



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Entrez votre département

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**  
**Filière : Génie Mécanique**  
**Spécialité : Energétique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**Khelil Fares**  
**Ben cheaah Mbarka**

Le : mercredi 12 juin 2024

## **Influence de la forme de la rugosité artificielle sur l'amélioration du transfert de chaleur dans un capteur solaire plan à air**

---

### **Jury :**

M.	O.Hamdi	MCB	Université de Biskra	Président
M.	D.Fitess	MCB	Université de Biskra	Examineur
M.	N. Chouchane	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

**Année universitaire : 2023 - 2024**



## *Dédicace*



*"Nous traversons toutes les difficultés, mais le goût du succès nous fait oublier ces moments."*

*K. Fares : Je présente mes salutations à **ma famille** et je tiens à mentionner **ma mère**, qui a été et reste le pilier solide qui ne faiblit pas et à celui qui m'a fait de moi un homme. Et je prie pour mon père, qu'**Allah** lui accorde le paradis.*

*J'adresse mes remerciements à **mes frères** et **sœurs**, en particulier mon frère **Hassen** et **Farid**, qui m'ont offert un ordinateur, ce qui m'a beaucoup aidé dans la rédaction du mémoire.*

*B.C. Mbarka : Je tiens à remercier mon superviseur, **Nacer Chouchane**, qui m'a guidé et inspiré tout au long de ce processus. Son expertise, sa disponibilité et ses précieux conseils ont été essentiels pour la réussite de ma thèse.*

*Je remercie également les ingénieurs du hall technologique de génie mécanique de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Biskra Mohamed Khider pour leur aide. Enfin, je remercie **ma famille** et **mes amis** qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études. Votre amour, vos encouragements et votre compréhension ont été une source positive pour mon parcours académique.*

## **Remerciement**

**Je suis très heureux d'adresser mes sincères remerciements au DR. Nacer CHOUCANE pour tous les efforts et conseils prodigués, et je lui souhaite bonne santé et bien-être.**

**Je suis très heureux que vous ayez supervisé mon encadreur et je suis honoré devant tout le monde de traiter avec vous**

**Je tiens à remercier les ingénieurs et techniciens du hall technologique de génie mécanique de la faculté des sciences et de la technologie de l'université de Biskra pour son aide à achever la partie expérimentale.**

**Je tiens également à remercier le président et les membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'évaluer notre travail. Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers ma famille et mes amis qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études. Votre amour, vos encouragements et votre compréhension ont été une source de motivation inépuisable. Sincèrement.**

**K. Fares**

**B.C. Mbarka**

## **SOMMAIRE**

Dédicace	<b>I</b>
Remerciements	<b>II</b>
Sommaire	<b>III</b>
Listes des figures	<b>IV</b>
Liste des tableaux	<b>V</b>
Nomenclature	<b>VI</b>
المخلص	<b>VII</b>
Introduction Générale	<b>Page 01</b>

### **CHAPITRE I : L'état de l'art**

<b>Le titre</b>	<b>La page</b>
Introduction	<b>03</b>
I.1.Travaux de recherche d'amélioration des performances d'un capteur solaire solaire plan en fonction de rugosités artificielles	<b>03</b>
Conclusion	<b>12</b>

### **CHAPITRE II : Etude expérimentale.**

<b>Le titre</b>	<b>La page</b>
Introduction	<b>13</b>
II .1. Les conditions expérimentales	<b>13</b>
II .2. Description du dispositif expérimental	<b>13</b>
II .3. Types de configurations de chicane étudiées	<b>19</b>
II .4. Tableaux des mesures et des courbes graphiques	<b>20</b>
Conclusion	<b>57</b>

**CHAPITRE III : Établissement de modèles de calcul pour les pertes de charge et le nombre de Nusselt.**

<b>Le titre</b>	<b>La page</b>
Introduction.	<b>58</b>
III.1 La méthode de calcul.	<b>58</b>
III.2 Régime turbulent : ( $Re > 2300$ ).	<b>61</b>
III.3 Régime laminaire : ( $Re < 2000$ ).	<b>68</b>
III.4 Partie thermique.	<b>72</b>
III.5 Régime turbulent : ( $Re > 2300$ ).	<b>74</b>
III.6. Régime laminaire ( $Re < 2300$ ) :	<b>79</b>
III.7. Discussions et interprétations des résultats.	<b>82</b>
Conclusion.	<b>84</b>

## Liste des Figures

N °	Le titre	La page
CHAPITRE I : L'état de l'art		
Figure.I-1	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils transversaux continus [1].	<b>04</b>
Figure.I-2	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques transversaux discontinus [2,3].	
Figure.I-3	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés continus [4].	<b>05</b>
Figure.I-4	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés de V continus [5].	
Figure.I-5	Rugosité multiple en forme de V [6].	<b>06</b>
Figure.I-6	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés en V discontinus [7,8].	
Figure.I-7	Rugosité avec des nervures en forme de V à cavités multiples combinées à des nervures en quinconce [9,10]	<b>07</b>
Figure.I-8	Schéma d'un canal rectangulaire muni de petit fils de métal [11].	<b>08</b>
Figure.I-9	Schéma d'un canal rectangulaire muni d'une combinaison entre fils de métal transversaux et inclinés [12].	
Figure.I-10	Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques en forme d'arc [13].	<b>9</b>

Figure.I-12	Schéma des nervures en forme de cales (dent de scie) [16].	<b>10</b>
Figure.I-13	Combinaison de nervures et rainure transversales [17].	
Figure.I-14	Schéma d'un canal rectangulaire avec des grilles métalliques étendues [18]	<b>11</b>
Figure.I-15	<b>Figure.1-15</b> : Schémas des chicanes utilisées	
CHAPITRE II : Etude expérimentale.		
Figure. II .01	Dispositif expérimental	<b>14</b>
Figure. II .02	Schéma du capteur solaire solaire et géométrie de passage (cas sans chicanes)	
Figure. II .03	Aspirateur	<b>15</b>
Figure. II .04	Variateur de vitesse	
Figure. II .05	Manomètre de pression	<b>16</b>
Figure. II .06	Anémomètre à hélice	
Figure. II .07	Pyranomètre	
Figure. II .08	Thermomètre	
Figure. II .9	Chicane ( $\alpha^\circ=60^\circ$ ).	<b>17</b>
Figure. II .10	Chicane ( $\alpha^\circ=120^\circ$ ).	

Figure. II .11	Chicane ( $\alpha^\circ=150^\circ$ ).	
Figure. II .12	Chicane sous forme <b>V</b>	<b>18</b>
Figure. II .13	Chicane sous forme <b>\Lambda</b>	
Figure. II .14	Chicane sous forme <b>\Lambda</b>	
<b>Figure.II.15</b>	Évolution des températures en fonction du temps lisse	<b>21</b>
<b>Figure.II.16</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses lisse	
<b>Figure.II.17</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>01</b>	<b>23</b>
<b>Figure.II.18</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>01</b>	
<b>Figure.II.19</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>02</b>	<b>25</b>
<b>Figure.II.20</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>02</b>	
<b>Figure.II.21</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>03</b>	<b>27</b>
<b>Figure.II.22</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>03</b>	
<b>Figure.II.23</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>04</b>	<b>29</b>
<b>Figure.II.24</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>04</b>	
<b>Figure.II.25</b>	Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse (config 1.2.3.4 et lisse)	<b>30</b>
<b>Figure.II.26</b>	Évolution des pressions en fonction de vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse (config 1.2.3.4 et lisse)	
<b>Figure.II.27</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>05</b>	<b>32</b>



<b>Figure.II.28</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>05</b>	
<b>Figure.II.29</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>06</b>	<b>34</b>
<b>Figure.II.30</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>06</b>	
<b>Figure.II.31</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>07</b>	<b>36</b>
<b>Figure.II.32</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>07</b>	
<b>Figure.II.33</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>08</b>	<b>38</b>
<b>Figure.II.34</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>08</b>	
<b>Figure.II.35</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>09</b>	<b>40</b>
<b>Figure.II.36</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>09</b>	
<b>Figure.II.37</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>10</b>	<b>42</b>
<b>Figure.II.38</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>10</b>	
<b>Figure.II.39</b>	Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 5.6.7.8.9.10 et lisse</b> )	<b>43</b>
<b>Figure.II.40</b>	Évolution des pressions en fonction de vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 5.6.7.8.9.10 et lisse</b> )	
<b>Figure.II.41</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>11</b>	<b>45</b>
<b>Figure.II.42</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>11</b>	

<b>Figure.II.43</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>12</b>	<b>47</b>
<b>Figure.II.44</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>12</b>	
<b>Figure.II.45</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>13</b>	<b>49</b>
<b>Figure.II.46</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>13</b>	
<b>Figure.II.47</b>	Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 11.12.13 et lisse</b> )	<b>50</b>
<b>Figure.II.48</b>	Évolution des pressions en fonction de vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 11.12.13et lisse</b> )	
<b>Figure.II.49</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>14</b>	<b>52</b>
<b>Figure.II.50</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>14</b>	
<b>Figure.II.51</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>15</b>	<b>54</b>
<b>Figure.II.52</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>15</b>	
<b>Figure.II.53</b>	Évolution des températures en fonction du temps <b>config</b> <b>16</b>	<b>56</b>
<b>Figure.II.54</b>	Évolution des pressions en fonction du vitesses <b>config</b> <b>16</b>	
<b>Figure.II.55</b>	Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 1-16 et lisse</b> )	<b>57</b>
<b>Figure.II.56</b>	Évolution des pressions en fonction de vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse ( <b>config 1-16 et lisse</b> )	

<b>Chapitre III : Établissement de modèles de calcul pour les pertes de charge et le nombre de Nusselt.</b>		
<b>Figure. III.1</b>	L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour <b>la configuration 1</b>	<b>67</b>
<b>Figure. III.2</b>	L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour <b>la configuration 2</b>	
<b>Figure. III.3</b>	L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour <b>la configuration 1</b>	<b>70</b>
<b>Figure. III.4</b>	L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour <b>la configuration 2</b>	<b>71</b>
<b>Figure. III.5</b>	Evolution de Nusselt en fonction de Reynolds définie par régime turbulent <b>configuration1</b>	<b>77</b>
<b>Figure. III.6</b>	Evolution de Nusselt en fonction de Reynolds définie par régime turbulent <b>configuration2</b>	<b>78</b>

#### Liste des tableaux

<b>N °</b>	<b>Le titre</b>	<b>La page</b>
<b>CHAPITRE II : Etude expérimentale.</b>		
<b>Tableau II.1</b>	Configuration des chicane en forme <b>V</b> et <b>Λ</b>	<b>19</b>
<b>Tableau II.2</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal sans Chicane ( <b>lisse</b> ).	<b>20</b>
<b>Tableau II.3</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicane définie par <b>Config 01</b>	<b>32</b>
<b>Tableau II.4</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicane définie par <b>Config 02</b>	<b>24</b>
<b>Tableau II.5</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicane définie par <b>Config 03</b>	<b>26</b>
<b>Tableau II.6</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicane définie par <b>Config 04</b>	<b>28</b>

<b>Tableau II.7</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 05</b>	<b>31</b>
<b>Tableau II.8</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 06</b>	<b>33</b>
<b>Tableau II.9</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 07</b>	<b>35</b>
<b>Tableau II.10</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 08</b>	<b>37</b>
<b>Tableau II.11</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 09</b>	<b>39</b>
<b>Tableau II.12</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 10</b>	<b>41</b>
<b>Tableau II.13</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 11</b>	<b>44</b>
<b>Tableau II.14</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 12</b>	<b>46</b>
<b>Tableau II.15</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 13</b>	<b>48</b>
<b>Tableau II.16</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 14</b>	<b>51</b>
<b>Tableau II.17</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 15</b>	<b>53</b>
<b>Tableau II.18</b>	Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par <b>Config 16</b>	<b>55</b>

## Nomenclature

Symboles	Désignation	L'unité
$G$	<i>Rayonnement globale incident</i>	$[W/m^2]$
$S$	<i>Surface de la paroi absorbante</i>	$[m^2]$
$G(i, \gamma) *$	<i>Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur solaire</i>	$[W/m^2]$
$p/e$	<i>Le pas de rugosité relatif</i>	/
$e/D_H$	<i>La hauteur de rugosité relative</i>	/
$g/p$	<i>Rapport entre la position de la rainure et le pas</i>	/
$w/H$	<i>Le rapport d'aspect</i>	/
$w/w$	<i>La position relative de l'intervalle</i>	/
$B/s$	<i>La longueur de rugosité relative</i>	/
$l/s$	<i>Le paramètre de rugosité</i>	/
$e^+$	<i>Nombre de Reynolds de rugosité</i>	/
$m$	<i>Le débit massique</i>	$[kg/s]$
$Q_u$	<i>La chaleur fournie à l'air</i>	
$Q_v$	<i>Débit volumique du capteur solaire</i>	$[m^3/s]$
$A^0$	<i>Zone de la gorge de la plaque d'orifice</i>	$[m^2]$
$C_d$	<i>Coefficient de décharge pour débit mètre à orifice</i>	/
$\delta_p$	<i>Chute de pression dans la section d'essai</i>	$[Pa]$
$k$	<i>Conductivité thermique d'air</i>	$[W/m.k]$
$V$	<i>La vitesse de l'air</i>	$[m/s]$
$f = \lambda$	<i>Le coefficient de frottement</i>	/
$h_c$	<i>Coefficient d'échange par convection</i>	$[W/k.m^2]$
$D_H$	<i>Diamètre hydraulique</i>	$[m]$
$A$	<i>L'angle d'attaque</i>	Degré
$V_{exp}$	<i>La vitesse expérimentale</i>	$[m/s]$
$V_{int}$	<i>La vitesse intérieure</i>	$[m/s]$
$L_{ch}$	<i>Langueur du chicane</i>	$[m]$

$\mathcal{E}$	<i>Largueur du chicane</i>	[m]
$A_c$	<i>Surface du capteur solaire solaire</i>	[m <sup>2</sup> ]
$P_{e-r}$	<i>Le pas entre les rangées</i>	[m]
$P_s$	<i>Langueur du rangée</i>	[m]
$P_{e-ch}$	<i>Le pas entre les chicanes</i>	[m]
$I$	<i>Rayonnements solaires</i>	[W/m <sup>2</sup> ]
$\Delta T$	<i>L'écart de température entrée-sortie du fluide</i>	[K]
$\Delta p$	<i>L'écart de pression entrée-sortie du fluide</i>	[Pa]
<b><i>Les nombres adimensionnels</i></b>		
<b>Symboles</b>	<b>Désignation</b>	<b>L'unité</b>
$P_r$	<i>Nombre de Prandlt</i>	/
$N_u$	<i>Nombre de Nusselt</i>	/
$R_e$	<i>Nombre de Reynolds</i>	/
$E_c$	<i>Nombre d'Eckert</i>	/
$B_r$	<i>Nombre de Brinkman</i>	/
$C_l$	<i>Étant le nombre de Clausius</i>	/

# *Introduction Générale*

### ***Introduction Générale :***

L'énergie solaire, une ressource inépuisable et propre, joue un rôle de plus en plus crucial dans la transition vers des sources d'énergie renouvelables. Les capteurs solaires solaires, conçus pour capturer et convertir cette énergie en une forme utilisable, sont au cœur de cette révolution énergétique. Parmi les nombreuses variantes de capteurs solaires solaires, ceux équipés de chicane ont suscité un intérêt particulier en raison de leur efficacité accrue dans le transfert de chaleur. Les chicanes, des structures internes stratégiquement positionnées, perturbent le flux d'air ou de liquide à l'intérieur du capteur solaire solaire, augmentant ainsi le transfert de chaleur et améliorant les performances globales du système. Cette introduction vise à explorer l'impact des chicanes sur les capteurs solaires solaires, en mettant en lumière leurs avantages potentiels dans l'exploitation optimale de l'énergie solaire.

Notre objectif principal réside dans la réalisation d'une étude approfondie, à la fois dynamique et thermique, portant sur l'impact des chicanes au sein d'un capteur solaire solaire plan à air. Nous aspirons à établir des modèles empiriques permettant de corréler les pertes de charge, le coefficient d'échange thermique par convection et le nombre adimensionnel de Nusselt aux caractéristiques physiques du fluide et géométriques des chicanes, ainsi qu'aux diverses configurations de celles-ci dans le conduit utile d'un canal rectangulaire.

Notre thèse s'articule autour de trois chapitres essentiels, chacun contribuant à une compréhension approfondie et nuancée du sujet abordé.

Dans un premier temps, **le chapitre 1** se penche sur l'état de l'art, offrant une revue détaillée des travaux de recherche préexistants dans le domaine. Cette exploration permet de situer le contexte dans lequel s'inscrit notre étude, en mettant en lumière les avancées, les lacunes et les perspectives futures.

**Le chapitre 2** est consacré à une étude expérimentale approfondie, au cours de laquelle des tests rigoureux sont menés pour évaluer l'impact des chicanes dans un capteur solaire solaire plan à air. Cette phase de recherche expérimentale vise à collecter des données empiriques précieuses, indispensables à l'élaboration de modèles empiriques et à la validation des hypothèses avancées.



Dans **le chapitre 3**, notre attention se porte sur la formulation et la validation de modèles empiriques. À travers une analyse rigoureuse des données expérimentales recueillies, nous cherchons à établir des relations mathématiques robustes entre les variables étudiées, telles que les pertes de charge, le coefficient d'échange thermique par convection et le nombre adimensionnel de Nusselt, et les caractéristiques physiques du fluide et géométriques des chicanes.

Enfin, une discussion détaillée et une interprétation des résultats obtenus, mettant en évidence les conclusions clés tirées de notre étude. Nous examinons également les implications pratiques et théoriques de nos découvertes, ainsi que les voies possibles pour de futures recherches. Cette section se clôture par une conclusion générale, récapitulant les principaux points abordés dans le mémoire et soulignant leur importance dans le domaine étudié.

**Chapitre I :**  
***l'état de l'art***

### ***Introduction :***

Dans le but d'améliorer le transfert de chaleur vers un fluide caloporteur tel que l'air dans les conduits utiles des capteur solaires solaires à air, diverses formes de rugosités artificielles ont été envisagées comme générateurs de turbulence, notamment les nervures, les chicanes, les chicanes , et d'autres configurations considérées comme efficaces. La littérature scientifique répertorie une diversité de travaux de recherche portant sur l'utilisation de ces générateurs de turbulence pour étudier le transfert thermique, les caractéristiques de frottement et la configuration de l'écoulement dans les capteur solaires solaires à air

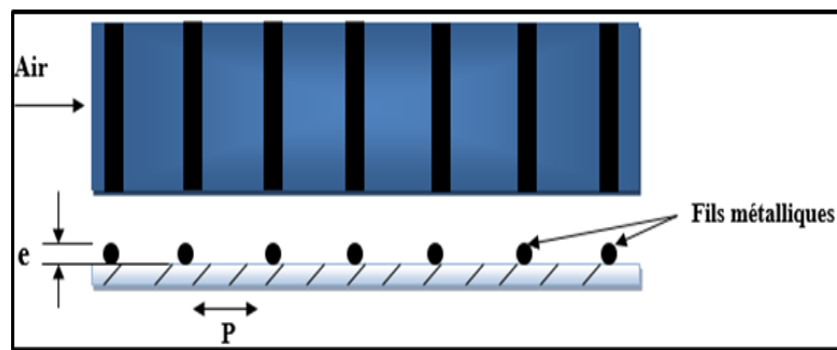
Ce chapitre met en lumière certains de ces travaux réalisés par les chercheurs, qui visent à élaborer des modèles pour le coefficient de frottement, le coefficient de transfert convectif et le nombre de Nusselt en fonction des différentes géométries de rugosité artificielle. Ces études contribuent à une meilleure compréhension des mécanismes de transfert de chaleur et de masse dans les capteur solaires solaires à air, ainsi qu'à l'optimisation de leur performance énergétique

### ***1.1. Travaux de recherche d'amélioration des performances d'un capteur solaire solaire plan en fonction des rugosités artificielles :***

**Prasad et Saini (1988)** se sont engagés dans une démarche visant à améliorer le coefficient de transfert de chaleur par convection entre une plaque absorbante et l'air au sein d'un panneau solaire à plaque plane. Leur approche consistait à doter la plaque absorbante d'une rugosité artificielle. Leur étude a porté sur un flux totalement turbulent dans un conduit de panneau solaire à air, où des fils de métal saillants de petit diamètre ont été appliqués sur la plaque absorbante.

Ils ont formulé des expressions pour prédire le nombre de Nusselt et le coefficient de frottement, puis ont comparé ces résultats aux données disponibles. Les comparaisons ont révélé des résultats similaires, avec un écart moyen de 6.3% pour le facteur de frottement et 10.7% pour le nombre de Nusselt.

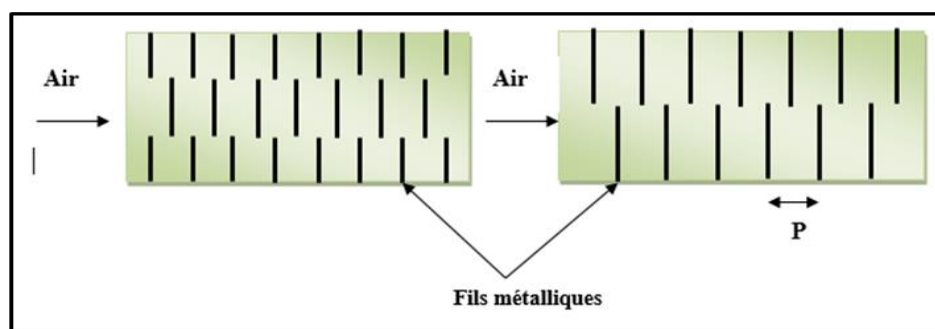
De plus, ils ont analysé l'impact de la hauteur et de l'espacement des éléments de rugosité sur le taux de transfert de chaleur et le frottement. [1]



*Figure. I-1 : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils transversaux continus [1].*

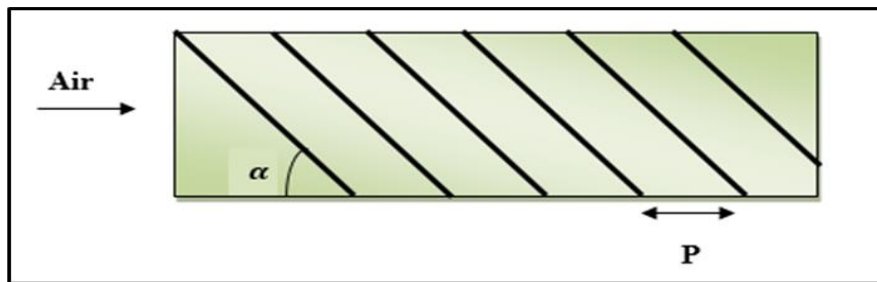
**Sahu et Bhagoria (2005) et Cavallero et al (2002)** ont étudié la performance thermique d'un capteur solaire solaire à air, en introduisant dans le canal utile 90 fils transversaux discontinus.

Les résultats expérimentaux ont montré que le coefficient de transfert thermique est passé de 1.25 à 1.4 fois par rapport à un capteur solaire solaire lisse. L'efficacité thermique peut atteindre 83.5% pour une plaque ayant un pas de rugosité de 20 mm [2 ,3].



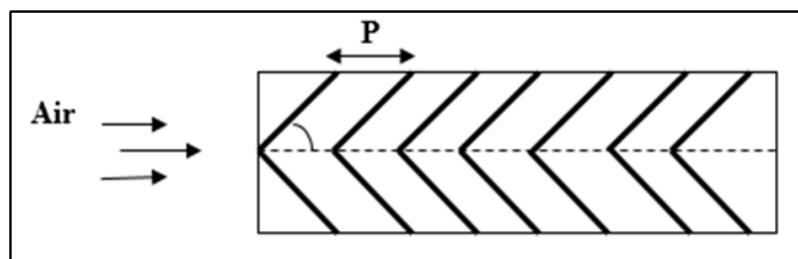
*Figure.I-2 : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques transversaux discontinus [2,3].*

**Les chercheurs Gupta et al (1997)** ont trouvé les paramètres de conception optimaux pour un capteur solaire solaire à air avec un absorbeur rugueux ; ils ont varié la hauteur relative de la rugosité ( $e/D$ ) pour un pas relatif entre rangées ( $P/e$ ) égal à 10 et un angle d'inclinaison ( $\alpha = 60^\circ$ ). La géométrie de la plaque absorbante rugueuse est représentée sur la Figure (I-3). Une amélioration du transfert de chaleur et du coefficient de frottement a été obtenue de l'ordre de 1.8 et 2.7 fois, respectivement [4].



