systèmes thermiques.

Mots-clés : convection mixte, cylindre horizontal, pertes thermiques, transfert de chaleur, la manipe expérimentale WL440.

Abstract

To improve cooling and heating systems, as well as develop related industrial applications by reducing the cost of energy systems, an experimental study of mixed convection around a cylinder was conducted. The experimental study was carried out at the Heat Transfer Educational Laboratory of the University of Ghardaia. The study was performed on a mixed convection heat transfer setup WL440, in which an aluminum cylinder was placed in the middle of the air cooling channel. Different imposed fluxes were obtained at different cooling speeds. The results obtained indicate the importance and influence of air speeds during this work and the temperature of the outer surface of the cylinder. These results highlight the importance of precise control of working conditions to improve the performance of heat transfer systems. It emphasizes the need to develop innovative operational strategies to enhance heat transfer efficiency and ensure sustainable performance of thermal systems.

Keywords: Mixed convection, horizontal cylinder, thermal losses, heat transfer, experimental manipulation WL440.

الملخص

من أجل تحسين أنظمة التبريد والتدفئة، وكذلك تطوير التطبيقات الصناعية ذات الصلة من خلال تقليل تكلفة الأنظمة الطاقية، تم إجراء دراسة تجريبية للحمل الحراري المختلط حول أسطوانة. أجريت الدراسة التجريبية في مختبر نقل الحرارة التعليمي بجامعة غرداية. تم إجراء الدراسة على جهاز نقل الحرارة بالحمل الحراري المختلط WL440، حيث تم وضع أسطوانة من الألمنيوم في وسط قناة التبريد بالهواء. تم الحصول على تدفقات مختلفة عند سرعات تبريد مختلفة. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أهمية وتأثير سرعات الهواء أثناء هذا العمل ودرجة حرارة السطح الخارجي للأسطوانة. تبرز هذه النتائج أهمية التحكم الدقيق في ظروف العمل لتحسين أداء أنظمة نقل الحرارة. وتؤكد على ضرورة تطوير استراتيجيات تشغيلية مبتكرة لتحسين كفاءة نقل الحرارة وضمان الأداء المستدام للأنظمة الحرارية.

الكلمات المفتاحية: الحمل الحراري المختلط، أسطوانة أفقية، خسائر حرارية، نقل الحرارة، المعالجة التجريبية WL440.



غرداية في :

إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة) :

2. الطالب (ة) :

3. الطالب (ة) :

تخصص : ..فيزياء طااقوية و الطاقات المتجددة

نمنح نحن الأستاذ (ة) :

الاسم واللقب	الرتبة - الجامعة الأصلية	الصفة	الامضاء
سبع الحاج يحيى	MCA	رئيس اللجنة	
بوعرعور كمال	MCA	مصحح (1)	
عيساوي فارس	MCA	مصحح (2)	عيساوي فارس
تهتاه رضا	MAB	مؤطر	

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بعنوان

Etude Expérimentale de la Convection de Chaleur autour d'un Cylindre horizontal

إمضاء رئيس القسم

العلمي عبد اللطيف
رئيس قسم الآلية
والكهروميكانيك