**Figure.I-3** : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés continus [4].

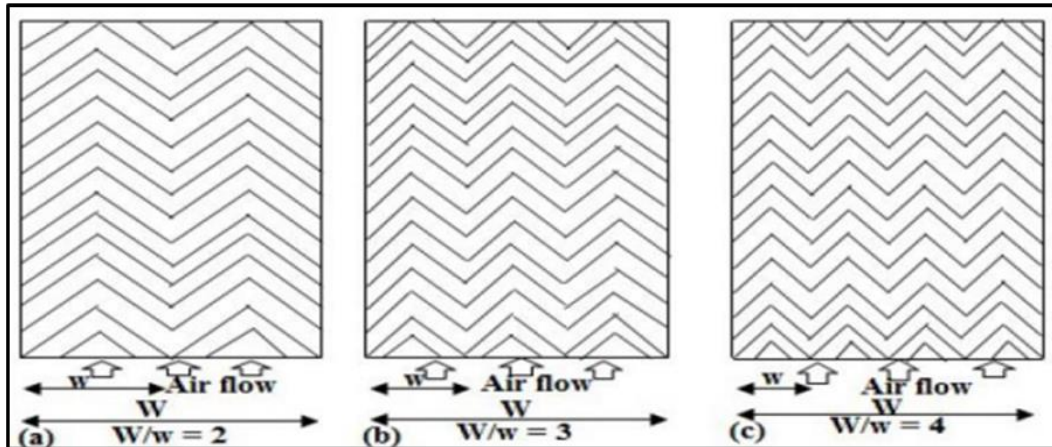
**Momin et al (2002)**, ont rapporté les résultats d'une étude expérimentale de l'effet des paramètres géométriques des nervures en forme de V sur le transfert de chaleur et les caractéristiques d'écoulement du fluide du conduit rectangulaire du capteur solaire solaire avec plaque cette étude une gamme de paramètres sur la base de considérations pratiques du système et des conditions de fonctionnement. L'étude a porté sur un nombre de Reynolds ( $Re$ ) compris entre 2500 et 18000, une hauteur de rugosité relative ( $e/D_h$ ) de 0.02 à 0.034 et un angle d'attaque de l'écoulement de  $30^\circ$  à  $90^\circ$  pour un pas relatif fixe de 10. Les résultats ont également été comparés à ceux des conduits lisses dans des conditions d'écoulement similaires afin de déterminer l'amélioration du coefficient de transfert de chaleur et du coefficient de frottement absorbante comportant des nervures en forme de V sur sa face inférieure. Ils ont choisi pour



**Figure.I-4** : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés de V continus [5].

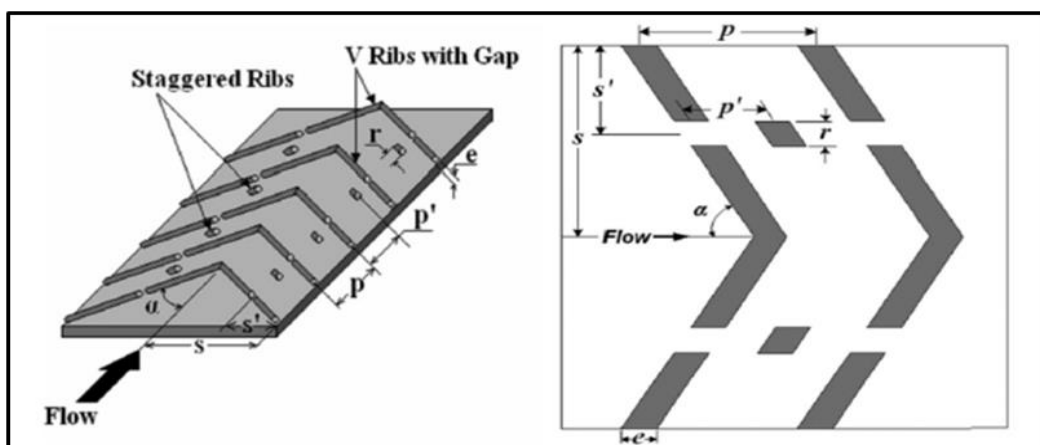
**Kumar et Prasad (2018)** ont exposé une analyse détaillée des performances liées aux paramètres géométriques, mettant en lumière une rugosité multiple en forme de V sur le côté d'écoulement d'air des plaques absorbantes. Ils ont développé une approche mathématique ainsi qu'une procédure de solution pour analyser ce type spécifique de réchauffeur d'air solaire. De plus, un code MATLAB a été conçu pour résoudre les équations mathématiques. Leur étude a

examiné l'impact de paramètres tels que le nombre de Reynolds et la hauteur de rugosité relative sur les performances thermo-hydrauliques, les comparant ainsi avec celles du réchauffeur d'air solaire à plat conventionnel. [6]



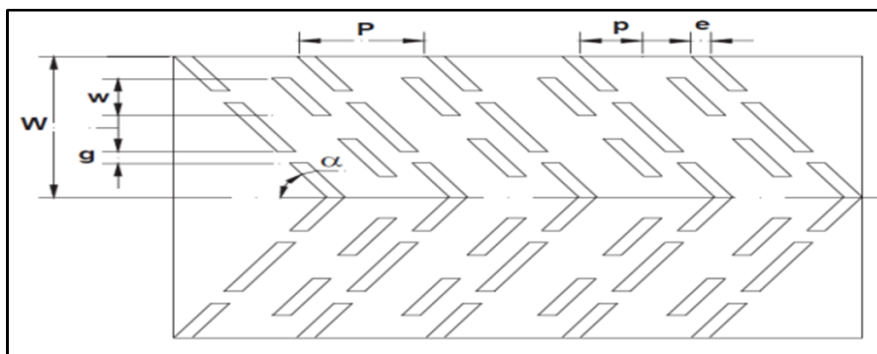
*Figure.I-5 : Rugosité multiple en forme de V [6].*

Muluwork et al. (2000), Patil et al. (2012) ont comparé la performance thermique des rugosités discontinues disposées en quinconce en amont et en aval avec des rugosités transversales discontinues en quinconce (figure I.6). Ils ont étudié l'effet du rapport relative de longueur de la rugosité ( $B/S$ ), le rapport relative du segment de la rugosité ( $S'/S$ ), le rapport relative en quinconce de la rugosité ( $p'/p$ ) et l'angle d'attaque ( $\alpha$ ) sur le transfert de chaleur et le coefficient de frottement. [7,8]



*Figure.I-6 : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques inclinés en V discontinus [7,8].*

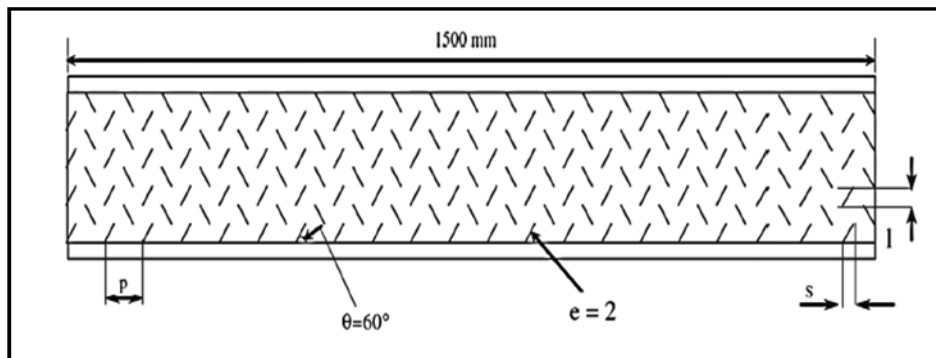
**Maithani et Saini (2015) et Deo et al. (2016)** ont entrepris une étude expérimentale visant à explorer les caractéristiques de transfert de chaleur, de frottement, et thermo-hydrauliques d'un écoulement dans un conduit rectangulaire rendu rugueux artificiellement d'un côté. Cette rugosité a été réalisée en utilisant des nervures en V à cavités multiples combinées à des nervures en quinconce. Les paramètres du système, de fonctionnement et de l'expérimentation ont été soigneusement pris en compte. Ils comprenaient le rapport de forme du conduit rectangulaire, le nombre de Reynolds basé sur le débit massique d'air à l'entrée du conduit, le pas relatif de rugosité ( $p/e$ ), la hauteur relative de rugosité ( $e/D_h$ ), l'angle d'attaque ( $\alpha$ ), la largeur relative de l'écart ( $g/e$ ), le rapport longueur/largeur des côtes décalées ( $w/e$ ), le pas relatif des côtes décalées ( $P/p$ ), ainsi que deux nombres d'écart ( $n$ ) de chaque côté de la jambe. [9,10]



**Figure.I-7** : rugosité avec des nervures en forme de V à cavités multiples combinées à des nervures en quinconce [9,10]

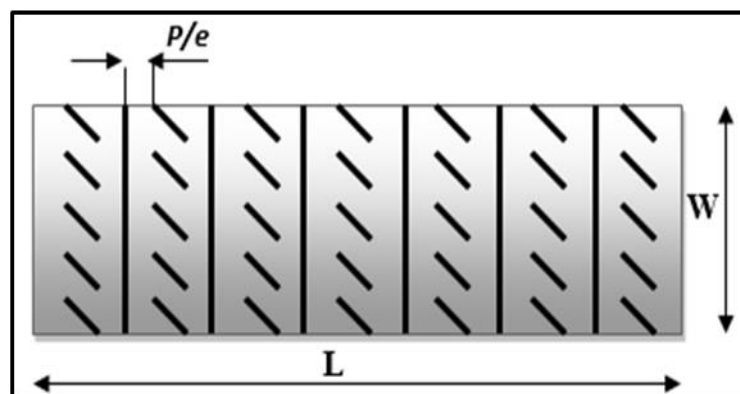
Dans leur étude, **Karmare et Tikekar (2007)** se sont penchés sur les caractéristiques du coefficient de frottement dans un conduit équipé de rugosités artificielles, notamment des petits fils de métal (voir figure I-8).

Leurs résultats ont révélé qu'un conduit présentant ces paramètres de rugosité offre une performance nettement supérieure à celle d'un conduit lisse, avec une amélioration significative, triplant même le coefficient de frottement. [11]



**Figure.I-8** : Schéma d'un canal rectangulaire muni de petit fils de métal [11].

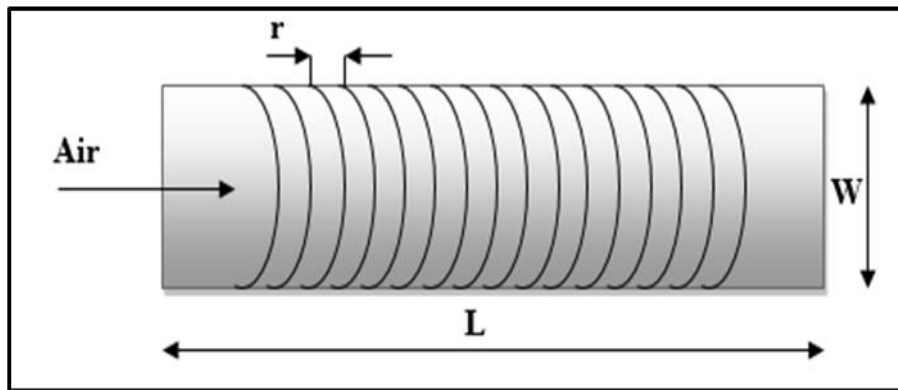
Dans leurs travaux, **Varun et ses collègues (2008)** ont exploité une combinaison de fils transversaux et de petits fils de métal (voir Figure (II.09)). Leur recherche a révélé que la plaque absorbante rugueuse présentant une hauteur de rugosité relative ( $e/D_h$ ) de 0.030, un pas de rugosité relative ( $p/e$ ) de 3 à 8, et des nombres de Reynolds variant de 20,000 à 140,000, a enregistré ses meilleures performances avec un pas de rugosité relative de 8. [12]



**Figure.I-9** : Schéma d'un canal rectangulaire muni d'une combinaison entre fils de métal transversaux et inclinés [12].

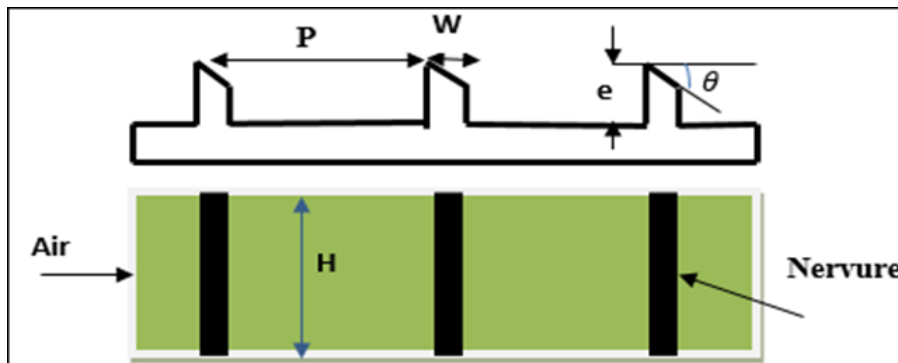
Dans une approche distincte, **Saini SK et Saini SP (2008)** ont adopté une configuration différente de fils métalliques, prenant la forme d'un arc (voir Figure. I .10). Leur étude s'est concentrée sur l'impact de cette forme particulière sur le nombre de Nusselt et le coefficient de frottement. Les résultats ont démontré une amélioration significative par rapport à un conduit lisse, avec des gains maximaux observés tant pour le nombre de Nusselt que pour le coefficient de frottement. [13,14]





*Figure.I-10 : Schéma d'un canal rectangulaire muni des fils métalliques en forme d'arc [13].*

**Karwa et al (1997) et Karwa (2003)** ont utilisé des nervures chanfreinées comme des rugosités artificielles, comme illustré dans la Figure I.11. Leur recherche a démontré que le maximum d'échange convectif est obtenu avec un angle de chanfrein de  $15^\circ$  sur la tête de la chicane. De plus, le rapport de forme ( $w/H$ ) du canal équipé de ces chicanes a été identifié comme ayant un impact significatif sur le coefficient d'échange convectif ainsi que sur le facteur de frottement. [14,15]



*Figure.I-11 : Schéma d'un canal rectangulaire muni des nervures chanfreinées [14,15].*

**Bhagoria et al (2002)** ont étudié expérimentalement le comportement de l'écoulement de l'air à l'intérieur d'un canal de section rectangulaire avec une paroi inférieure est rugueuse avec des nervures en forme de cale (dents de scie) placés transversalement voir figure (I.12) [16].

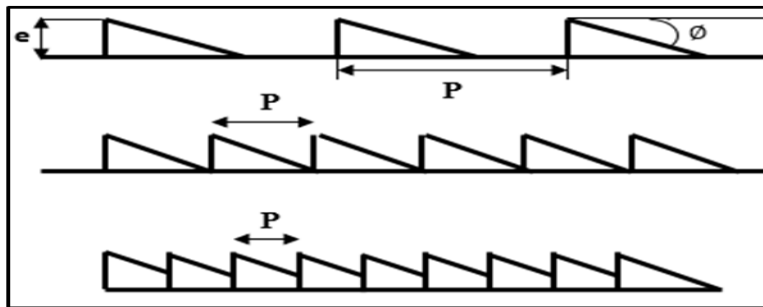


Figure.I-12 : Schéma des nervures en forme de cales (dent de scie) [16].

**Jaurker et ses collaborateurs (2006)** ont innové dans l'optimisation de l'écoulement turbulent dans un canal rectangulaire. Ils ont conçu une configuration remarquable en combinant des nervures avec des rainures transversales, comme illustré dans la figure (I-13). Leur étude a révélé des résultats frappants : le coefficient de frottement a augmenté de 3.61 fois par rapport à un conduit lisse et de 1.17 fois par rapport à un canal équipé de nervures uniquement [17]. C'est une avancée significative qui promet des applications prometteuses dans le domaine de la fluidodynamique.

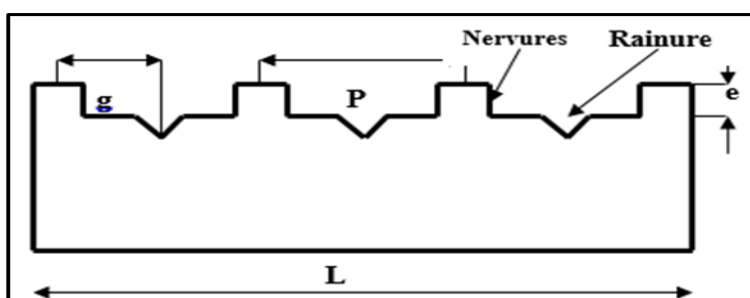


Figure.I-13 : Combinaison de nervures et rainure transversales [17].

**Saini RP et Saini JS (1997)** ont utilisé une autre technique basée sur un grillage métallique étendue en tant que rugosité artificielle (Figure 1.14). Ils ont obtenu des améliorations du coefficient de transfert de chaleur et du coefficient de frottement de l'ordre de 4 et 5 fois pour un angle d'attaque de  $61.9^\circ$  et  $72^\circ$  respectivement.[18]

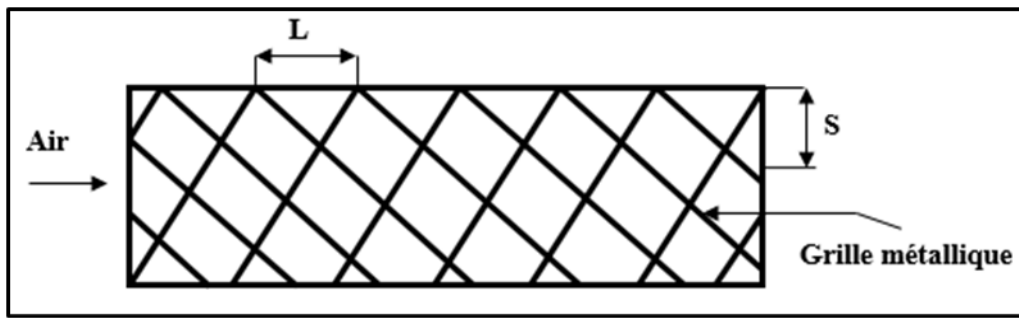


Figure.I-14 : Schéma d'un canal rectangulaire avec des grilles métalliques étendues [18].

Chouchane et al. (2012) ont établi des modèles empiriques reliant les pertes de charge aux caractéristiques géométriques des rugosités artificielles de formes diverses, dites chicanes et à différents modes de dispositions de celles-ci dans le conduit utile d'un canal rectangulaire (Figure I.15). Un dispositif expérimental a été mis au point pour mesurer les pertes de charge occasionnées par les chicanes entre l'amont et l'aval du conduit utile. Les résultats obtenus, montrent que la chute de pression entre l'amont et l'aval du conduit est plus importante en présence de la disposition en quinconce, notamment avec les fortes incidences de la partie inclinée. L'optimisation des échanges convectifs par ajout de rugosités artificielles est en dépit de la puissance mécanique pour le pompage du fluide caloporteur. [19]

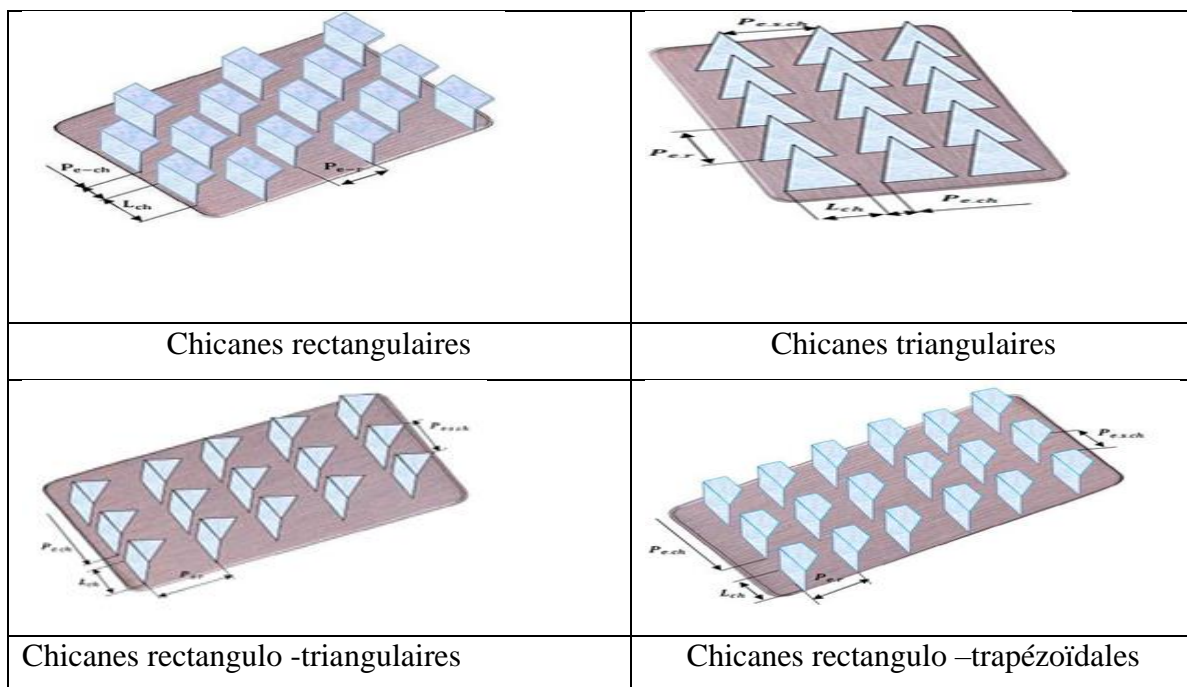


Figure.I-15 : Schémas des chicanes utilisées

**Conclusion :**

À travers cette étude bibliographique, il apparaît clairement que la rugosité artificielle continue de susciter un intérêt significatif, tant sur le plan fondamental qu'appliqué, dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique via des capteur solaires solaires à air. L'un des principaux résultats de cette revue est l'amélioration des performances thermiques des capteur solaires solaires à air, obtenue grâce à plusieurs techniques. Parmi celles-ci, le choix judicieux des formes et des paramètres de conception (géométriques, thermo-physiques et optiques) se distingue. L'écoulement de l'air montre une grande sensibilité aux modifications géométriques à l'intérieur du canal d'air du capteur solaire, telles que l'utilisation d'obstacles sous diverses formes et dispositions. Il devient donc crucial d'approfondir l'analyse numérique et théorique pour comprendre le comportement thermique et dynamique de l'écoulement d'air, en utilisant l'effet des chicanes. Cela implique d'étudier l'impact de ces modifications sur les paramètres physiques et thermiques relatifs à l'écoulement dans le canal d'air dynamique.

**Chapitre II :**  
***Etude expérimentale***

### ***Introduction :***

Aujourd'hui, avec la tendance mondiale vers l'utilisation des sources d'énergie alternatives, l'utilisation des capteur solaires solaires est devenue de plus en plus courante car le soleil est considéré comme la plus grande source d'énergie.

Dans ce chapitre nous découvrirons le capteur solaire solaire à air utilisé avec des caractéristiques industrielles représentées par les obstacles (chicanes), ainsi que les résultats expérimentaux obtenus lors de nombreuses expériences sur ce capteur solaire, représentés dans des tableaux et des courbes.

### ***II .1. Les conditions expérimentales :***

Les expériences ont été menées à l'**Université de Biskra**, située dans le sud de l'Algérie, entre mars et avril **2024**.

Le capteur solaire solaire à air a été incliné à un angle de **38°** vers le sud (*Figure II .01*), en tenant compte des conditions environnementales telles que la vitesse du vent, le débit d'air, le rayonnement solaire et les températures de l'air ambiant, d'entrée et de sortie sont tous mesurés dans le cadre de l'ensemble de la configuration expérimentale.

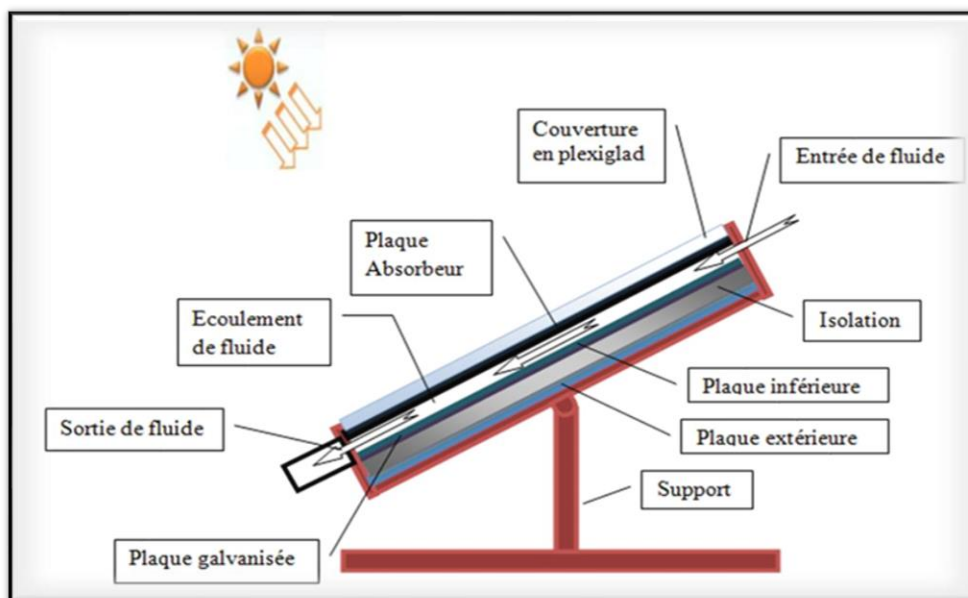
### ***II .2. Description du dispositif expérimental :***

Un capteur solaire solaire à air unidirectionnel avec une surface de **0,75 m<sup>2</sup>**, d'une longueur de **1,5 m**, d'une largeur de **0,5 m** et d'une hauteur de **2,5 cm**.



*Figure II .01 : Dispositif expérimental.*

Le schéma ci-dessous illustre les composants du capteur solaire solaire à air utilisé :



*Figure II .02 : Schéma du capteur solaire solaire et géométrie de passage (cas sans chicanes)*



Les appareils de mesure liés au collecteur solaire sont :

1. **Aspirateur** : pour le pompage de l'air.
2. **Variateur de vitesse** : pour varier la vitesse d'écoulement de l'air
3. **Manomètre de pression** : pour les mesures de la pression
4. **Thermomètre**: pour les mesures de la température à l'entrée et la sortie du capteur solaire solaire à air
5. **Anémomètre à hélice**: pour les mesures de vitesse extérieure
6. **Pyranomètre**: pour mesurer le rayonnement solaire



*Figure II .03. Aspirateur*



*Figure II .04. Variateur de vitesse*



*Figure II .05. Manomètre de pression*



*Figure II .06. Anémomètre à hélice*



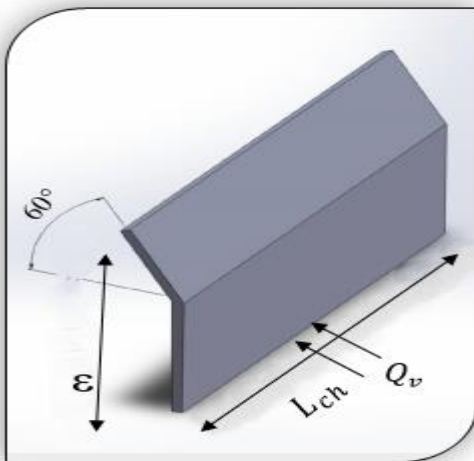


*Figure II .07. Pyranomètre*

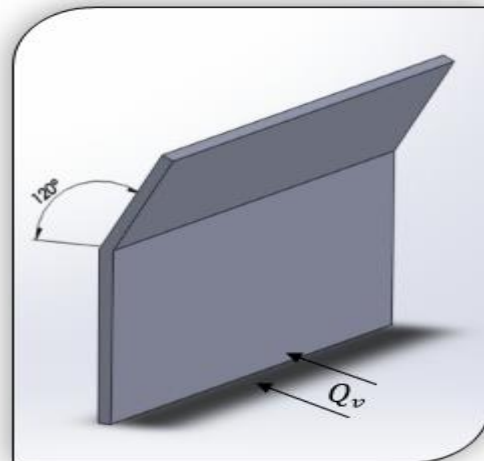


*Figure II .08. Thermomètre*

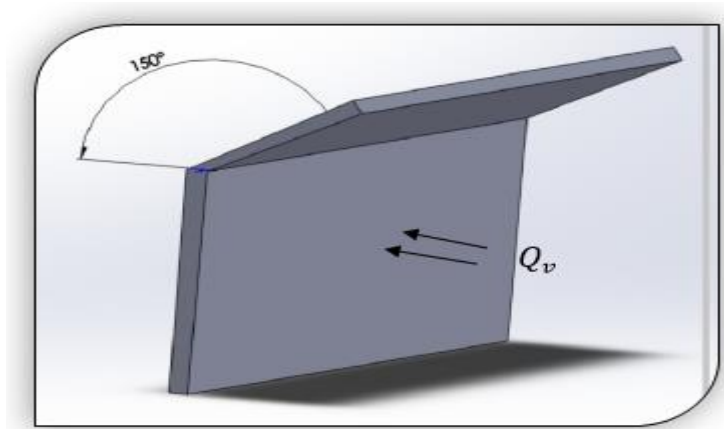
Les chicanes utilisées sont en aluminium, Les Figures suivantes (**Figure II .09** **Figure II .10** et **Figure II .11**) montrent la forme des chicanes, et (**Figure II .12** **Figure II .13** **Figure II .13**) illustrent leur disposition dans le capteur solaire solaire.



*Figure II .09. Chicane ( $\alpha^\circ=60^\circ$ ).*



*Figure II .10. Chicane ( $\alpha^\circ=120^\circ$ ).*



*Figure II .11. Chicane ( $\alpha^{\bullet}=150^{\circ}$ ).*



*Figure II .12. Chicane sous forme V*



*Figure II .13. Chicane sous forme A*



*Figure II .14. Chicane sous forme A*

L'objectif de cette étude est de mesurer les pertes thermiques ainsi que les différences de pression, cela en variant les agencements et les configurations des chicanes utilisés.

## II .2. Types de configurations de chicanes étudiées

<i>Paramètres géométriques</i>							
Configuration	$L_{ch}$ [m]	$\varepsilon$ [m]	$P_{e-ch}$ [m]	$P_{e-r}$ [m]	$P_s$ [m]	Forme	$\alpha^\circ$
<b>Lisse</b>							
<b>Config 01</b>	0.045	0.0236	0.041	0.3	0.26	<b>V</b>	120°
<b>Config02</b>	0.04	0.0236	0.02	0.2	0.32	<b><math>\Lambda</math></b>	60°
<b>Config 03</b>	0.04	0.0236	0.02	0.02	0.32	<b>V</b>	120°
<b>Config 04</b>	0.04	0.0236	0.041	0.1	0.27	<b>V</b>	120°
<b>Config 05</b>	0.04	0.0236	0.018	0.15	0.29	<b>V, <math>\Lambda</math></b>	60°,120°
<b>Config 06</b>	0.045	0.0236	0.016	0.15	0.26	<b><math>\Lambda</math></b>	60°
<b>Config 07</b>	0.045	0.0236	0.016	0.15	0.26	<b>V</b>	120°
<b>Config 08</b>	0.025	0.0236	0.027	0.075	0.26	<b><math>\Lambda</math></b>	60°
<b>Config 09</b>	0.045	0.0236	0.016	0.075	0.26	<b><math>\Lambda</math></b>	60°
<b>Config 10</b>	0.045	0.0236	0.016	0.075	0.26	<b>V</b>	120°
<b>Config 11</b>	0.045	0.0236	0.016	0.05	0.26	<b><math>\Lambda</math></b>	60°
<b>Config 12</b>	0.045	0.0236	0.016	0.05	0.26	<b>V</b>	120°
<b>Config 13</b>	0.03	0.0236	0.02	0.03	0.25	<b>V</b>	120°
<b>Config 14</b>	0.025	0.0236	0.027	0.02	0.26	<b>V</b>	120°
<b>Config 15</b>	0.045	0.02	0.016	0.02	0.26	<b>V</b>	150°
<b>Config 16</b>	0.045	0.0236	0.016	0.02	0.26	<b>V</b>	120°

Tableau. II.01 : Configuration des chicanes en forme V et  $\Lambda$

### II .3. Tableaux des mesures

- Cas sans chicanes (lisse) :

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
11 :20	573	32.2	35.4	3.2	0	0	0	0
11 :40	969	31.9	34.9	3.0	0.01094414	1	4.61	2.733302
12 :00	986	31.54	34.5	3.0	0.02074876	3	8.74	5.182008
12 :20	1026	31.2	34.3	3.1	0.0295563	5	12.45	7.381693
12 :40	1005	31	34.1	3.1	0.0371531	8	15.65	9.278996
13 :00	1052	30.8	34.0	3.2	0.04484486	12	18.89	11.20001
13 :20	1060	30.7	34.0	3.3	0.05172946	16	21.79	12.91945
13 :40	1066	30.7	34.0	3.3	0.05849536	21	24.64	14.60923
14 :00	1034	30.7	33.9	3.2	0.06412174	26	27.01	16.01442
14 :20	992	30.7	33.8	3.1	0.06924958	32	29.17	17.2951
14 :40	973	30.4	33.5	3.1	0.0740688	39	31.2	18.4987

*Tableau. II.02 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal sans Chicanes (Cas lisse).*

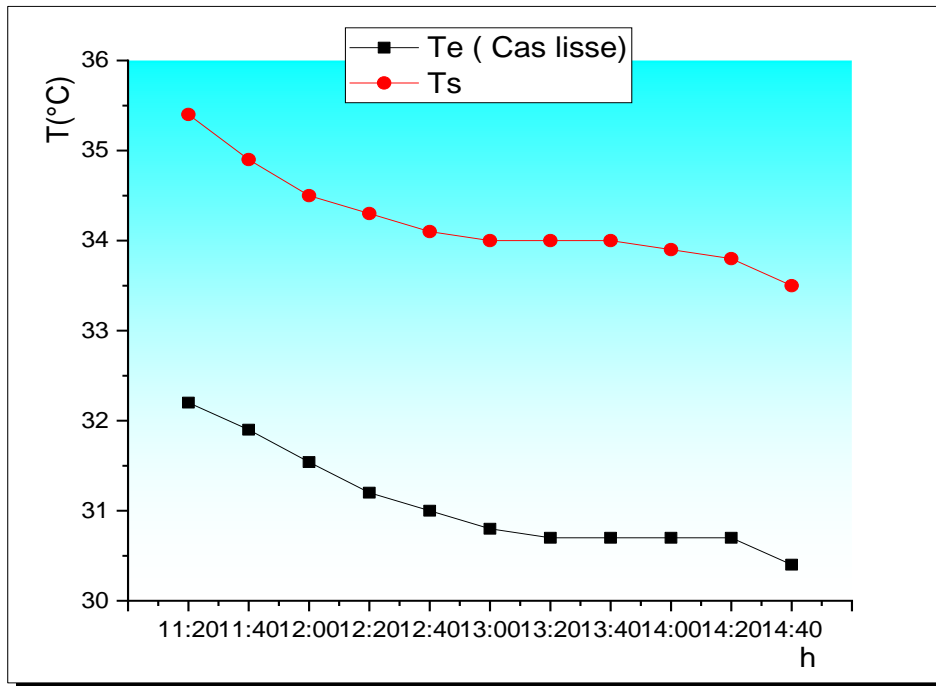


Figure.II.15 : Evolution des températures en fonction du temps.

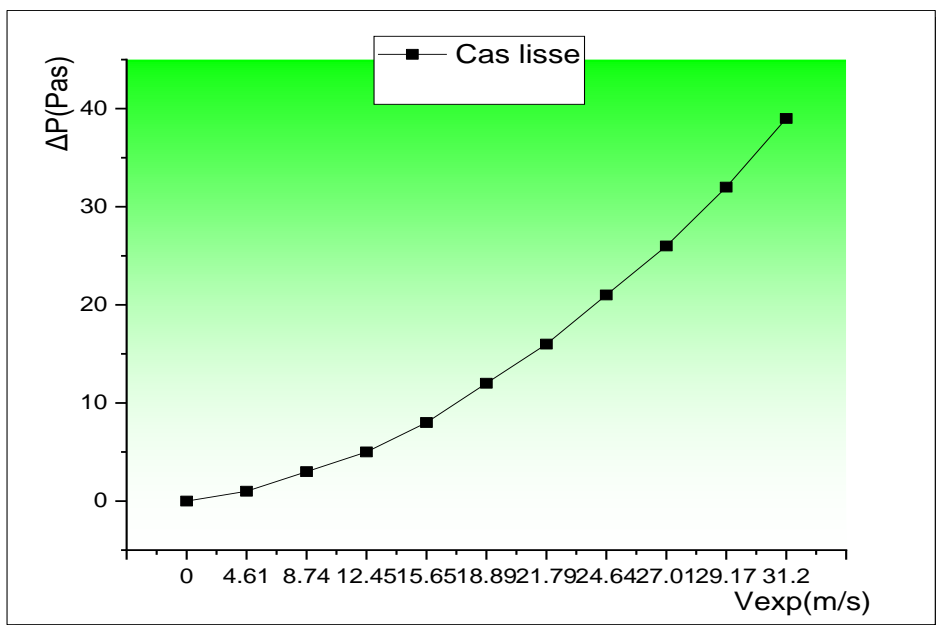


Figure.II.16 : Evolution des pressions en fonction des vitesses.

- Cas avec chicanes :

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	795	27.6	31.2	3.6	0	0	0	0
8 :20	1059	27.9	31.5	3.6	0.01084918	1	4.57	2.709585
8 :40	1052	28.1	32.0	3.9	0.02015526	3	8.49	5.033781
9 :00	1033	28.4	32.4	4.0	0.02725352	6	11.48	6.806573
9 :20	1026	28.8	32.9	4.1	0.03352088	9	14.12	8.371848
9 :40	1057	29.1	33.3	4.2	0.03867246	13	16.29	9.658457
10 :00	1038	29.6	33.8	4.2	0.04505852	19	18.98	11.25338
10 :20	1085	30.2	34.4	4.2	0.04990148	24	21.02	12.46291
10 :40	1175	30.9	35.2	4.3	0.0550768	31	23.2	13.75544
11 :00	1220	31.6	36.2	4.6	0.0599435	39	25.25	14.9709
11 :20	1199	32.7	37.5	4.8	0.06438288	48	27.12	16.07964

*Tableau. II.03 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 01 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 30 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^\circ = 120^\circ$ )*

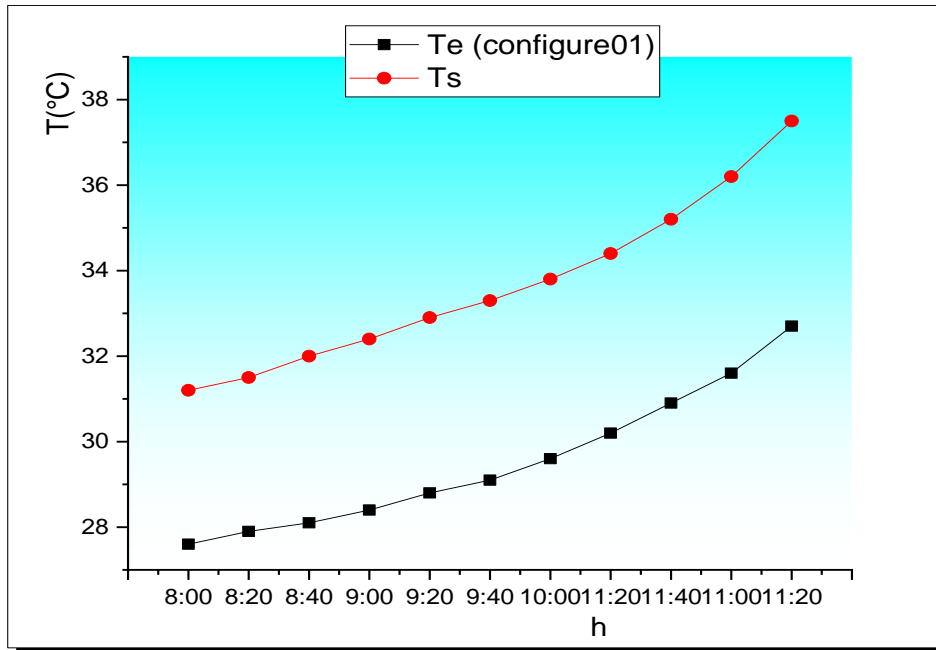


Figure.II.17 : Evolution des températures en fonction du temps

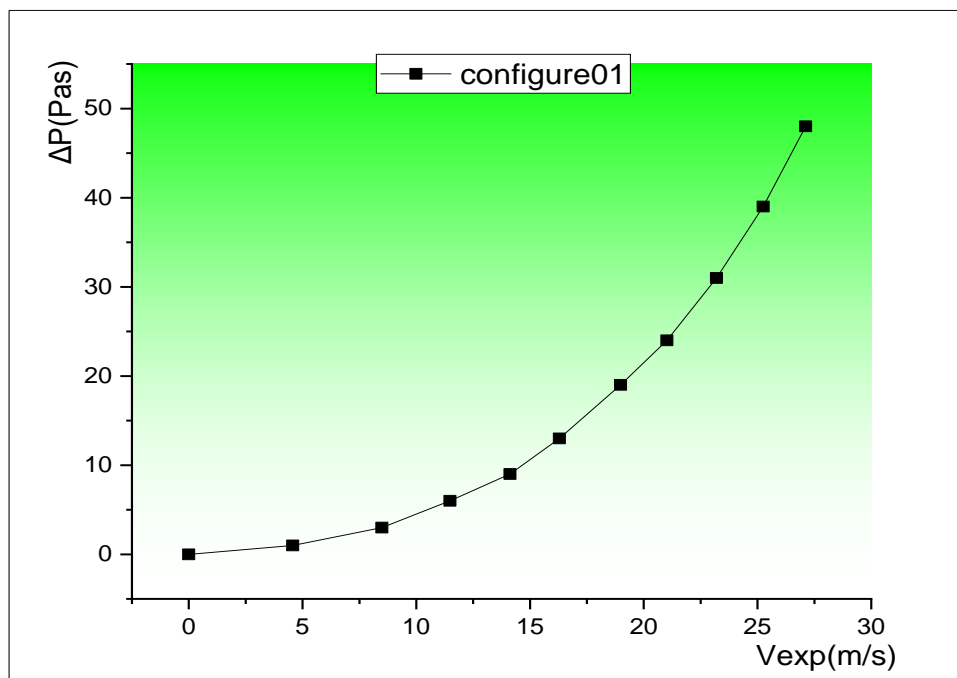


Figure.II.18 : Evolution des pressions en fonction des vitesses.

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	741	27.9	31.7	3.8	0	0	0	0
8 :20	784	28	32	4	0.00923486	1	3.89	3.017928
8 :40	874	28.2	32.3	4.1	0.0179237	3	7.55	5.857418
9 :00	934	28.4	32.7	4.3	0.02511692	6	10.58	8.208144
9 :20	982	28.7	33.1	4.4	0.03119436	10	13.14	10.19424
9 :40	1012	29	33.4	4.4	0.0371531	15	15.65	12.14154
10 :00	1031	29.3	33.8	4.5	0.04301688	21	18.12	14.0578
11 :20	1031	29.6	34.1	4.5	0.04828716	29	20.34	15.78012
11 :40	1060	29.9	34.4	4.5	0.05272654	37	22.21	17.2309
11 :00	1065	30.1	34.6	4.5	0.0570947	46	24.05	18.6584
11 :20	1041	30.4	34.9	4.5	0.06084562	57	25.63	19.88419

*Tableau. II.04 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 02 : ( $L_{ch} = 4 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 2 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 20 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 32 \text{ cm}$ , **Forme  $\Lambda$** ,  $\alpha^\circ = 60^\circ$ )*



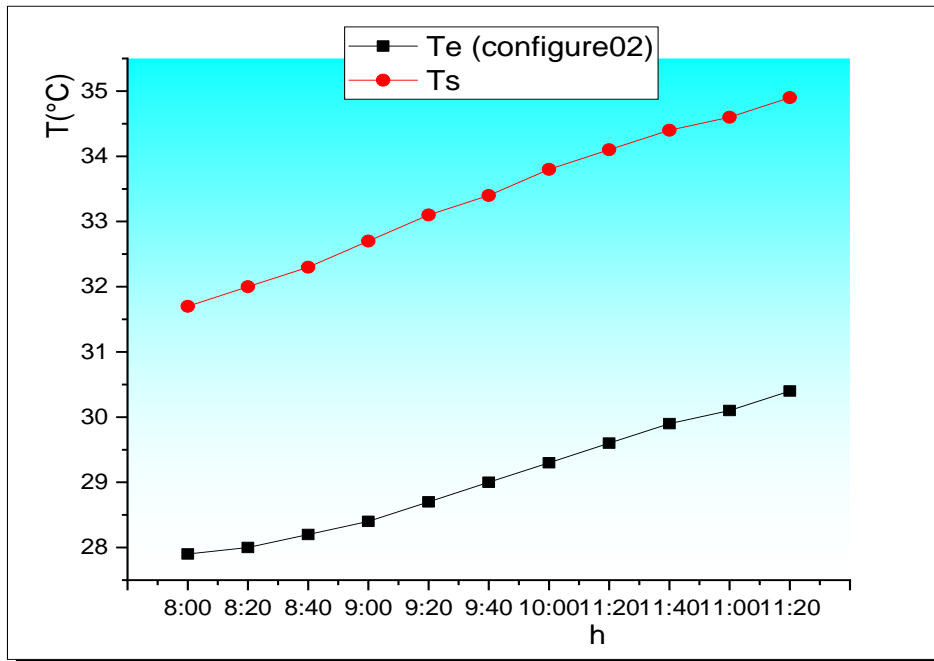


Figure.II.19 : Evolution des températures en fonction du temps

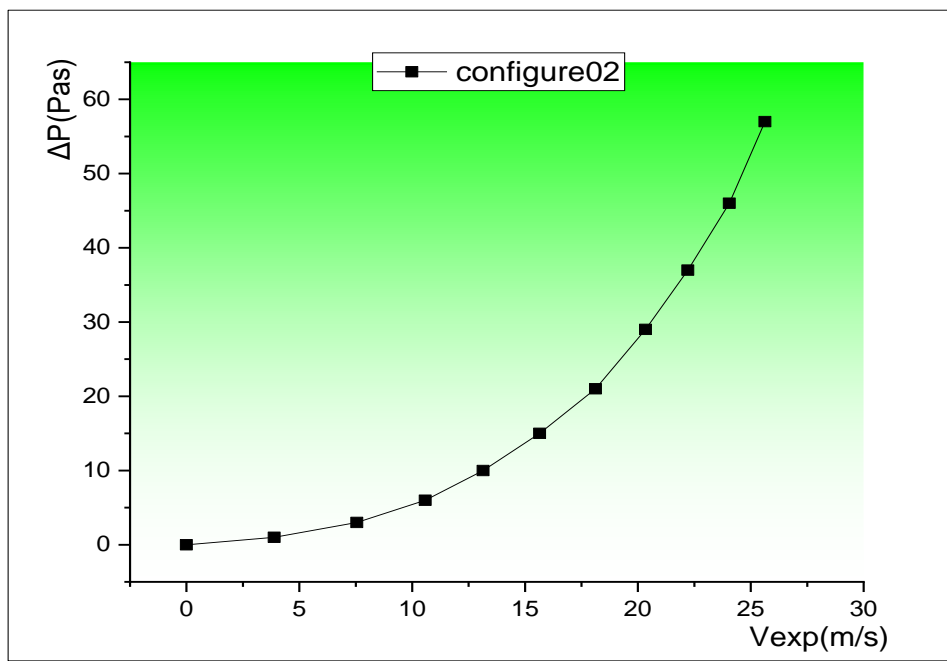


Figure.II.20 : Evolution des pressions en fonction des vitesses.

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	617	28.3	31.7	3.4	0	0	0	0
8 :20	691	28.4	32	3.6	0.01196496	2	5.04	3.910118
8 :40	733	28.5	32.4	3.9	0.01752012	3	7.38	5.725529
9 :00	832	28.6	32.8	4.2	0.02490326	7	10.49	8.13832
9 :20	880	28.8	33.2	4.4	0.03067208	11	12.92	10.02356
9 :40	895	29	33.5	4.5	0.03674952	18	15.48	12.00965
10 :00	948	29.2	33.9	4.7	0.04140256	24	17.44	13.53025
10 :20	967	29.5	34.2	4.7	0.04615056	31	19.44	15.08188
10 :40	1002	29.7	34.5	4.8	0.051041	40	21.5	16.68007
11 :00	1036	30	34.8	4.8	0.05607388	52	23.62	18.3248
11 :20	1042	30.2	35.1	4.9	0.05901764	62	24.86	19.28681

*Tableau. II. 5 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 03 : ( $L_{ch} = 4 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 2 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 20 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 32 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha = 120^\circ$ )*

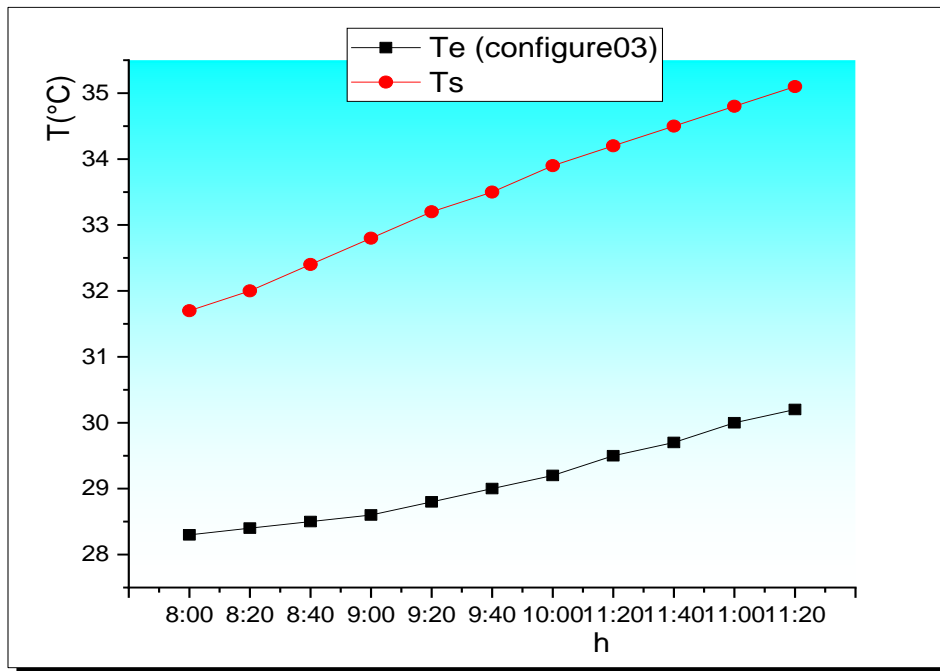


Figure.II.21 : Evolution des températures en fonction du temps

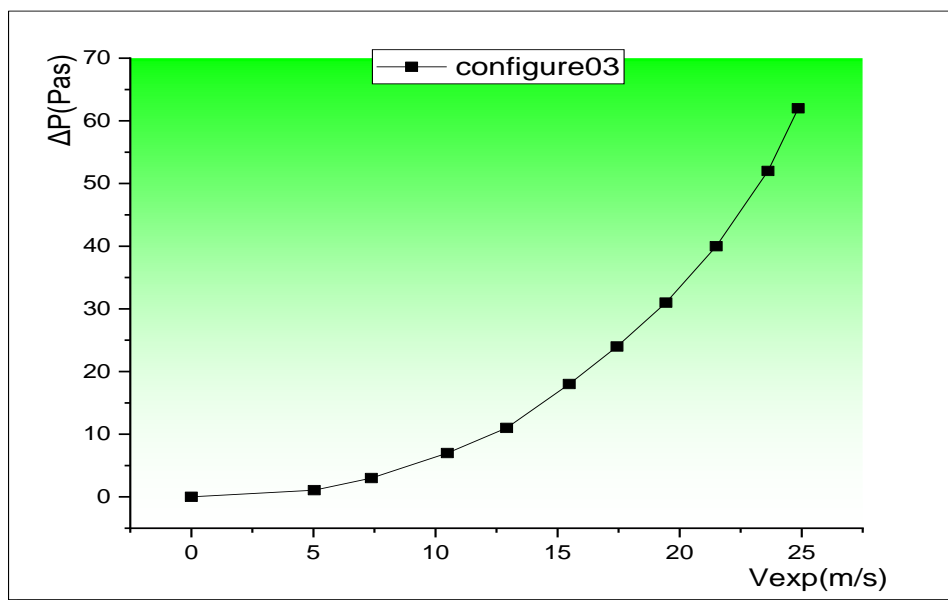


Figure.II.22 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	698	26	30.1	4.1	0	0	0	0
8 :20	695	26.2	30.7	4.5	0.01084918	2	4.57	3.54548366
8 :40	778	26.5	31.2	4.7	0.01692662	4	7.13	5.531575163
9 :00	830	26.8	31.7	4.9	0.0242148	8	10.2	7.913333333
9 :20	897	27	32.4	5.4	0.0299124	13	12.6	9.775294118
9 :40	951	27.3	32.8	5.5	0.03506398	19	14.77	11.45881699
10 :00	1021	27.5	33.4	5.9	0.03983572	26	16.78	13.01820915
10 :20	1074	28	34.1	6.1	0.0440377	33	18.55	14.39140523
10 :40	1154	28.4	34.7	6.3	0.0492605	43	20.75	16.09820261
11 :00	1209	28.7	35.4	6.7	0.05336752	54	22.48	17.44036601
11 :20	1240	29.1	36	6.9	0.05654868	66	23.82	18.47996078

*Tableau. II. 6 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 04 : ( $L_{ch} = 4 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 10 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 27 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha = 120^\circ$ )*

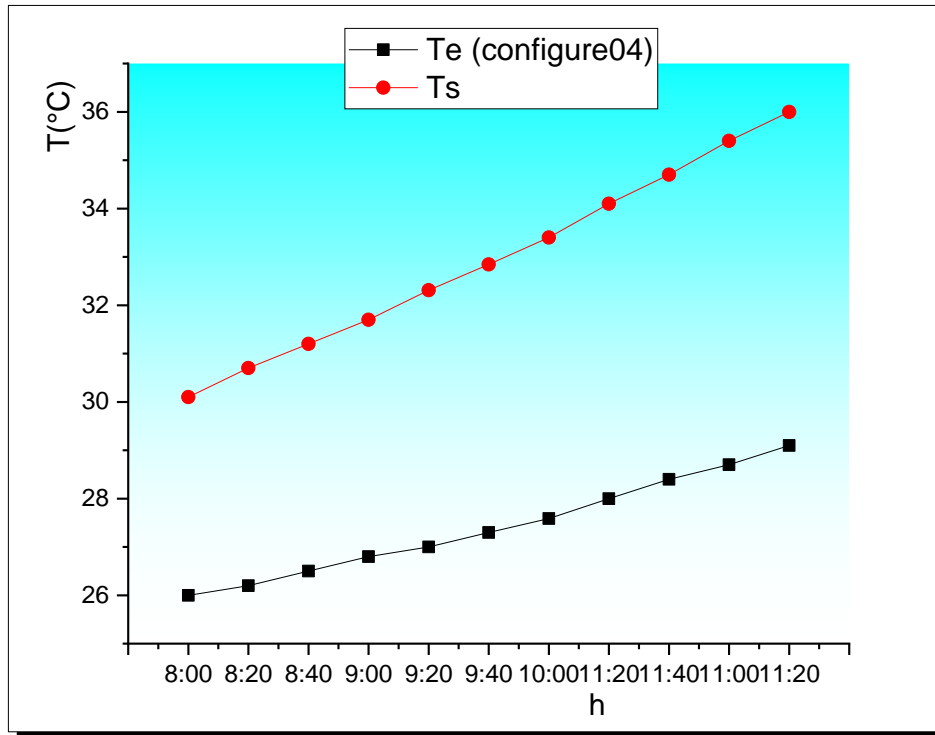


Figure.II.23 : Evolution des pressions en fonction de vitesses

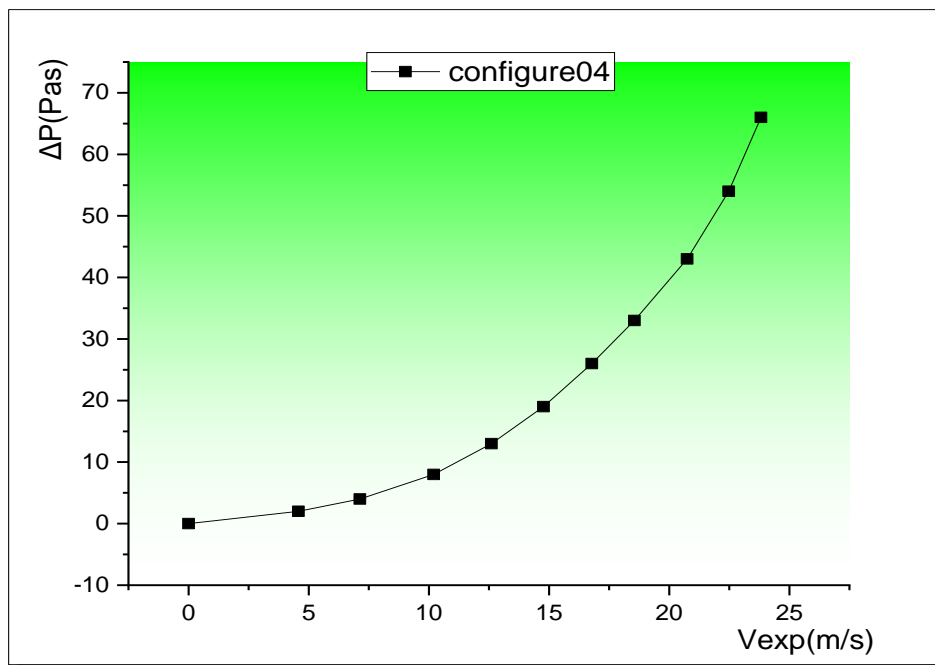


Figure.II.24 : Evolution des pressions en fonction de vitesses

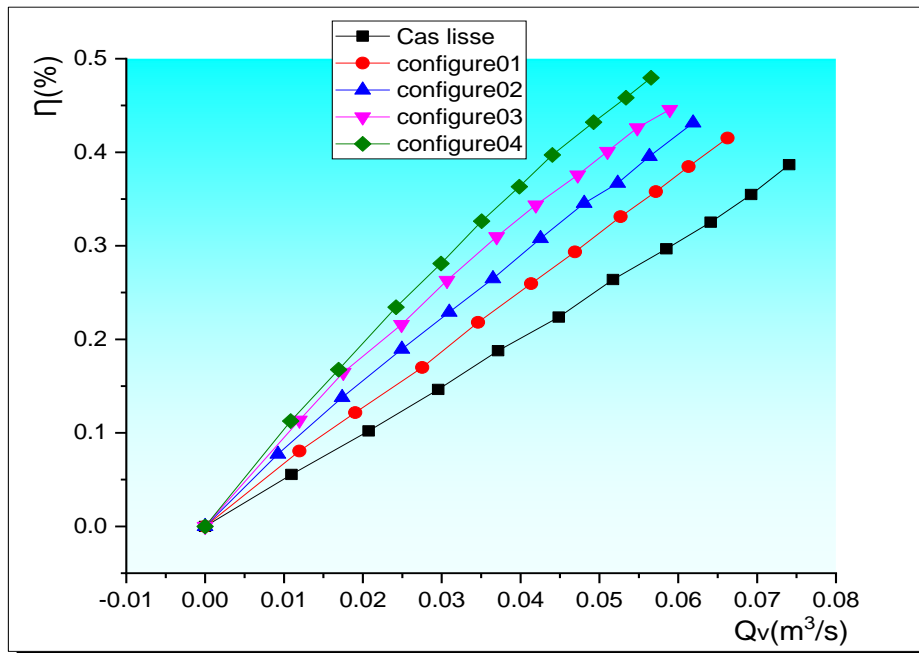


Figure.II.25 : Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse

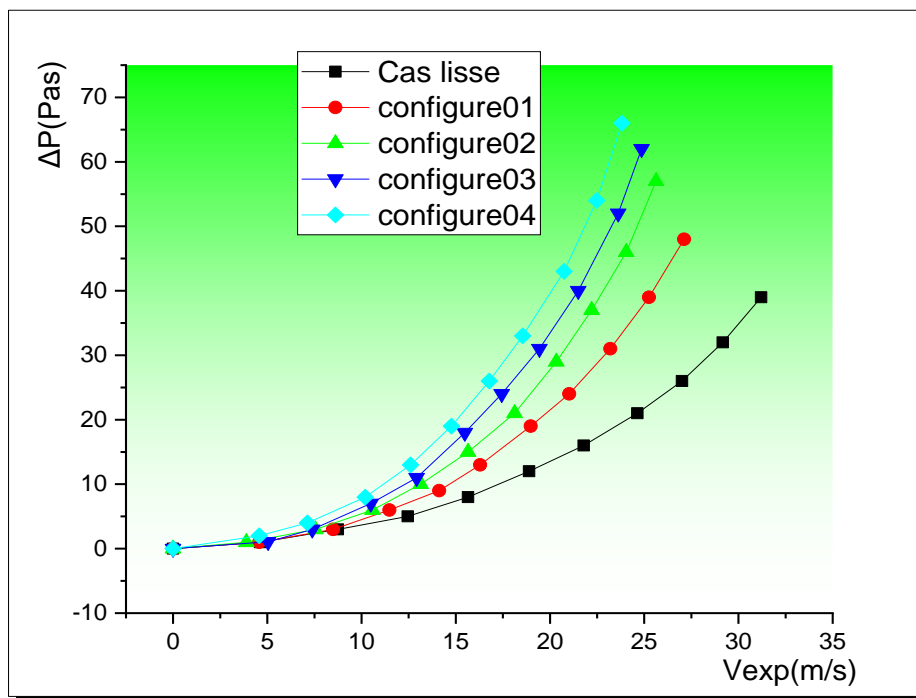


Figure.II.26 : Evolution des pressions en fonction des vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	660	25	29	4	0	0	0	0
8 :20	597	26.2	30.5	4.3	0.00826152	2	3.48	2.699843
8 :40	663	26.7	31.3	4.6	0.01502742	4	6.33	4.910922
9 :00	774	27	31.9	4.9	0.021366	7	9	6.982353
9 :20	816	27.2	32.2	5	0.02760962	14	11.63	9.022752
9 :40	920	27.4	33	5.6	0.03318852	22	13.98	10.84592
10 :00	1026	27.8	34	6.2	0.03755668	30	15.82	12.27342
10 :20	1102	28.5	35.1	6.6	0.04173492	39	17.58	13.63886
10 :40	1171	29.3	36.3	7	0.04584194	50	19.31	14.98103
11 :00	1204	29.5	36.6	7.1	0.0496166	60	20.9	16.21458
11 :20	1224	28.3	35.5	7.2	0.05301142	72	22.33	17.32399

*Tableau. II. 7 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 05 : ( $L_{ch} = 4 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 15 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 29 \text{ cm}$ , **Forme (V,  $\Lambda$ )**,  $\alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ$ )*

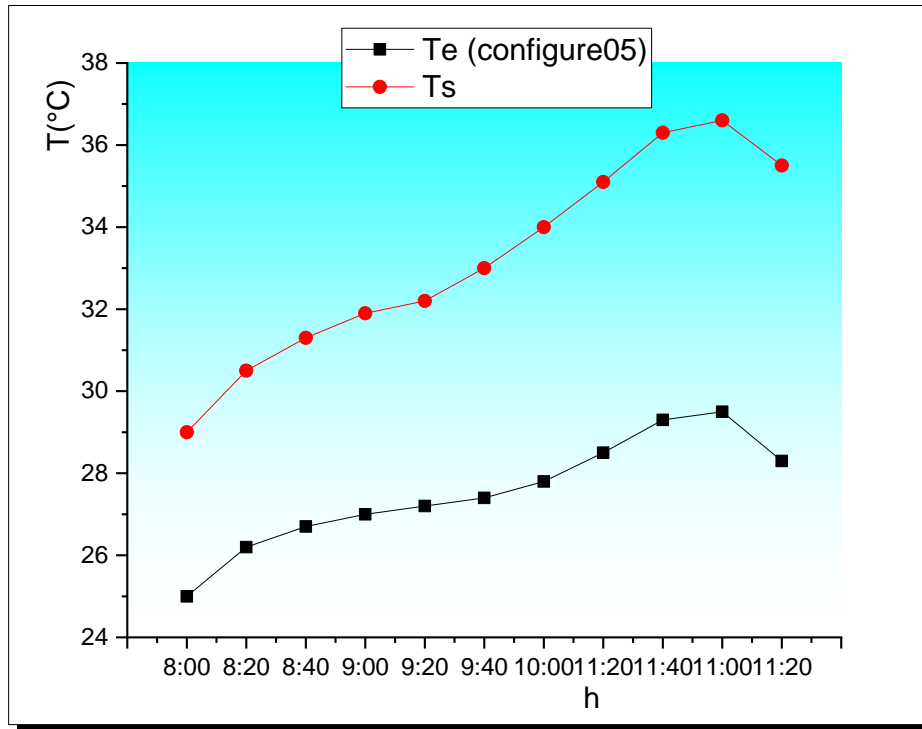


Figure.II.27 : Evolution des températures en fonction du temps

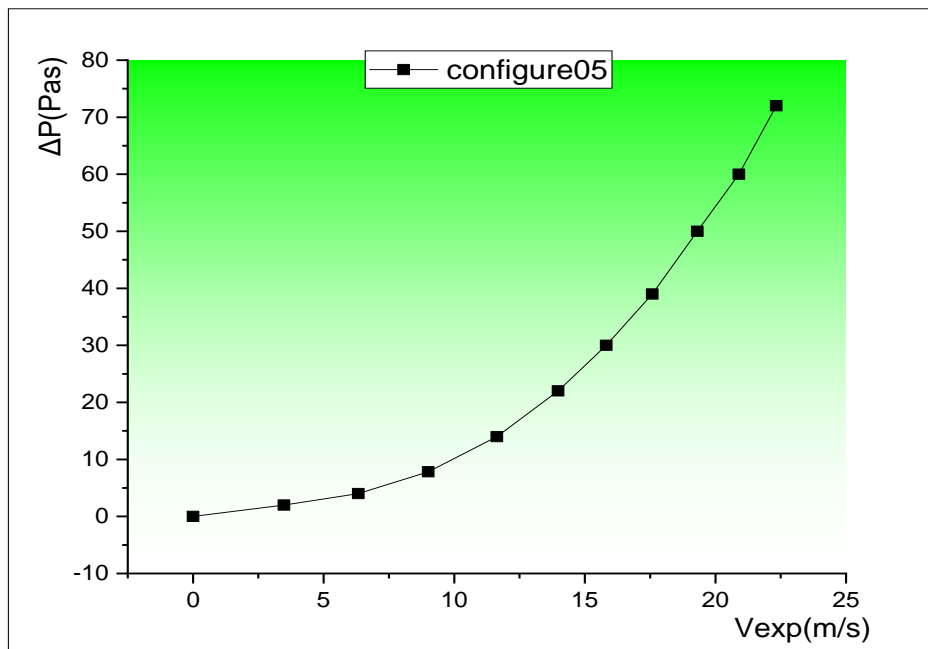


Figure.II.28 : Evolution des pressions en fonction des vitesses



$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	533	29.8	35.6	5.8	0	0	0	0
8 :20	630	30.1	35.8	5.7	0.01170382	3	4.93	2.923032
8 :40	791	30.3	36.1	5.8	0.01953802	9	8.23	4.879625
9 :00	798	30.6	36.3	5.7	0.0269449	17	11.35	6.729496
9 :20	794	30.9	36.5	5.6	0.03226266	25	13.59	8.057607
9 :40	812	31.2	36.7	5.5	0.0365596	34	15.4	9.130769
10 :00	817	31.5	37.0	5.5	0.04019182	43	16.93	10.03792
10 :20	825	31.8	37.2	5.4	0.04448876	54	18.74	11.11108
10 :40	823	32	37.4	5.4	0.04757496	64	20.04	11.88186
11 :00	807	32.3	37.6	5.3	0.04990148	72	21.02	12.46291
11 :20	804	32.4	37.7	5.3	0.05149206	78	21.69	12.86015

*Tableau. II. 8 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 06 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 15 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , Forme  $\Lambda$ ,  $\alpha = 60^\circ$ )*

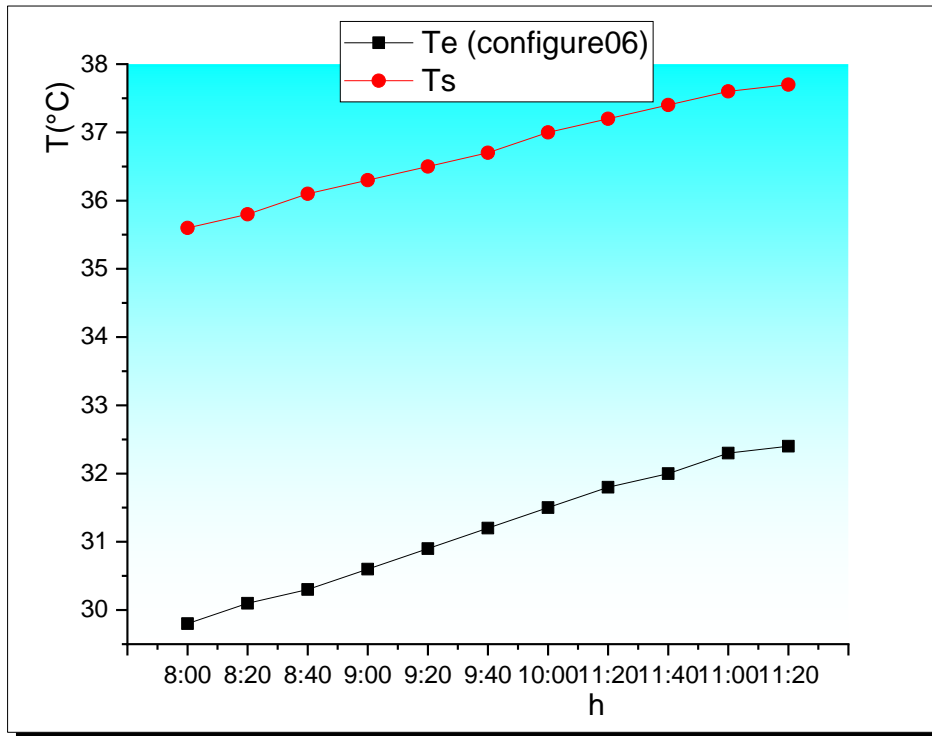


Figure.II.29 : Evolution des températures en fonction du temps

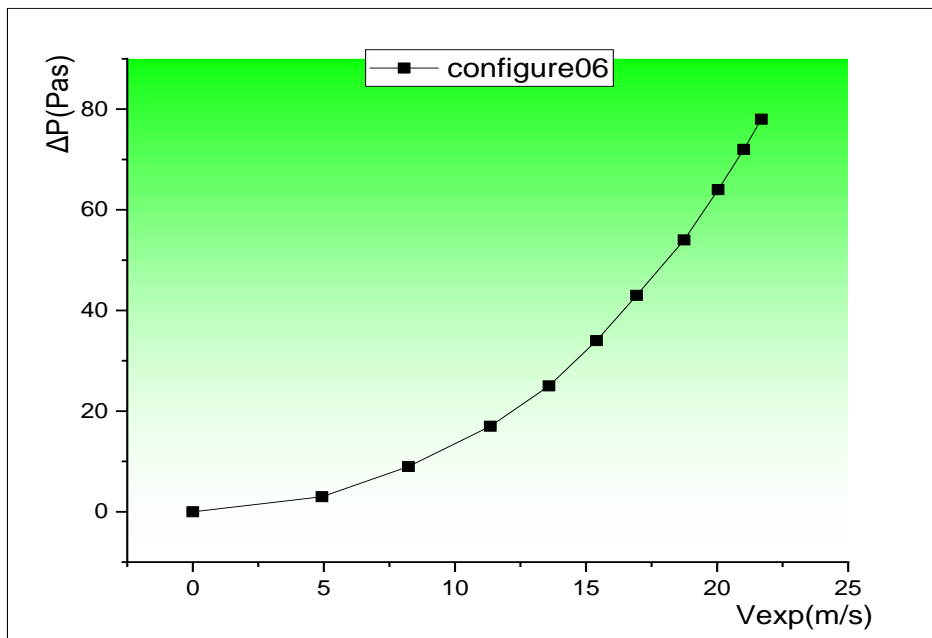


Figure.II.30 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [w/m <sup>2</sup> ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [m/s]	$V_{int}$ [m/s]
8 :00	513	24.2	27.6	3.4	0	0	0	0
8 :20	455	24.7	28.7	4.0	0.0087838	2	3.7	2.193756
8 :40	537	25.2	29.7	4.5	0.01535978	6	6.47	3.836109
9 :00	630	25.6	30.6	5.0	0.02238682	13	9.43	5.591114
9 :20	688	26	31.4	5.4	0.0275384	21	11.6	6.877722
9 :40	771	26.4	32.2	5.8	0.03266624	30	13.76	8.158402
10 :00	831	26.9	33.0	6.1	0.03720058	41	15.67	9.290854
10 :20	899	27.4	33.9	6.5	0.0416637	52	17.55	10.40552
10 :40	970	28	34.9	6.9	0.04524844	63	19.06	11.30081
11 :00	1037	28.5	35.9	7.4	0.04757496	71	20.04	11.88186
11 :20	1098	29	36.7	7.7	0.05047124	83	21.26	12.6052

*Tableau. II. 9 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 07 : (  $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 15 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^\circ = 120^\circ$ )*

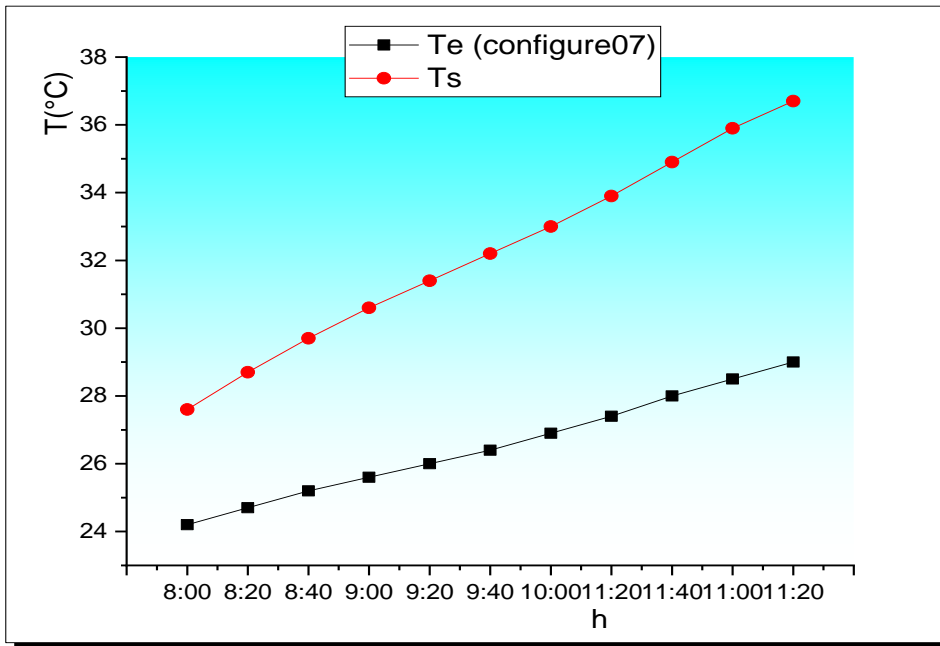


Figure.II.31 : Evolution des températures en fonction du temps

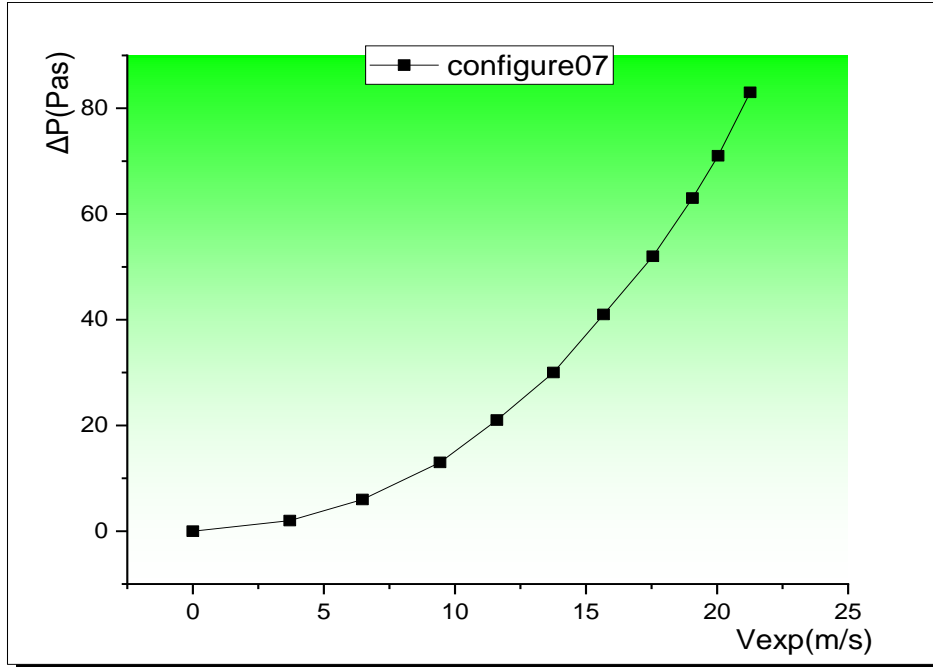


Figure.II.32 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	676	35	42.1	7.1	0	0	0	0
8 :20	653	35.1	42.3	7.2	0.00731192	2	3.08	1.107867
8 :40	802	35.3	42.6	7.3	0.0136505	6	5.75	2.068258
9 :00	897	35.6	43.1	7.5	0.01932436	13	8.14	2.927933
9 :20	937	35.8	43.5	7.7	0.02616148	22	11.02	3.963861
9 :40	1032	36	44	8	0.03223892	34	13.58	4.884685
10 :00	1017	36.2	44.2	8	0.03677326	45	15.49	5.571706
10 :20	1011	36.5	44.6	8.1	0.0407141	55	17.15	6.168803
10 :40	1013	36.7	45.1	8.4	0.04330176	64	18.24	6.560873
11 :00	1036	37	45.5	8.5	0.04645918	75	19.57	7.03927
11 :20	1028	37.4	45.9	8.5	0.04911806	85	20.69	7.44213

*Tableau. II. 10 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 08 : ( $L_{ch} = 2.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme  $\Lambda$** ,  $\alpha^\circ = 60^\circ$ )*

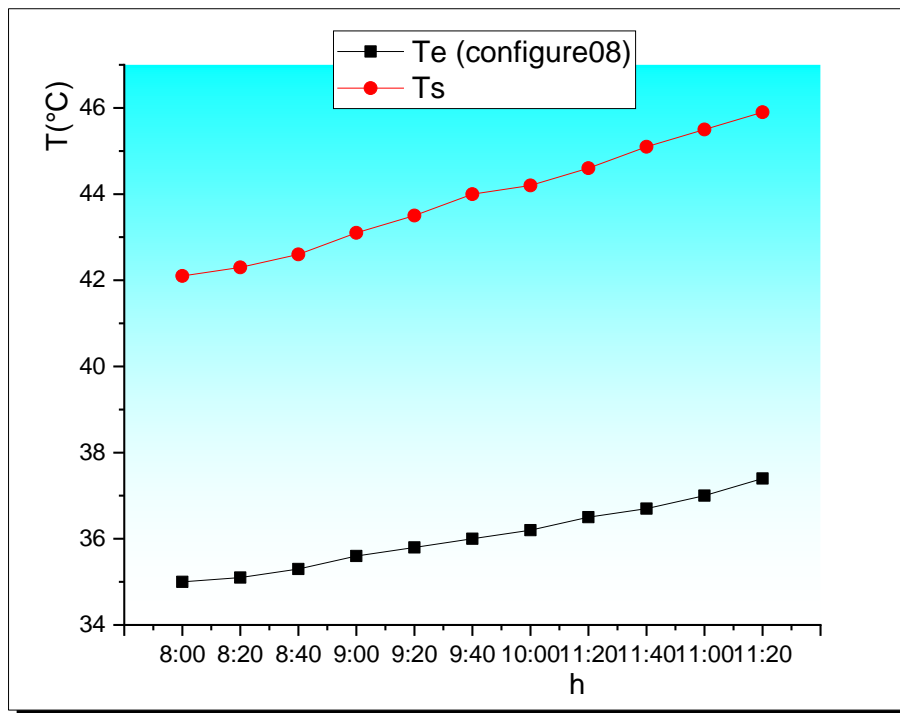


Figure.II.33 : Evolution des températures en fonction du temps

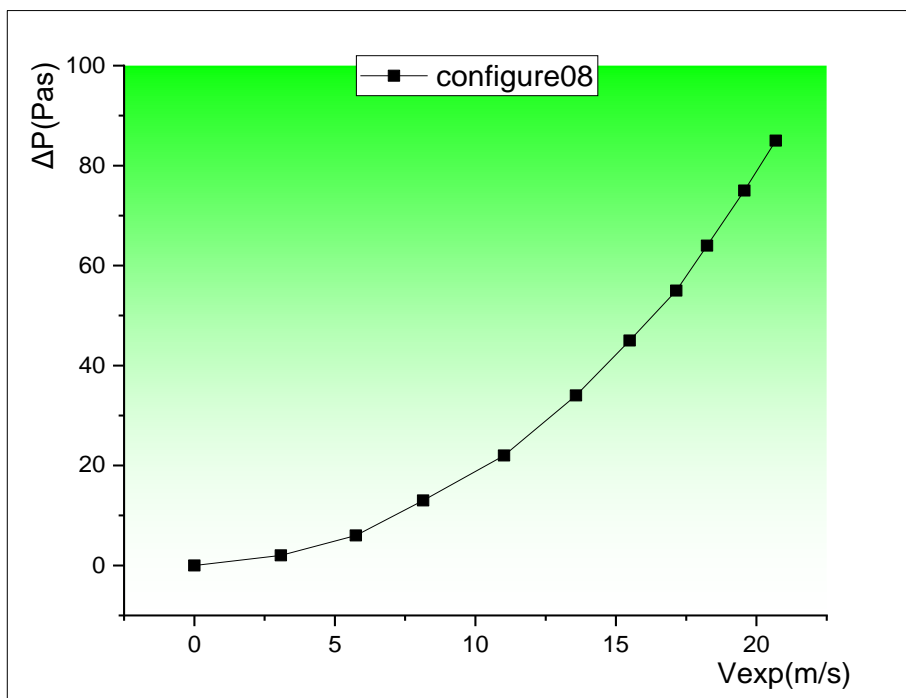


Figure.II.34 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [w/m <sup>2</sup> ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [m/s]	$V_{int}$ [m/s]
12 :00	1039	20	28.2	8.2	0	0	0	0
12 :20	909	21.6	30	8.4	0.00643354	3	2.71	1.606778
12 :40	967	22.8	31.2	8.4	0.01189374	7	5.01	2.970465
13 :00	952	23.7	32.2	8.5	0.01789996	15	7.54	4.470519
13 :20	984	24.5	33	8.5	0.02544928	26	10.72	6.355964
13 :40	969	25.2	33.6	8.4	0.03119436	38	13.14	7.790799
14 :00	963	25.6	33.8	8.2	0.03532512	48	14.88	8.822458
14 :20	977	25.9	34	8.1	0.03890986	58	16.39	9.717747
14 :40	952	26.1	34	7.9	0.04163996	67	17.54	10.39959
15 :00	922	26.3	33.8	7.5	0.0447499	77	18.85	11.1763
15 :20	891	26.3	33.5	7.2	0.04705268	88	19.82	11.75142

*Tableau. II.11: Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 09 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , *Forme  $\Lambda$* ,  $\alpha = 60^\circ$ )*

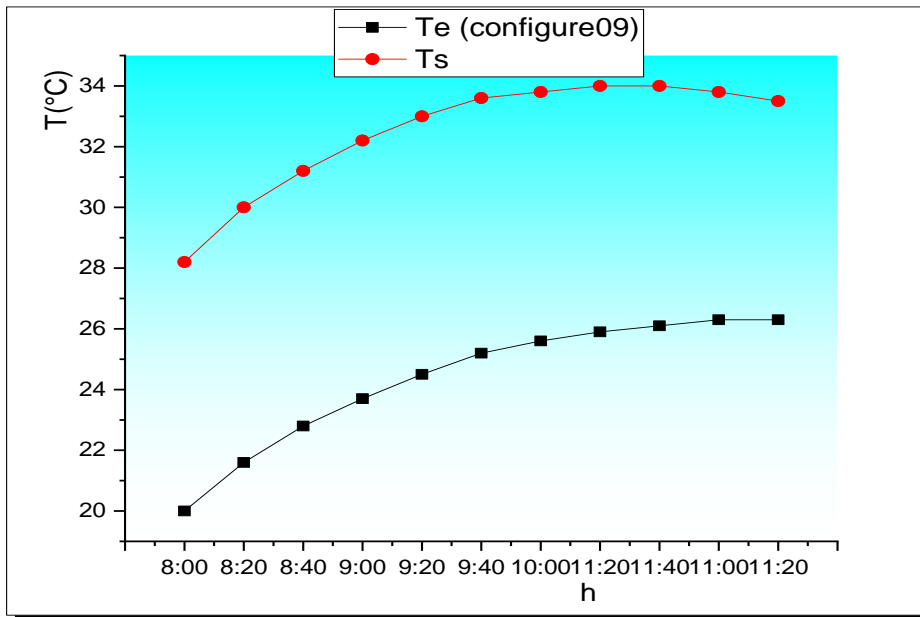


Figure.II.35 : Evolution des températures en fonction du temps

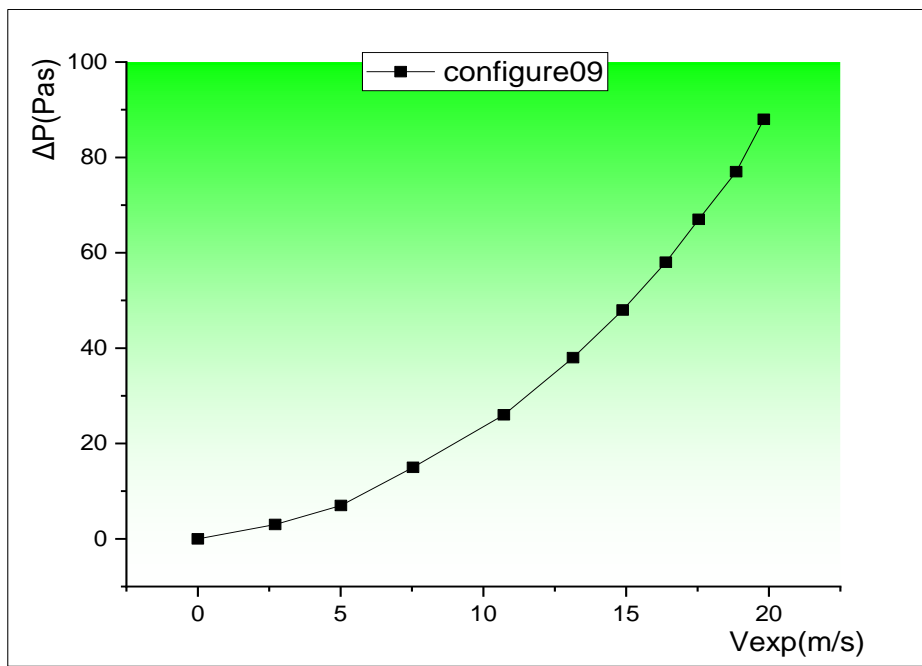


Figure.II.36 : Evolution des pressions en fonction des vitesses



$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	688	18.2	26.4	8.2	0	0	0	0
8 :20	734	18.9	27.2	8.3	0.00579256	4	2.44	1.446693
8 :40	753	19.5	28	8.5	0.01156138	9	4.87	2.887458
9 :00	844	20.1	28.7	8.6	0.01794744	18	7.56	4.482378
9 :20	969	20.6	29.4	8.8	0.02440472	28	10.28	6.095085
9 :40	1033	21.1	30	8.9	0.03033972	40	12.78	7.577353
10 :00	1045	21.5	30.6	9.1	0.03399568	49	14.32	8.49043
10 :20	1046	21.9	31.1	9.2	0.03772286	59	15.89	9.421294
10 :40	1025	22.3	31.6	9.3	0.04052418	69	17.07	10.12092
11 :00	1027	22.5	32.1	9.6	0.0428507	78	18.05	10.70197
11 :20	1032	22.8	32.4	9.6	0.04539088	90	19.12	11.33638

*Tableau. II.12 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 10 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^0 = 120^\circ$ ).*

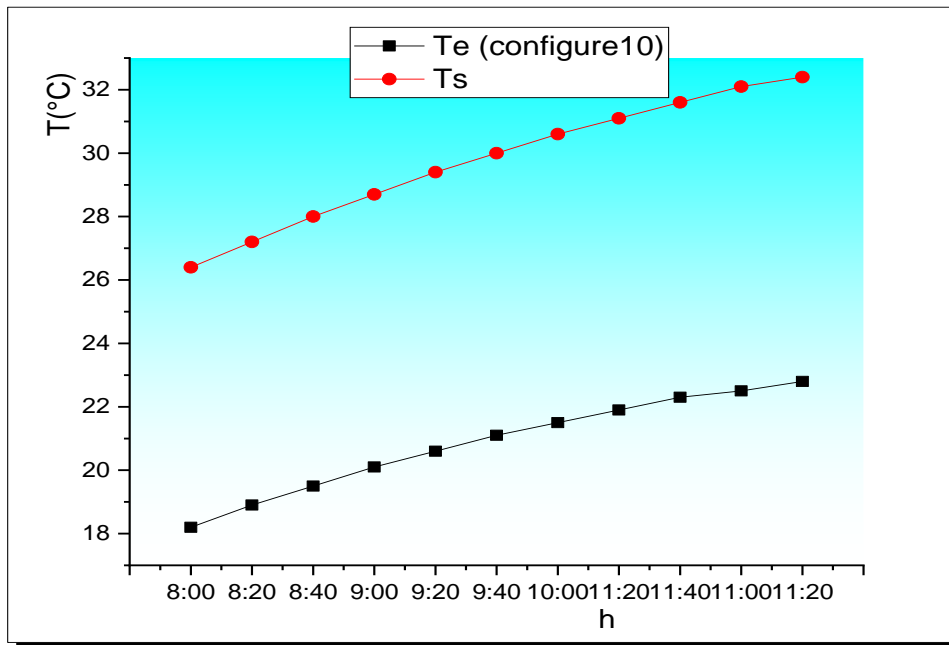


Figure.II.37 : Evolution des températures en fonction du temps

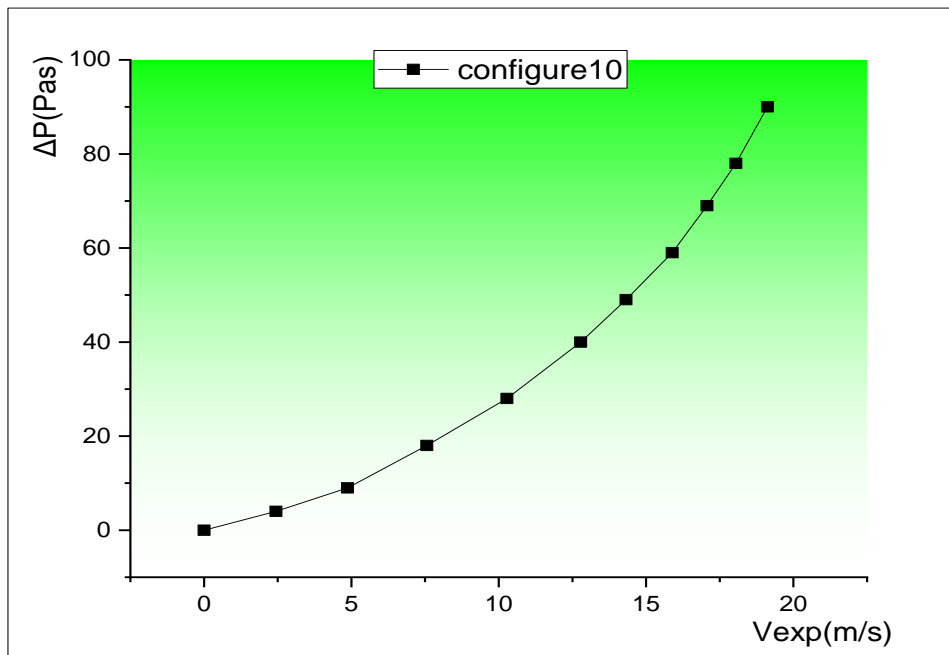


Figure.II.38 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

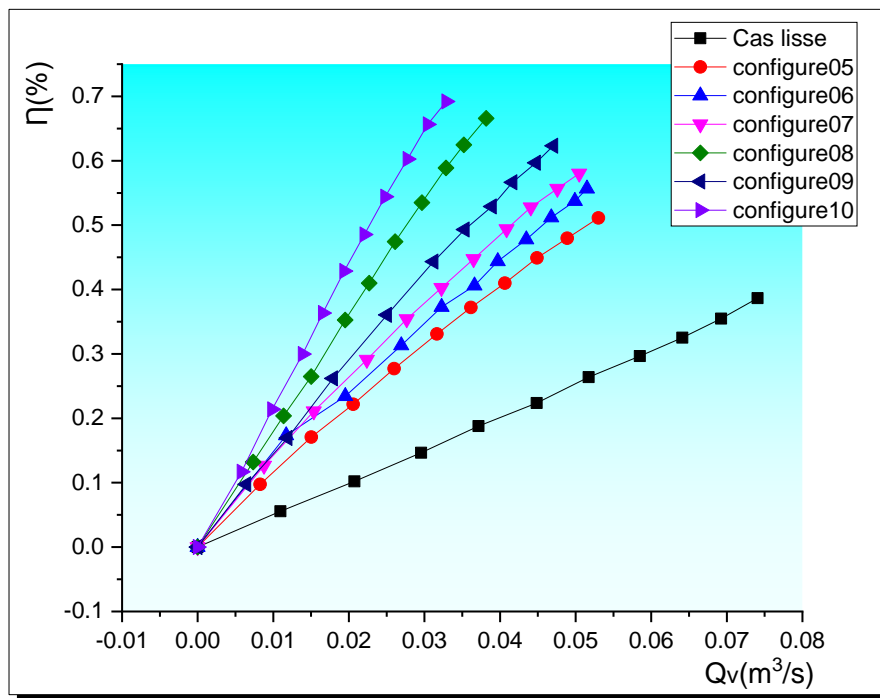


Figure.II.39 : Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes sous formes V comparativement à un conduit lisse

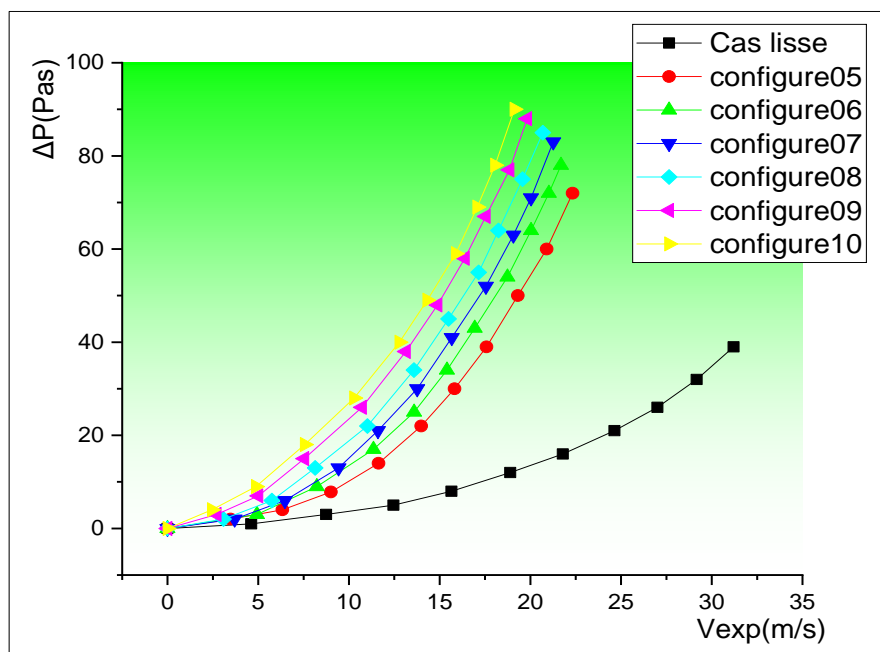


Figure.II.40 : Evolution des pressions en fonction des vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse

$t$ [h]	$I$ [w/m <sup>2</sup> ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{\text{exp}}$ [m/s]	$V_{\text{int}}$ [m/s]
8 :00	495	27.5	36.5	9	0	0	0	0
8 :20	571	27.7	37.3	9.6	0.00852266	5	3.59	2.128536
8 :40	852	28	38.2	10.2	0.0141253	11	5.95	3.527797
9 :00	1026	28.4	39.1	10.7	0.01896826	18	7.99	4.737328
9 :20	1169	28.8	39.9	11.1	0.02502196	31	10.54	6.249241
9 :40	1175	29.3	40.6	11.3	0.02976996	42	12.54	7.435055
10 :00	1161	29.8	41.2	11.4	0.03318852	51	13.98	8.288841
10 :20	1143	30.4	41.8	11.4	0.03594236	59	15.14	8.976613
10 :40	1146	30.8	42.4	11.6	0.0390523	69	16.45	9.753322
11 :00	1140	31.2	42.8	11.6	0.04168744	79	17.56	10.41145
11 :20	1129	31.5	43	11.5	0.04425136	89	18.64	11.05179

*Tableau. II. 13 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 11 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 5 \text{ cm}$ ,*

*$P_s=26 \text{ cm}$ , **Forme  $\Lambda$** ,  $\alpha^\circ=60^\circ$ )*

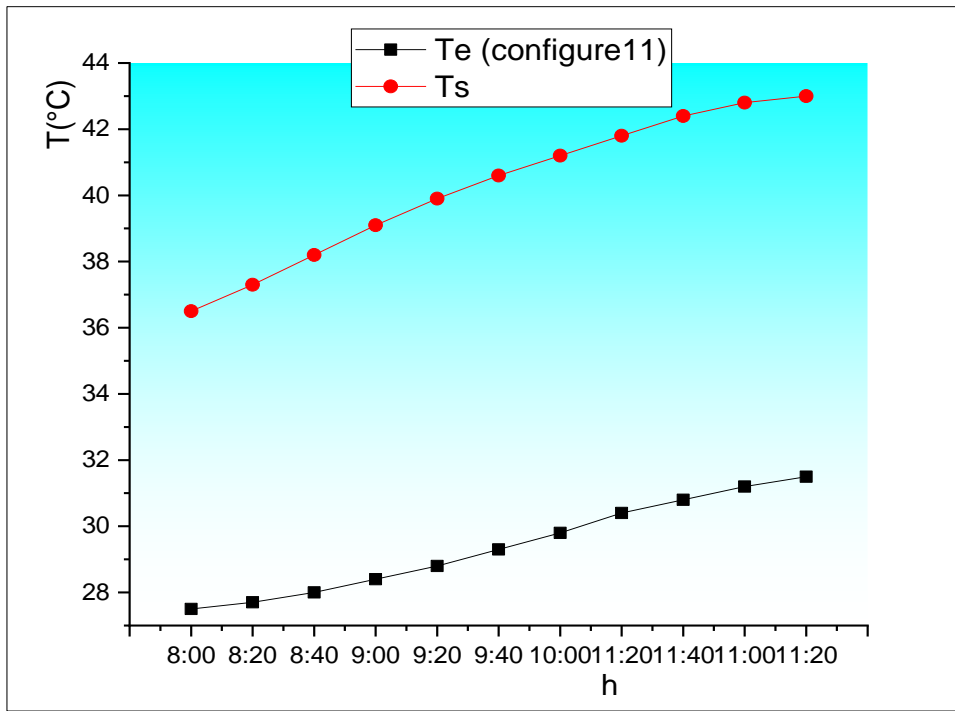


Figure.II.41 : Evolution des températures en fonction du temps

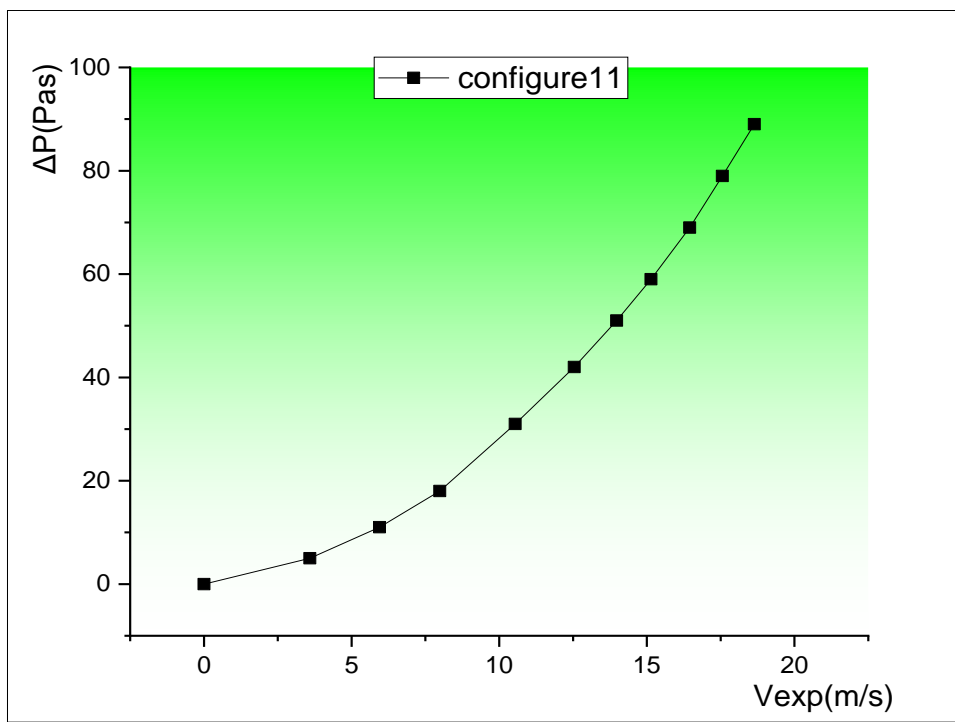


Figure.II.42 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [w/m <sup>2</sup> ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [m/s]	$V_{int}$ [m/s]
8 :00	488	23.3	33.3	10	0	0	0	0
8 :20	882	23.7	34.7	11	0.0070033	6	2.95	1.749076
8 :40	850	24.3	36	11.7	0.01170382	12	4.93	2.923032
9 :00	959	24.8	37.1	12.3	0.0159058	19	6.7	3.972478
9 :20	1020	25.3	38	12.7	0.01975168	26	8.32	4.932987
9 :40	1069	25.9	38.8	12.9	0.02392992	35	10.08	5.976503
10 :00	1061	26.4	39.4	13	0.0275384	45	11.6	6.877722
10 :20	1069	26.8	40	13.2	0.03093322	55	13.03	7.725579
10 :40	1069	27.3	40.5	13.2	0.03387698	65	14.27	8.460784
11 :00	1088	27.7	40.9	13.2	0.03651212	75	15.38	9.118911
11 :20	1040	28.2	41.3	13.1	0.03871994	84	16.31	9.670315

*Tableau. II. 14 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

**Config 12 : (  $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 5 \text{ cm}$ ,**

**Ps=26 cm, Forme V,  $\alpha^\circ=120^\circ$ )**

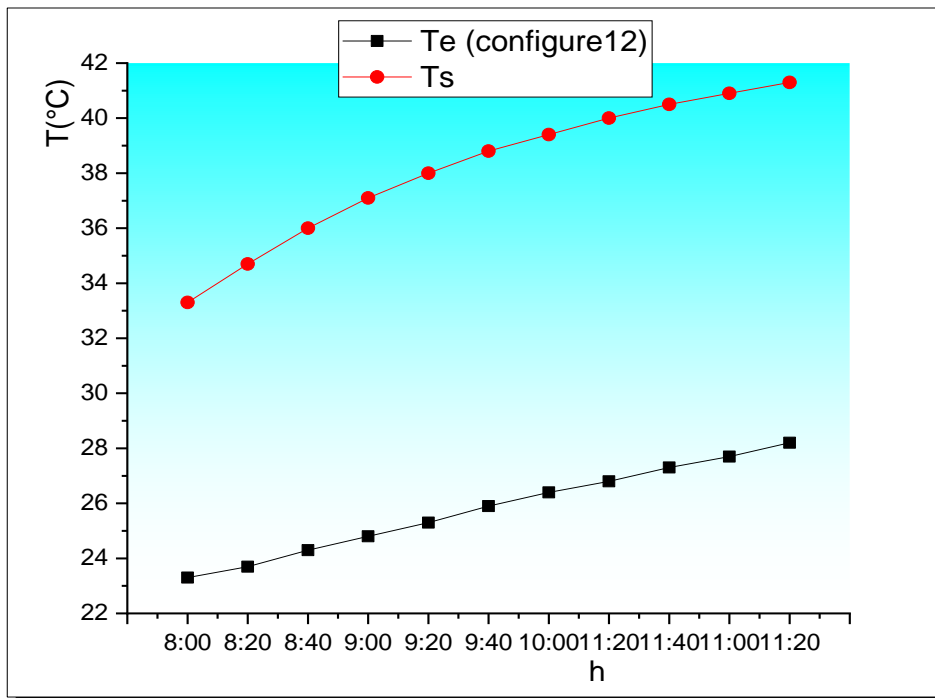


Figure.II.43 : Evolution des températures en fonction du temps

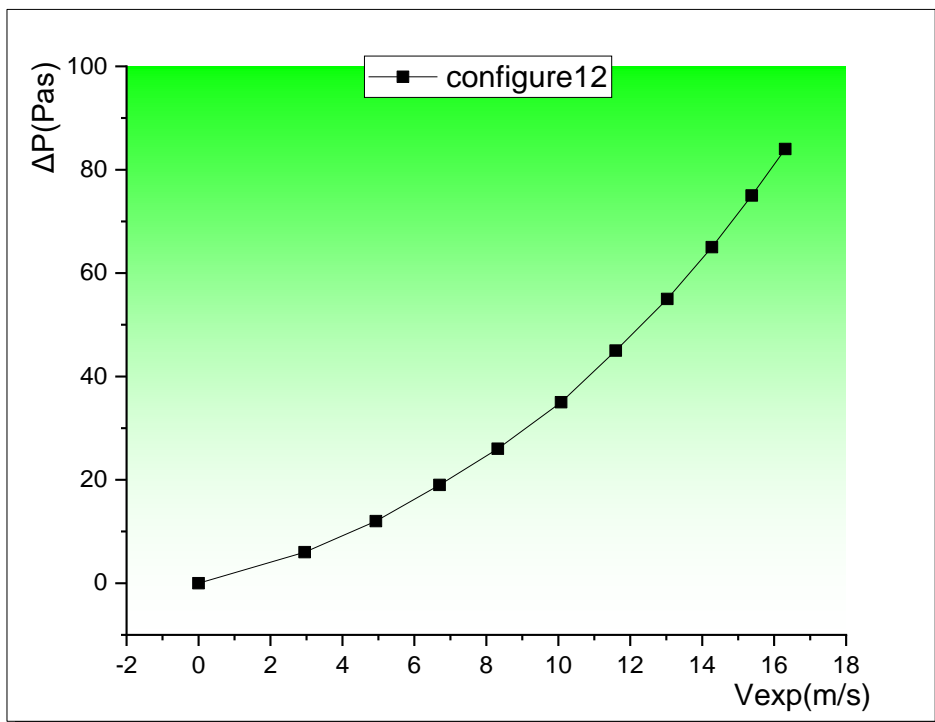


Figure.II.44 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	405	26.2	40.2	14	0	0	0	0
8 :20	541	26.7	40.7	14	0.00726444	7	3.06	1.340303
8 :40	614	27.1	41.2	14.1	0.01132398	14	4.77	2.089295
9 :00	708	27.4	41.5	14.1	0.01538352	22	6.48	2.838288
9 :20	773	27.6	41.9	14.3	0.01844598	29	7.77	3.403317
9 :40	853	27.8	42.3	14.5	0.02236308	38	9.42	4.12603
10 :00	916	28	42.5	14.5	0.02604278	48	10.97	4.804941
10 :20	985	28.1	42.8	14.7	0.02910524	58	12.26	5.36997
10 :40	1014	28.2	42.9	14.7	0.03245258	69	13.67	5.987561
11 :00	1063	28.2	43	14.8	0.03544382	80	14.93	6.53945
11 :20	1120	28.1	43	14.9	0.03826888	93	16.12	7.060679

*Tableau. II. 15 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 13 : ( $L_{ch} = 3 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 2 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 3 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 25 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^0 = 120^\circ$ )*



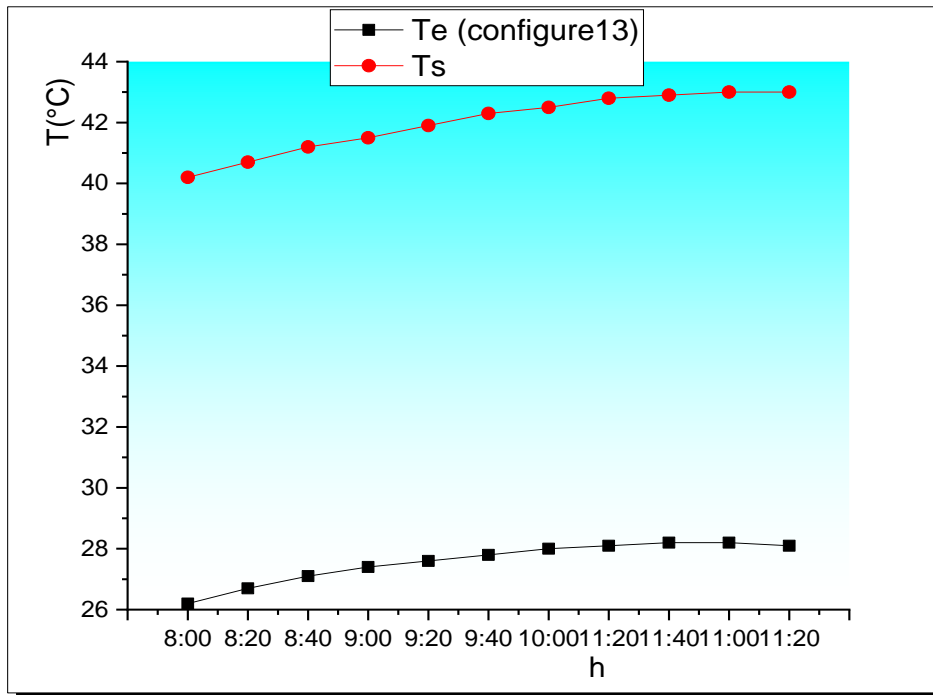


Figure.II.45 : Evolution des températures en fonction du temps

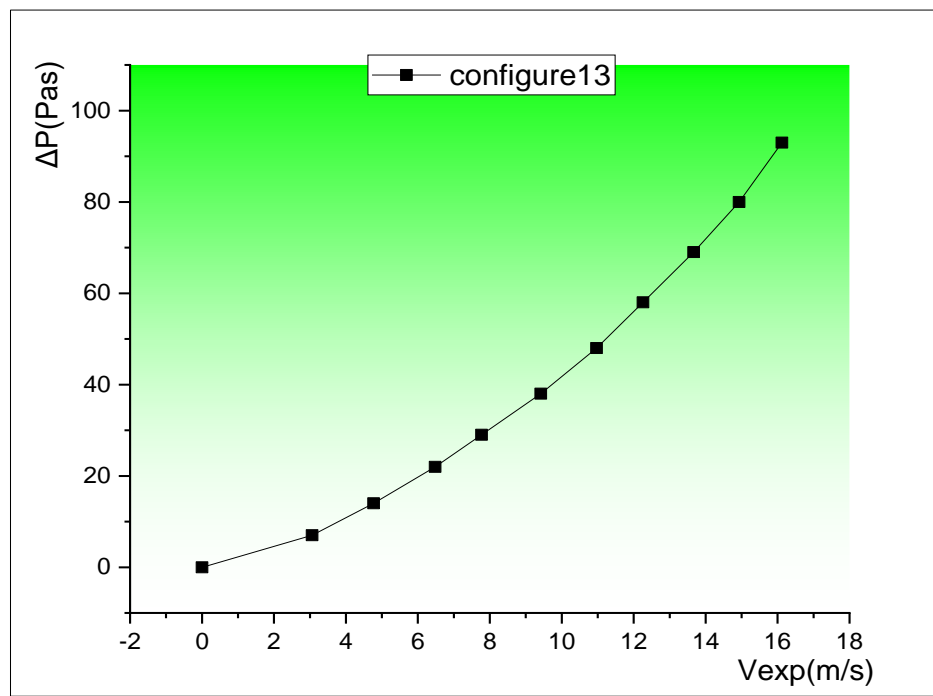


Figure.II.46 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

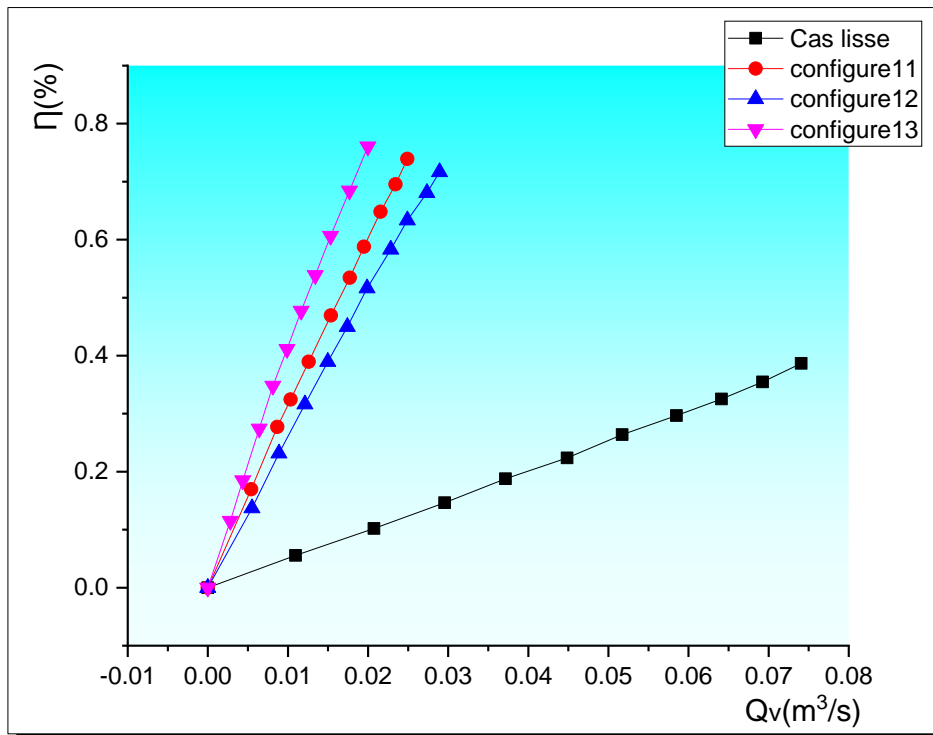


Figure.II.47 : Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes sous formes V comparativement à un conduit lisse

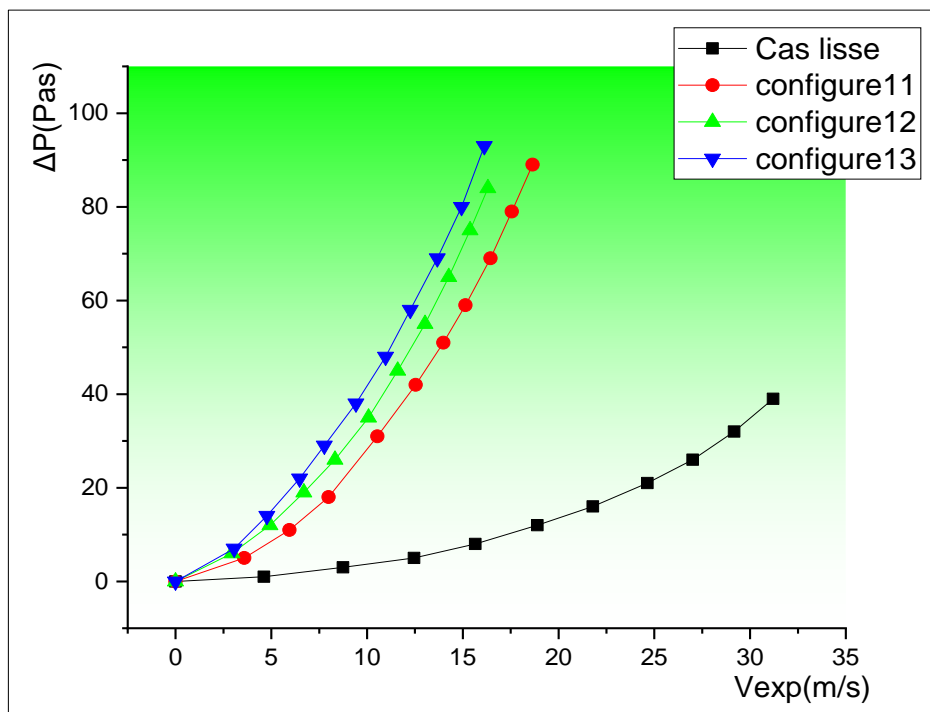


Figure.II.48 : Evolution des pressions en fonction des vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	403	20.2	29.4	9.2	0	0	0	0
8 :20	412	20.7	30.5	9.8	0.00621988	9	2.62	0.942406
8 :40	443	21.1	31.9	10.8	0.00975714	16	4.11	1.478355
9 :00	535	21.4	33.2	11.8	0.01289082	23	5.43	1.953155
9 :20	650	21.7	34.3	12.6	0.01680792	32	7.08	2.546655
9 :40	711	22.1	35.2	13.1	0.0204164	41	8.6	3.093394
10 :00	790	22.4	36.1	13.7	0.02400114	52	10.11	3.636536
10 :20	870	22.6	36.9	14.3	0.02734848	63	11.52	4.143709
10 :40	953	22.8	37.5	14.7	0.03107566	77	13.09	4.708433
11 :00	1011	23	37.8	14.8	0.03387698	87	14.27	5.132876
11 :20	1048	23.1	38.2	15.1	0.0365596	98	15.4	5.539333

**Tableau. II. 16 :** Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :

**Config 14 :** ( $L_{ch} = 2.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 2 \text{ cm}$ ,

$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^\circ = 120^\circ$ )

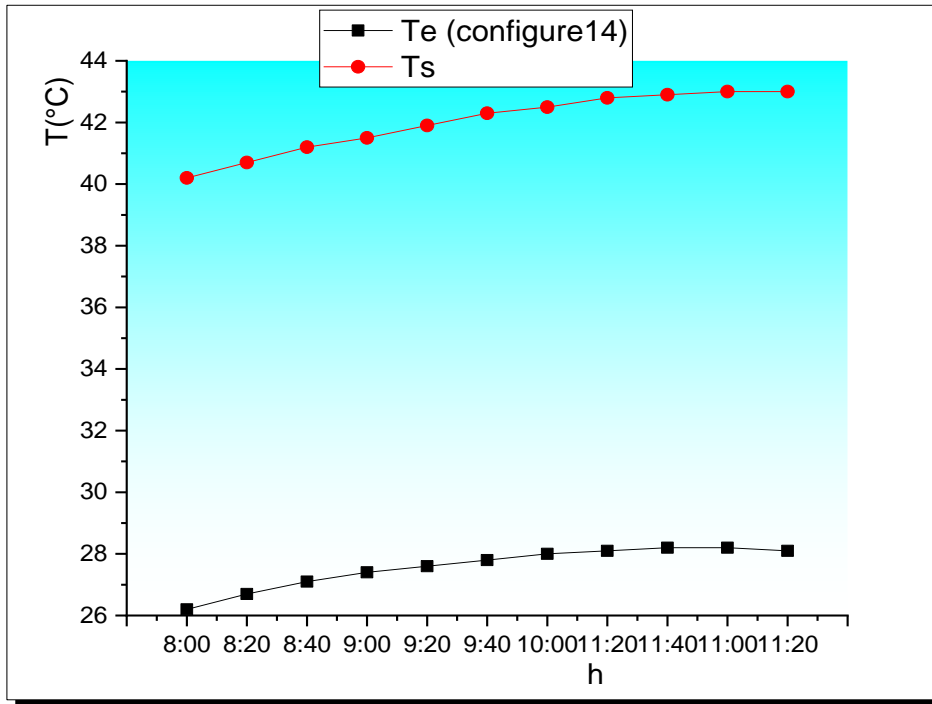


Figure.II.49 : Evolution des températures en fonction du temps

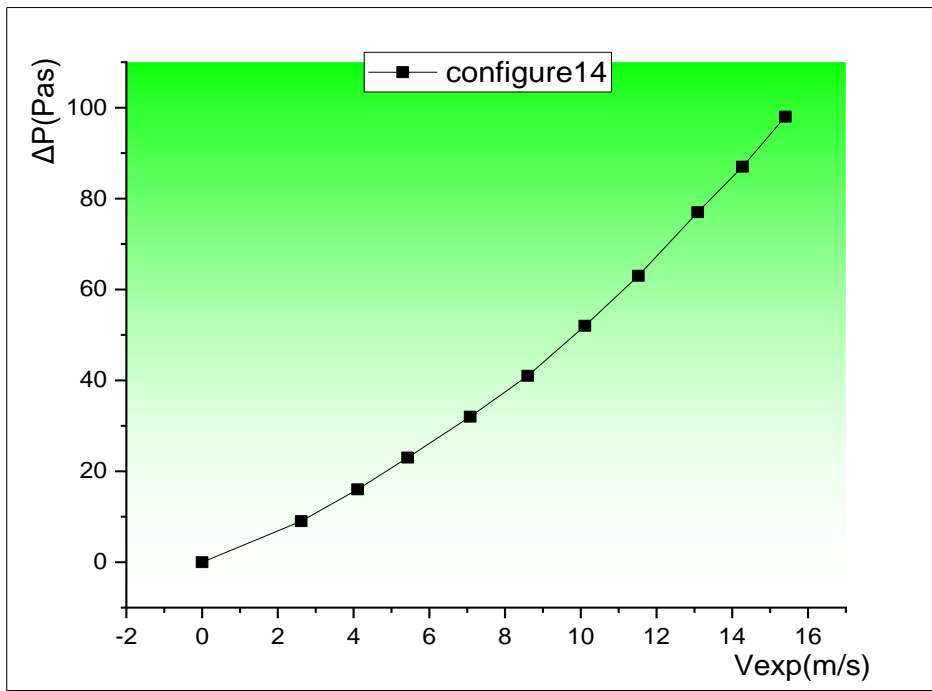


Figure.II.50 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [ $w/m^2$ ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [ $m^3/s$ ]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [ $m/s$ ]	$V_{int}$ [ $m/s$ ]
8 :00	475	23.3	33.5	10.2	0	0	0	0
8 :20	496	23.7	34.7	11	0.00655224	8	2.76	1.636424
8 :40	661	24	36.1	12.1	0.01054056	15	4.44	2.632507
9 :00	743	24.3	37.4	13.1	0.0140066	22	5.9	3.498152
9 :20	837	24.6	38.7	14.1	0.01773378	30	7.47	4.429016
9 :40	941	24.9	40	15.1	0.02159865	40	9.098	5.394269
10 :00	1020	25.2	40.9	15.7	0.02518814	51	10.61	6.290744
10 :20	1063	25.5	41.9	16.4	0.02806068	59	11.82	7.008162
10 :40	1132	25.9	42.7	16.8	0.0313368	71	13.2	7.826374
11 :00	1151	26.5	43.51	17.01	0.03401942	80	14.33	8.496359
11 :20	1160	27.1	44	16.9	0.03741424	95	15.76	9.344216

*Tableau. II. 17 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 15 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 2 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^0 = 150^\circ$ )*

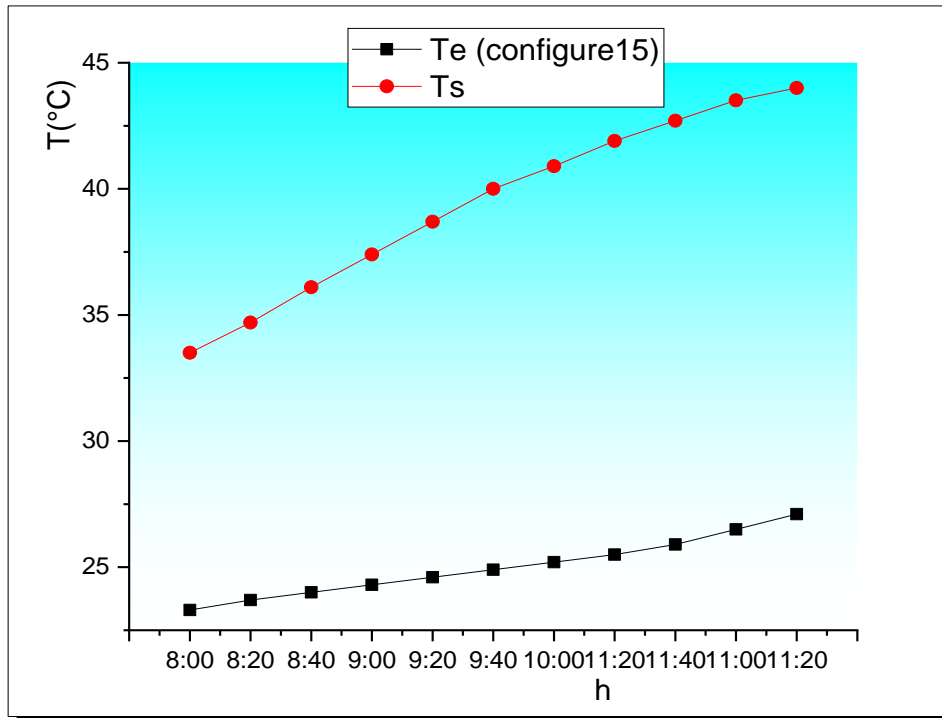


Figure.II.51 : Evolution des températures en fonction du temps

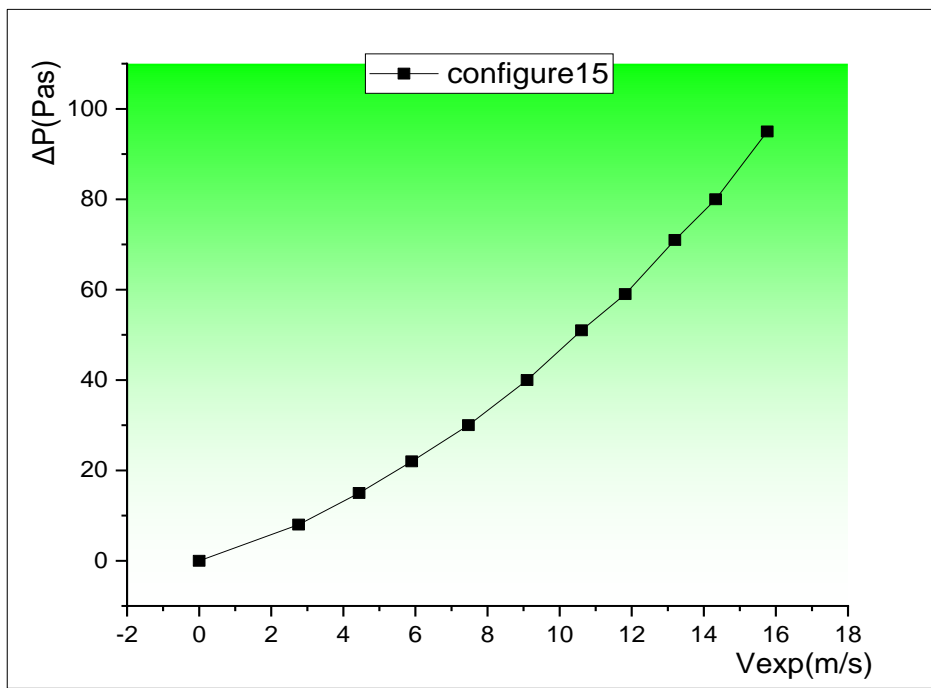


Figure.II.52 : Evolution des pressions en fonction des vitesses

$t$ [h]	$I$ [w/m <sup>2</sup> ]	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta P$ [Pas]	$V_{exp}$ [m/s]	$V_{int}$ [m/s]
8 :00	426	27	38.7	11.7	0	0	0	0
8 :20	606	28.4	42.2	13.8	0.00484296	10	2.04	1.20953
8 :40	773	29.4	45.4	16	0.00838022	18	3.53	2.092962
9 :00	902	30.1	47.1	17	0.0121074	26	5.1	3.023826
9 :20	941	29.5	47.2	17.7	0.0153123	33	6.45	3.824251
9 :40	1046	29.9	48.6	18.7	0.0192294	43	8.1	4.802547
10 :00	1066	31.7	50.1	18.4	0.02276666	54	9.59	5.685979
10 :20	1144	33.2	52.1	18.9	0.02642262	66	11.13	6.599056
10 :40	1224	34.5	53.6	19.1	0.03036346	80	12.79	7.583282
11 :00	1237	35.3	54	18.7	0.0333547	91	14.05	8.330345
11 :20	1215	35.9	54.1	18.2	0.03556252	100	14.98	8.881748

*Tableau. II. 18 : Evolution des températures en fonction du débit pour un canal muni des chicanes définie par :*

*Config 16 : ( $L_{ch} = 4.5 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$ ,  $P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}$ ,  $P_{e-r} = 2 \text{ cm}$ ,*

*$P_s = 26 \text{ cm}$ , **Forme V**,  $\alpha^\circ = 120^\circ$ )*

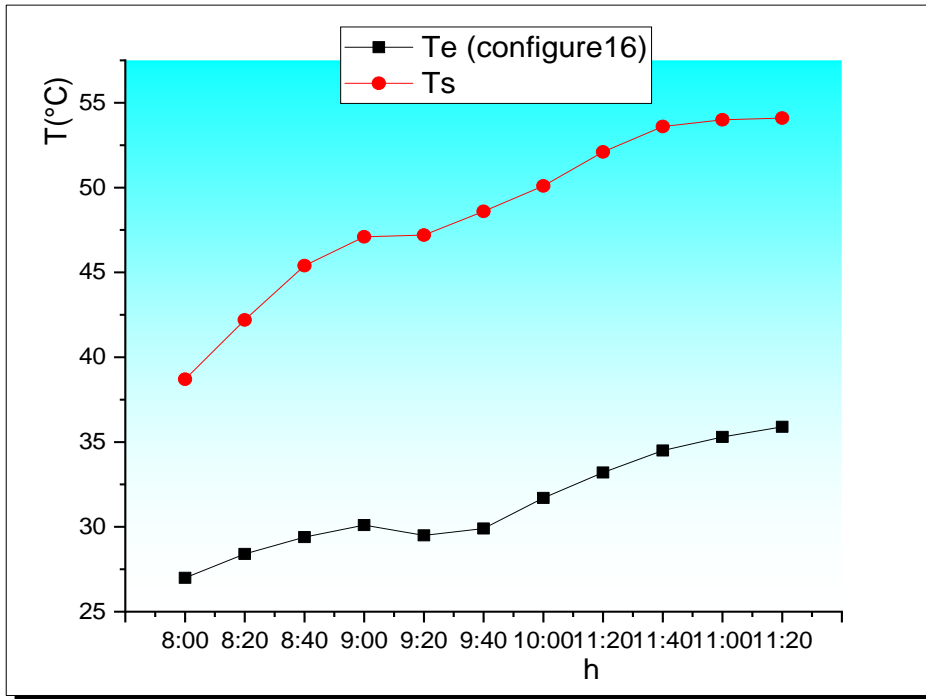


Figure.II.53 : Evolution des températures en fonction du temps

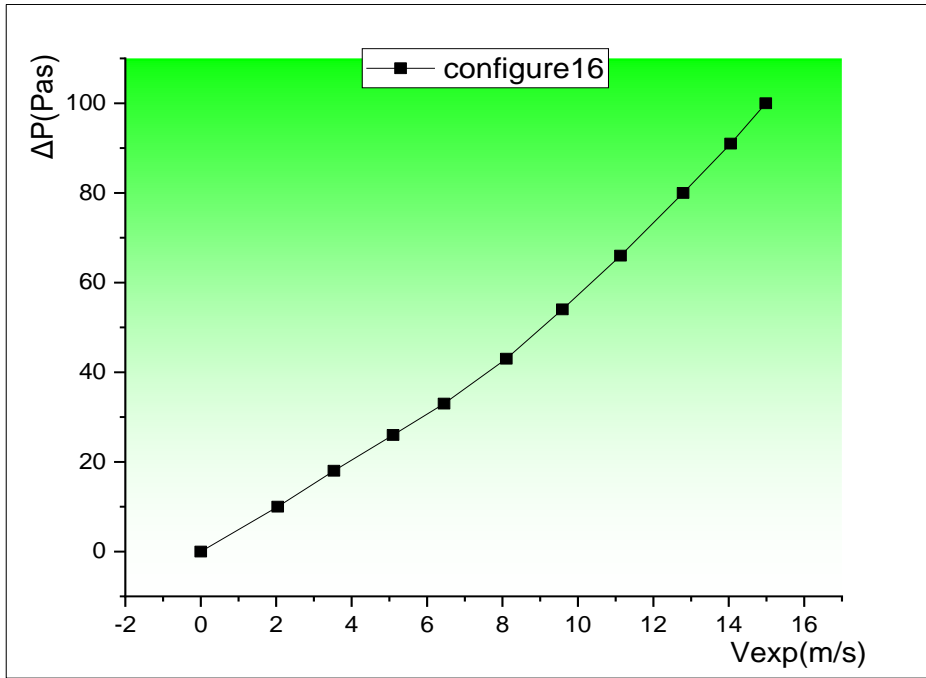


Figure.II.54 : Evolution des pressions en fonction des vitesses



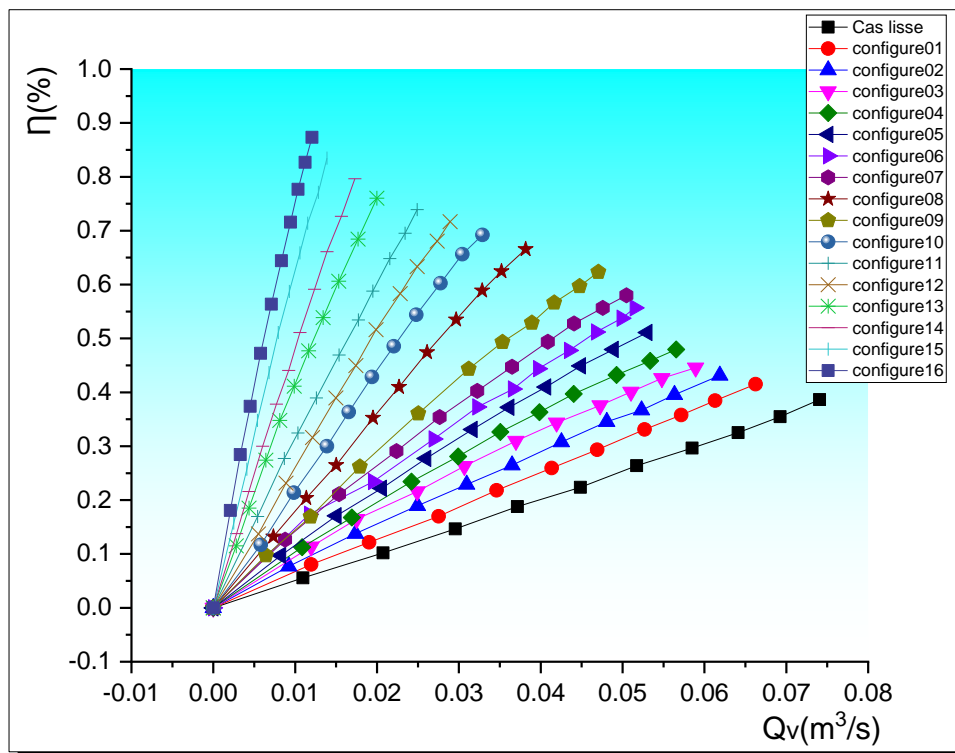


Figure.II.55 : Le rendement en fonction du débit volumique en présence des chicanes sous formes V comparativement à un conduit lisse

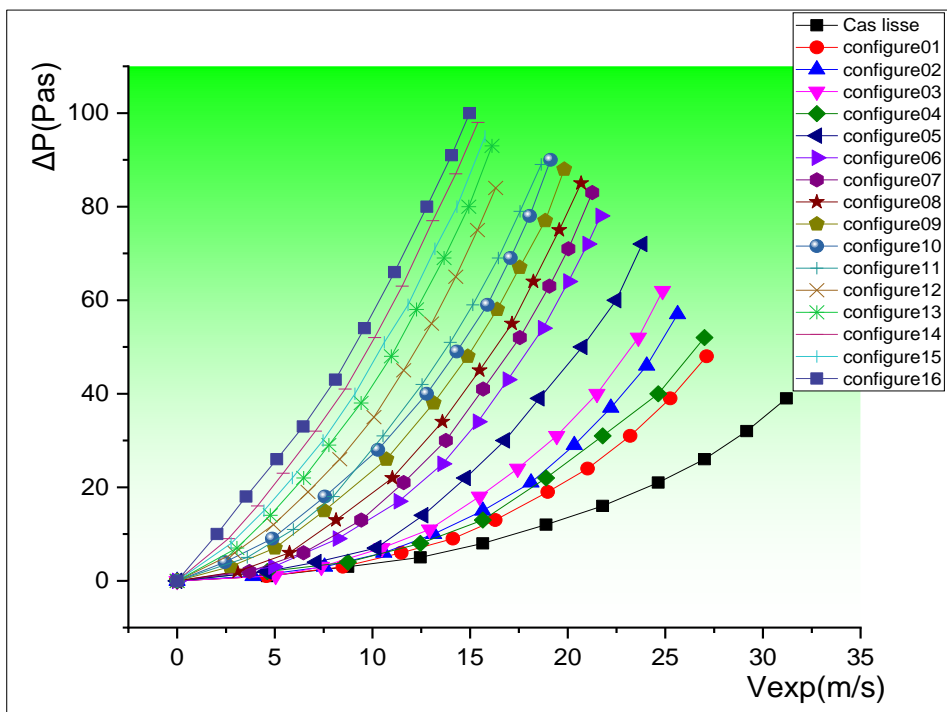


Figure.II.56 : Evolution des pressions en fonction des vitesses en présence des chicanes comparativement à un conduit lisse

***Conclusion :***

Nous avons analysé 16 configurations différentes de chicane, ainsi qu'un cas sans chicane. Nous avons constaté que l'augmentation du nombre de chicane dans le collecteur solaire entraîne une augmentation de la surface d'échange thermique entre la plaque absorbante et l'air en circulation, ce qui a conduit à une amélioration du rendement.

## *Chapitre III :*

*Établissement des  
modèles de calcul  
pour les pertes de  
charge et le nombre de  
Nusselt.*

**Introduction :**

Ce chapitre se penche sur l'élaboration de modèles empiriques visant à lier les pertes de charge et le nombre de Nusselt aux propriétés physiques du fluide, ainsi qu'aux caractéristiques géométriques des rugosités artificielles, également appelées chicanes. Nous examinons également les diverses configurations de leur disposition dans le conduit rectangulaire du canal de notre capteur solaire, en tenant compte des différents régimes d'écoulement.

**III.1. La méthode de calcul :**

**- Etude dynamique**

Pour étudier comment les pertes de charge sont liées aux caractéristiques géométriques des rugosités artificielles et aux propriétés physiques du fluide, nous avons choisi d'utiliser l'analyse dimensionnelle. Cette méthode consiste à identifier les dimensions caractéristiques des principaux paramètres impliqués, ce qui nous permet ensuite de dériver une expression exprimant les pertes de charge en fonction de ces paramètres..

$$\Delta P = \Delta P(\rho, D_H, V, \mu, \varepsilon, L, P_{e-r}, P_{e-ch}, P_{e-s}, L_{ch}) \quad (III.1)$$

Avec :

$\Delta P$ : Pertes de charge par frottement [Pascal].

$\rho$ : Masse volumique du fluide en écoulement (l'air) [Kg/m<sup>3</sup>]

$D_H$ : Diamètre hydraulique [m].

$V$ : Vitesse de l'air  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

$\mu$ : La viscosité dynamique  $\left[\frac{kg}{m} \cdot s\right]$ .

$\varepsilon$ : Rugosité des chicanes [m].

$L$ : Longueur du canal [m].

$P_{e-r}$ : Pas entre deux rangées successives de chicanes [m].

$P_{e-ch}$ : Longueur d'une chicane ou bien d'un V [m] .

$P_{e-s}$ : Pas entre les sommets des chicanes [m].

$L_{ch}$ : longueur de une chicane [m].

On utilise le théorème de Vashy-Buckingham pour avoir que 6 groupements indépendants, en adoptant l'écriture suivante avec  $L=$ constante, alors :

$$\frac{\Delta P}{L} = \pi . k . \rho^\alpha . D_H^\beta . V^\gamma . \mu^x . \varepsilon^y . P_{e-r}^z . P_{e-ch}^e . P_{e-s}^f . L_{ch}^w \quad (\text{III. 2})$$

$\pi$  : Indique un produit.

On peut déduire alors une relation basée sur les dimensions fondamentales, tel que

$$M . L^{-2} . T^{-2} = \left[ \begin{array}{c} \pi . k . (M . L^{-3})^\alpha . (L)^\beta . (L . T^{-1})^\gamma . \\ (M . L^{-1} . T^{-1})^x . (L)^y . (L)^z . (L)^e . (L)^f . (L)^w \end{array} \right] \quad (\text{III. 3})$$

Après le développement, on aura :

$$ML^{-2}T^{-2} = \pi . k . (M)^{\alpha+x} . (L)^{-3\alpha+\beta+\gamma-x+y+z+e+f+w} . (T)^{-\gamma-x} . \quad (\text{III. 4})$$

Après identification on obtient un système de 3 équations se la forme :

$$\begin{cases} \alpha + x = 1 & (1) \\ -3\alpha + \beta + \gamma - x + y + e + f + w = -2 & (2) \\ -\gamma - x = -2 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha = 1 - x & (4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \gamma = 2 - x & (5) \end{cases}$$

Remplaçant (4) et (5) dans (3) on obtient :

$$\beta = 1 - x - y - z - e - f - w \quad (6)$$

D'autre part, en remplaçant (4), (5) et (6) dans (III.2) on obtient :

$$\frac{\Delta P}{L} = \pi . k . \rho^{1-x} . D_H^{-1-x-y-z-e-f-w} . \mu^x . \varepsilon^y . P_{e-r}^z . P_{e-ch}^e . P_{e-s}^f . \quad (\text{III. 5})$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{D_H} \cdot [\rho^{-x} \cdot D_H^{-x-y-z-e-f-w} \cdot \mu^x \cdot \varepsilon^y \cdot P_{e-r}^z \cdot P_{e-ch}^e \cdot p_{e-s}^f]$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{D_H} \left[ \left( \frac{\rho \cdot V \cdot D_H}{\mu} \right)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right]$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \cdot \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right] \cdot V^2 \quad \text{(III. 6)}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \left[ \lambda \left( (R_e)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right) \right] \cdot V^2$$

Compte tenu de cette dernière relation, le coefficient de perte de charge (de frottement) prend l'expression suivante :

$$\lambda = \lambda \left( (R_e), \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right), \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right) \right) \quad \text{(III. 7)}$$

Avec la viscosité dynamique et la masse volumique sont des constantes :

$$\mu = 1.8 \times 10^{-5} [Kg/m \cdot s]$$

$$\rho = 1.225 [Kg/m^3]$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right] \cdot V^2 \quad \text{(III. 8)}$$

$$\rightarrow \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D_H}{L \cdot \rho \cdot V^2} = \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right] \quad \text{(III. 9)}$$

$$\rightarrow \ln \left( \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D_H}{L \cdot \rho \cdot V^2} \right) = \ln \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \right] \quad \text{(III. 10)}$$

$$\ln \left( \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D_H}{L \cdot \rho \cdot V^2} \right) = \left[ -x \ln(R_e) + y \ln \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right) + z \ln \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right) + e \ln \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right) + f \ln \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right) + w \ln \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right) \right] \quad \text{(III.11)}$$

### III.2 . Régime turbulent :( $R_e > 2300.$ )

Cette analyse est basée sur les données suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 30 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^{\circ} = 120^{\circ}, \Delta P = 3 \text{ Pa}, V_{int} = 5.033781 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 30 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 6 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 6.806573 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 30 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 9 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 8.371848 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 6 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 8.208144 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 10 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 10.19424 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 15 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 12.14154 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 7 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 8.13832 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 11 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 10.02356 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 18 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 12.00965 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 10 \text{ cm}, P_{e-s} = 27 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 8 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 7.913333333 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 10 \text{ cm}, P_{e-s} = 27 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 13 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 9.775294118 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 10 \text{ cm}, P_{e-s} = 27 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 19 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 11.45881699 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 29 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ \Delta P = 7 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 6.982353 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 29 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ \Delta P = 14 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 9.022752 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 29 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ, \Delta P = 22 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 10.84592 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \Lambda, \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 9 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 4.879625 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \Lambda, \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 17 \text{ Pa}, V_{int} = 6.729496 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \Lambda, \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 25 \text{ Pa}, V_{int} = 8.057607 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 13 \text{ Pa}, V_{int} = 5.591114 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 21 \text{ Pa}, V_{int} = 6.877722 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 30 \text{ Pa}, V_{int} = 8.158402 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 22 \text{ Pa}, V_{int} = 3.963861 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 34 \text{ Pa}, V_{int} = 4.884685 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 45 \text{ Pa}, V_{int} = 5.571706 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 26 \text{ Pa}, V_{int} = 6.355964 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 38 \text{ Pa}, V_{int} = 7.790799 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 48 \text{ Pa}, V_{int} = 8.822458 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 28 \text{ Pa}, V_{int} = 6.095085 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 40 \text{ Pa}, V_{int} = 7.577353 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 49 \text{ Pa}, V_{int} = 8.49043 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 31 \text{ Pa}, V_{int} = 6.249241 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 42 \text{ Pa}, V_{int} = 7.435055 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 51 \text{ Pa}, V_{int} = 8.288841 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 26 \text{ Pa}, V_{int} = 4.932987 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 35 \text{ Pa}, V_{int} = 5.976503 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 45 \text{ Pa}, V_{int} = 6.877722 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_{e-s} = 25 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 38 \text{ Pa}, V_{int} = 4.12603 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_{e-s} = 25 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 48 \text{ Pa}, V_{int} = 4.804941 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_{e-s} = 25 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 58 \text{ Pa}, V_{int} = 5.36997 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 52 \text{ Pa}, V_{int} = 3.636536 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 63 \text{ Pa}, V_{int} = 4.143709 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 77 \text{ Pa}, V_{int} = 4.708433 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta P = 30 \text{ Pa}, V_{int} = 4.429016 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta P = 40 \text{ Pa}, V_{int} = 5.394269 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta P = 51 \text{ Pa}, V_{int} = 6.290744 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 43 \text{ Pa}, V_{int} = 4.802547 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 54 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 5.685979 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 66 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 6.599056 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

En remplaçant les données dans (III.11), on obtient un système d'équation de la forme

$$Ax = b:$$

**Chapitre III - Établissement des modèles de calcul pour les pertes de charge et le nombre de Nusselt.**

$$\begin{bmatrix}
 -8.25 & 0.74 & 3.28 & 1.29 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.55 & 0.74 & 3.28 & 1.29 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.76 & 0.74 & 3.28 & 1.29 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.41 & 1.07 & 3.21 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.62 & 1.07 & 3.21 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.80 & 1.07 & 3.21 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.40 & 1.07 & 0.91 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.60 & 1.07 & 0.91 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.90 & 1.07 & 0.91 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\
 -8.37 & 1.07 & 2.52 & 1.62 & 3.51 & 1.60 \\
 -8.58 & 1.07 & 2.52 & 1.62 & 3.51 & 1.60 \\
 -8.54 & 1.07 & 2.52 & 1.62 & 3.51 & 1.60 \\
 -8.76 & 1.07 & 2.92 & 0.80 & 3.58 & 1.60 \\
 -8.27 & 1.07 & 2.92 & 0.80 & 3.58 & 1.60 \\
 -8.58 & 1.07 & 2.92 & 0.80 & 3.58 & 1.60 \\
 -8.68 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.22 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.54 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.72 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.35 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.56 & 1.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.73 & 0.30 & 1.46 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.45 & 0.30 & 1.46 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.65 & 0.30 & 1.46 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.79 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.48 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.69 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.81 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.46 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.68 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.77 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.47 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.64 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.75 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.23 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.42 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.56 & 0.42 & 0.66 & 0.25 & 2.78 & 0.66 \\
 -8.37 & 0.42 & 0.66 & 0.25 & 2.78 & 0.66 \\
 -8.52 & 0.42 & 0.66 & 0.25 & 2.78 & 0.66 \\
 -8.74 & 0.30 & 0.14 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.36 & 0.30 & 0.14 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.49 & 0.30 & 0.14 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\
 -8.62 & 0.25 & 0.25 & 0.33 & 2.82 & 1.06 \\
 -8.44 & 0.25 & 0.25 & 0.33 & 2.82 & 1.06 \\
 -8.66 & 0.25 & 0.25 & 0.33 & 2.82 & 1.06 \\
 -8.82 & 0.74 & 0.57 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.20 & 0.74 & 0.57 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\
 -8.37 & 0.74 & 0.57 & 0.35 & 3.14 & 1.38
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{bmatrix}
 x \\
 y \\
 z \\
 e \\
 f \\
 w
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 -6.53 \\
 -6.44 \\
 -6.45 \\
 -7.15 \\
 -7.07 \\
 -7.02 \\
 -6.98 \\
 -6.95 \\
 -6.81 \\
 -6.79 \\
 -6.73 \\
 -6.69 \\
 -6.70 \\
 -6.49 \\
 -6.41 \\
 -5.37 \\
 -5.38 \\
 -5.35 \\
 -5.28 \\
 -5.21 \\
 -5.20 \\
 -5.63 \\
 -3.61 \\
 -3.59 \\
 -4.84 \\
 -4.87 \\
 -4.88 \\
 -4.68 \\
 -4.76 \\
 -4.79 \\
 -4.63 \\
 -4.68 \\
 -4.70 \\
 -4.33 \\
 -4.42 \\
 -4.45 \\
 -3.28 \\
 -3.35 \\
 -3.60 \\
 -2.60 \\
 -2.66 \\
 -3.72 \\
 -3.65 \\
 -3.76 \\
 -3.83 \\
 -3.78 \\
 -3.89 \\
 -3.98
 \end{bmatrix}$$

La résolution de ce système est obtenue par un code de Matlab et avec la méthode de pseudo inverse :

$$[x = \text{pinv}(a) \times b]$$

Finalement la solution de ce système d'équation nous permis d'obtenir :

$$\begin{cases} x = 0.1246 \\ y = -0.1504 \\ z = -0.3928 \\ e = -0.9580 \\ f = -2.2991 \\ w = 0.2452 \end{cases}$$

Donc :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \cdot \left[ \begin{array}{l} (Re)^{-0.1246} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.1504} \cdot \left(\frac{Pe-r}{D_H}\right)^{-0.3928} \\ \cdot \left(\frac{Pe-ch}{D_H}\right)^{-0.9580} \cdot \left(\frac{Pe-s}{D_H}\right)^{-2.2991} \cdot \left(\frac{Lch}{D_H}\right)^{0.2452} \end{array} \right] \cdot V^2$$

Et par conséquent le coefficient de frottement prend l'expression

$$f = \lambda = \left( (Re)^{-0.1246} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.1504} \cdot \left(\frac{Pe-r}{D_H}\right)^{-0.3928} \cdot \left(\frac{Pe-ch}{D_H}\right)^{-0.9580} \cdot \left(\frac{Pe-s}{D_H}\right)^{-2.2991} \cdot \left(\frac{Lch}{D_H}\right)^{0.2452} \right)$$

Cette expression est valable pour les configurations des chicanes étudiées pour un régime d'écoulement turbulent.

**□ Représentation graphique du coefficient de frottement en fonction du nombre de Reynolds (Pour le régime turbulent) :**

En utilisant l'équation empirique du coefficient de frottement, nous pouvons représenter graphiquement l'évolution de ce coefficient en fonction du nombre de Reynolds.

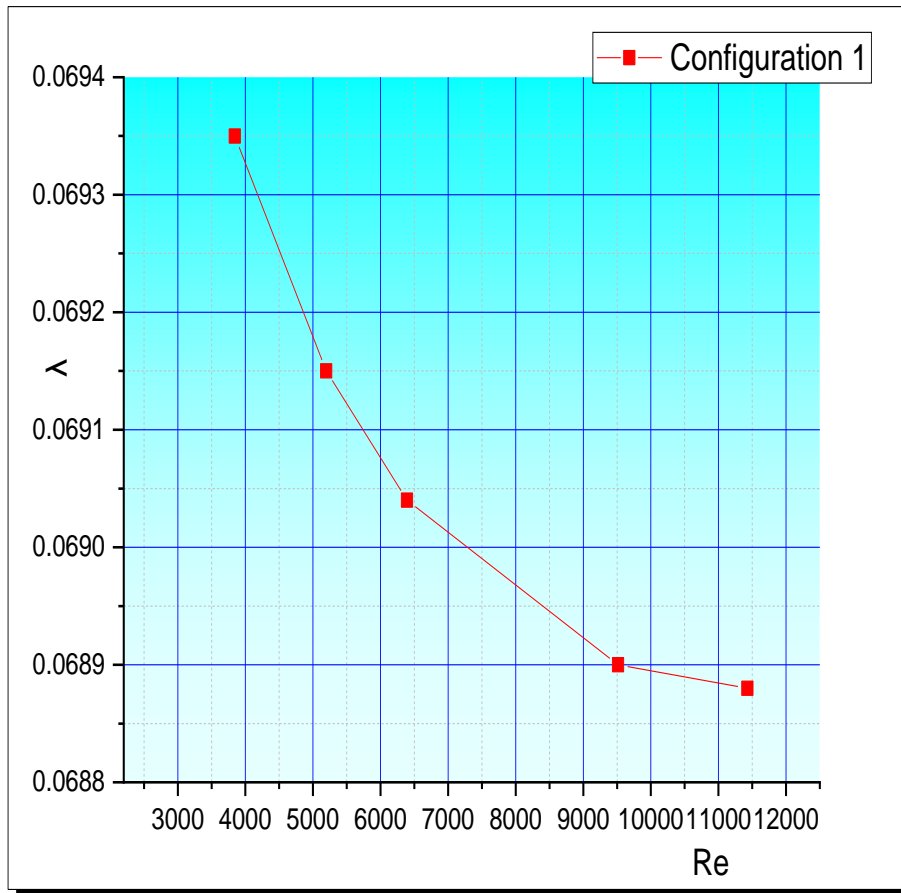


Figure III.1: L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour la configuration 1

$$L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm}$$

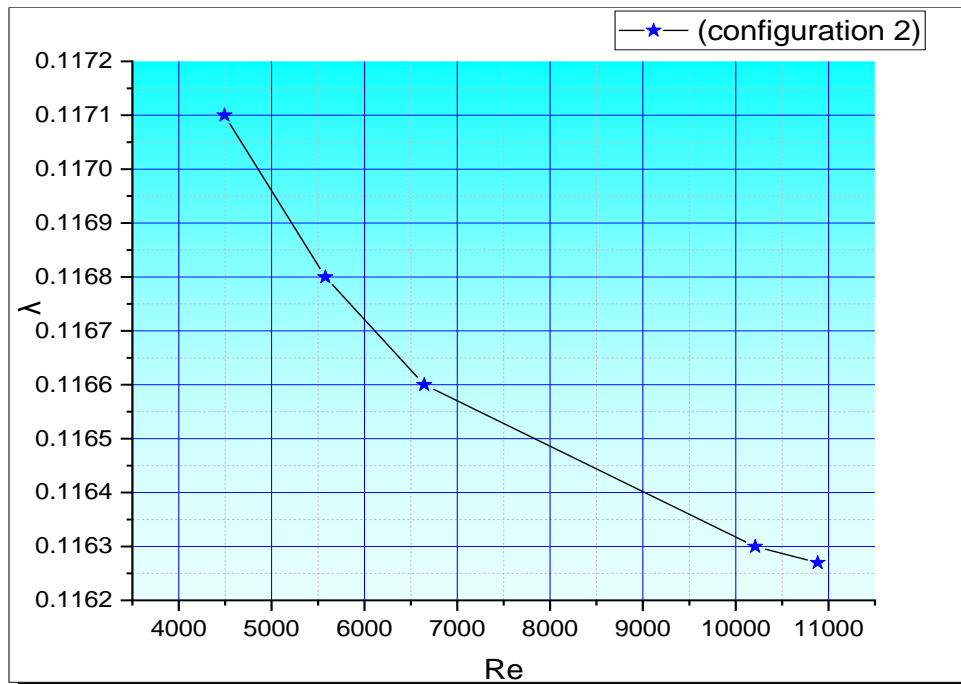


Figure III.2: L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour la configuration 2

$$L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm}$$

### III.3 . Régime laminaire : (Re < 2000)

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta P = 1 \text{ Pa} , V_{\text{int}} = 2,709585 \text{ m/s} , D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 2 \text{ cm} , P_{e-r} = 20 \text{ cm} , P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ , \Delta P = 1 \text{ Pa} , V_{\text{int}} = 3,017928 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 2 \text{ cm} , P_{e-r} = 20 \text{ cm} , P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta P = 2 \text{ Pa} , V_{\text{int}} = 3,910118 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 10 \text{ cm} , P_{e-s} = 27 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta P = 2 \text{ Pa} , V_{\text{int}} = 3,54548366 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm} , P_{e-r} = 15 \text{ cm} , P_{e-s} = 29 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ , 60^\circ , \Delta P = 2 \text{ Pa} , V_{\text{int}} = 2,699843 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \Lambda \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 3 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 2,923032 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 2 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 2,193756 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 2 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,107867 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 3 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,606778 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 4 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,446693 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 5 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 2,128536 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 6 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,749076 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 7 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,340303 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 9 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 0,942406 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta P = 8 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,636424 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta P = 10 \text{ Pa}, V_{\text{int}} = 1,20953 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \end{array} \right\}$$

En remplaçant les données dans (III.11), on obtient :

$$\begin{bmatrix} -7.43 & 0.74 & 3.28 & 1.29 & 3.14 & 1.38 \\ -7.20 & 1.07 & 3.21 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\ -7.46 & 1.07 & 0.91 & 0.91 & 3.68 & 1.60 \\ -7.36 & 1.07 & 2.52 & 1.62 & 3.51 & 1.60 \\ -7.09 & 1.07 & 2.92 & 0.80 & 3.58 & 1.60 \\ -7.50 & 0.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -7.22 & 0.74 & 2.59 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -6.97 & 0.30 & 1.46 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\ -6.90 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -6.80 & 0.74 & 1.89 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -7.19 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -6.99 & 0.74 & 1.49 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \\ -7.04 & 0.42 & 0.66 & 0.25 & 2.78 & 0.66 \\ -6.81 & 0.30 & 0.14 & 0.44 & 2.70 & 0.36 \\ -7.24 & 0.25 & 0.25 & 0.03 & 2.80 & 1.06 \\ -6.62 & 0.74 & 0.57 & 0.35 & 3.14 & 1.38 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ e \\ f \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.39 \\ -6.94 \\ -6.77 \\ -6.57 \\ -6.03 \\ -5.45 \\ -5.48 \\ -3.48 \\ -4.25 \\ -3.75 \\ -4.30 \\ -3.75 \\ -2.74 \\ -1.65 \\ -2.98 \\ -2.48 \end{bmatrix}$$

La résolution de ce système est obtenue par la méthode de pseudo inverse :

$$[x = \text{pinv}(a) \times b]$$

Finalement la solution de ce système d'équation nous permis d'obtenir :

$$\begin{cases} x = 0.7272 \\ y = -3.7314 \\ z = -0.5421 \\ e = -0.9629 \\ f = 1.6658 \\ w = -0.4006 \end{cases}$$

Donc on peut écrire l'expression suivante :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \cdot \left[ \begin{matrix} (Re)^{-0.7272} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-3.7314} \cdot \left(\frac{Pe-r}{D_H}\right)^{-0.5421} \\ \left(\frac{Pe-ch}{D_H}\right)^{-0.9629} \cdot \left(\frac{Pe-s}{D_H}\right)^{1.6658} \cdot \left(\frac{Lch}{D_H}\right)^{-0.4006} \end{matrix} \right] \cdot V^2$$

Et par conséquent le coefficient de frottement prend l'expression

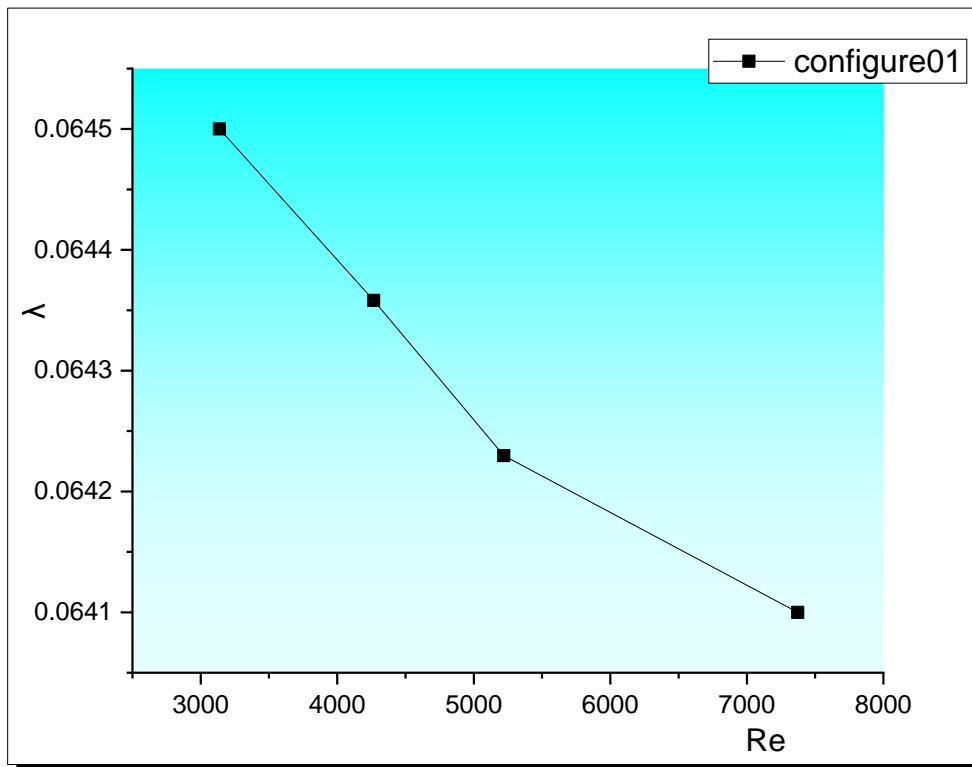
$$f = \lambda = \left( (Re)^{-0.7272} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-3.7314} \cdot \left(\frac{Pe-r}{D_H}\right)^{-0.5421} \cdot \left(\frac{Pe-ch}{D_H}\right)^{-0.9629} \cdot \left(\frac{Pe-s}{D_H}\right)^{1.6658} \cdot \left(\frac{Lch}{D_H}\right)^{-0.4006} \right)$$

Cette expression est valable pour les configurations des chicanes étudiées pour un régime d'écoulement laminaire.



□ **Représentation graphique du coefficient de frottement en fonction du nombre de Reynolds (Pour le rgime laminaire) :**

En utilisant l'équation empirique du coefficient de frottement, nous pouvons représenter graphiquement l'évolution de ce coefficient en fonction du nombre de Reynolds.



*Figure III.3: L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour la configuration 1*

$$L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm}$$

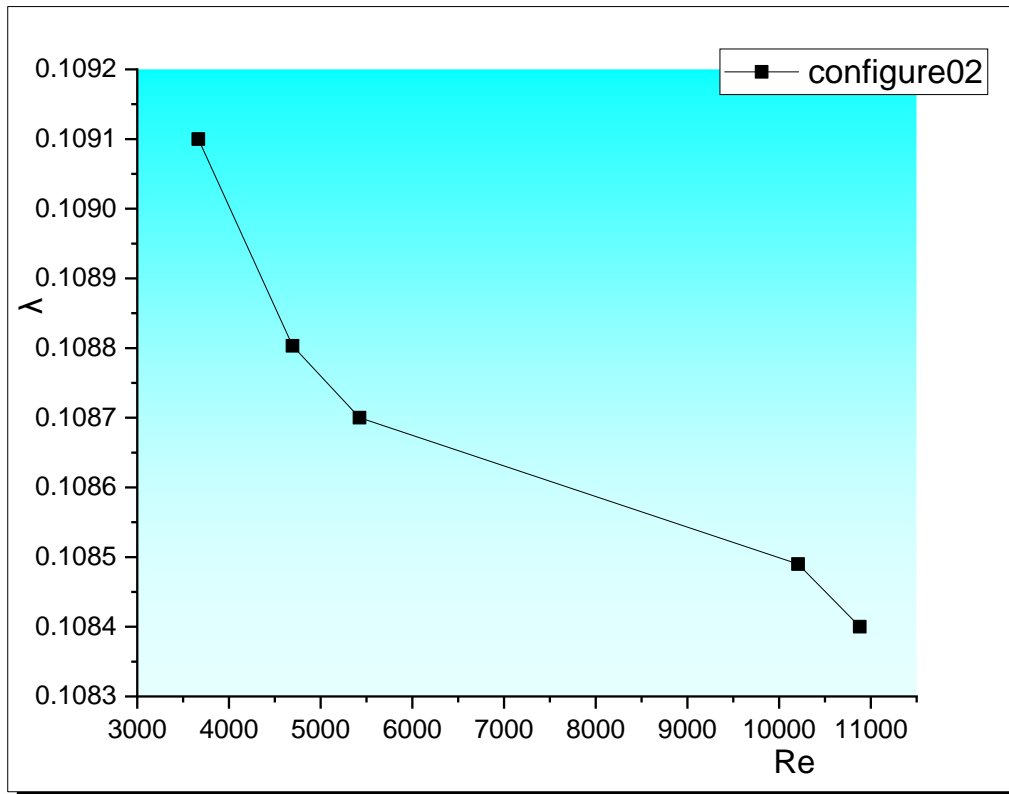


Figure III.4: L'évolution de coefficient de frottement en fonction de nombre de Reynolds pour la configuration 2

$L_{ch} = 4 \text{ cm}$  ,  $\varepsilon = 2.36 \text{ cm}$  ,  $P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}$  ,  $P_{e-r} = 30 \text{ cm}$  ,  $P_{e-s} = 26 \text{ cm}$

**- Etude thermique :**

En suivant les mêmes procédures que celles utilisées dans l'étude dynamique, nous pouvons écrire .

$$h_c = h_c(\rho, D_H, V, \mu, \varepsilon, P_{e-r}, P_{e-s}, P_{e-ch}, L_{ch}, L, l, \lambda, I, C_p, \Delta T, \phi) \quad \text{(III.12)}$$

$h_c$ : Coefficient d'échange par convection [ $w. m^{-2} . k^{-1}$ ].

$l$ : Largeur du capteur solaire [m].

$I$ : Flux solaire reçu par la face supérieur du conduit (capteur solaire solaire plan)[ $w. m^{-2}$ ]

$\lambda$  : Coefficient de conductivité thermique de l'air [ $w. m^{-1}. k^{-1}$ ].

$c_p$ : Chaleur massique de l'air [ $J. kg^{-1} . k^{-1}$ ].

$\Delta T$ : L'écart de température entrée – sortie du fluide [K].

$\phi$ : L'angle inclinée des chicanes.

$A_c = L. l$ : La surface de l'absorbeur [ $m^2$ ].

D'après le théorème de  $\pi$  (de Vashy- Buckingham) on ne peut avoir que 13groupements indépendants. En adoptant l'écriture suivante avec  $A_c = L. l = Conste$ .

On peut écrire alors :

$$\frac{h_c}{A_c} = \rho^a . V^b . (D_H)^c . \mu^d . \varepsilon^e . P_{e-r}^f . P_{e-s}^g . P_{e-ch}^h . L_{ch}^i . \lambda^j . I^K . c_p^m . \Delta T^l. \quad \text{(III. 13)}$$

$$M. T^{-3} . L^{-2} . K^{-1} = \left[ \begin{array}{l} (M. L^{-3})^a . (L. T^{-1})^b . (l)^c . (M. L^{-1} . T^{-1})^d . (L)^e . (L)^f . (L)^g . (L)^h \\ . (L)^i . (M. L. T^{-3} K^{-1})^j . (M. T^{-3})^k . (L^2 . T^{-2} . k^{-1})^m . (k)^l . \end{array} \right] \quad \text{(III. 14)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 = a + d + j + k \\ -2 = -3a + b + c - d + e + f + g + h + i + j + 2m \\ -3 = -b - d - 3j - 3k - 2m \\ -1 = -j - m - l \end{array} \right.$$

$$\begin{cases} a = 1 - d - j - k & (5) \\ c = -2 - d - e - f - g - h - i - j & (6) \\ b = 3 - d - 3j - 3k - 2m & (7) \\ l = -1 + j + m & (8) \end{cases}$$

D'autre part, en remplaçant (5), (6), (7) et (8) dans (III.14) on obtient :

$$\frac{h_c}{A} = \left[ \pi \cdot k \cdot \rho^{1-d-j-k} \cdot V^{3-d-3j-3k-2m} \cdot D_H^{-2-d-e-f-g-h-i-j} \cdot \mu^d \cdot \varepsilon^e \cdot Pe^{-r}{}^f \cdot Pe^{-s}{}^g \cdot Pe^{-ch}{}^h \cdot L_{ch}{}^i \cdot \lambda^j \cdot I^k \cdot C_p^m \cdot \Delta T^{-1+j+m} \right] \quad (III.15)$$

$$\frac{h}{A} = \left[ \left( \frac{\mu}{V \cdot \rho \cdot D_H} \right)^d \cdot \left( \frac{\lambda \cdot \Delta T}{V^3 \cdot \rho \cdot D_H} \right)^j \cdot \left( \frac{I}{V^3 \cdot \rho} \right)^k \cdot \left( \frac{\Delta T \cdot C_p}{V^2} \right)^m \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{Pe^{-r}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{Pe^{-s}}{D_H} \right)^g \cdot \left( \frac{Pe^{-ch}}{D_H} \right)^h \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^i \right] \quad (III.16)$$

$$Nu = \frac{h_c D_H}{\lambda}$$

$$Nu = \left[ \left( \frac{A}{D_H^2} \right) \cdot Re^{1-d} \cdot Br_r \cdot Ec^{-m} \cdot Cl^{-j} \left( \frac{I}{V^3 \cdot \rho} \right)^k \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{Pe^{-r}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{Pe^{-s}}{D_H} \right)^g \cdot \left( \frac{Pe^{-ch}}{D_H} \right)^h \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^i \right]$$

Sachant que :

$$\text{Étant le nombre de Reynolds, } Re = \left( \frac{\rho \cdot D_H \cdot V}{\mu} \right)$$

$$\text{Étant le nombre d'Eckert, } Ec = \left( \frac{V^2}{\Delta T \cdot C_p} \right)$$

$$\text{Étant le nombre de Brink man, } Br_r = \left( \frac{\mu \cdot V^2}{\lambda \cdot \Delta T} \right)$$

A partir de l'équation, on trouve ;

$$\ln \left( \frac{h_c \cdot D_H^2 \cdot \Delta T}{A \cdot \rho \cdot V^3} \right) = \ln \left[ \left( \frac{\mu}{V \cdot \rho \cdot D_H} \right)^d \cdot \left( \frac{\lambda \cdot \Delta T}{V^3 \cdot \rho \cdot D_H} \right)^j \cdot \left( \frac{I}{V^3 \cdot \rho} \right)^k \cdot \left( \frac{\Delta T \cdot C_p}{V^2} \right)^m \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^e \cdot \left( \frac{Pe^{-r}}{D_H} \right)^f \cdot \left( \frac{Pe^{-s}}{D_H} \right)^g \cdot \left( \frac{Pe^{-ch}}{D_H} \right)^h \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^i \right]$$

$$\ln \left( \frac{h_c \cdot D_H^2 \cdot \Delta T}{A \cdot \rho \cdot V^3} \right) = \left[ \begin{array}{l} d \cdot \ln \left( \frac{\mu}{V \cdot \rho \cdot D_H} \right) + J \cdot \ln \left( \frac{\lambda \cdot \Delta T}{V^3 \cdot \rho \cdot D_H} \right) + K \cdot \ln \left( \frac{I}{V^3 \cdot \rho} \right) \\ + m \cdot \ln \left( \frac{\Delta T \cdot C_p}{V^2} \right) + e \cdot \ln \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right) + f \cdot \ln \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right) \\ + g \cdot \ln \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right) + h \cdot \ln \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right) + i \cdot \ln \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right) \end{array} \right] \quad (\text{III.16})'$$

Pour calculer le Coefficient d'échange thermique par convection on a utilisé la corrélation de Dittus-Boelter pour les deux régimes laminaire et turbulent.

$$N_u = 0.023 R_e^{0.08} \cdot P_r^{0.04} \quad (\text{III.17})$$

$$h_c = 3.7311805 V_{int}^{0.8} \cdot D_H^{-0.2} \quad (\text{III.18})$$

### III.5 . Régime turbulent : ( $R_e > 2300$ ).

Pour ce régime, on se fixe le coefficient de conductivité thermique de l'air ( $\lambda$ ), la chaleur massique de l'air ( $C_p$ ), masse volumique du fluide ( $\rho$ ) (l'air dans notre cas) et la Viscosité dynamique de l'air( $\mu$ )

$$C_p = 1004 \text{ [J/kg.k]}$$

$$\lambda = 0.025 \text{ [w/m, k]}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 30 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ , \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 277.1 \text{ K}, V_{int} = 5.033781 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 874 \text{ [w/m}^2\text{]}, h_c = 33.1979 \text{ [w/m}^2\text{ k]} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 277.3 \text{ K}, V_{int} = 8.208144 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 934 \text{ [w/m}^2\text{]}, h_c = 52.4696 \text{ [w/m}^2\text{ k]} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 20 \text{ cm}, P_{e-s} = 32 \text{ cm} \\ , \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 277.2 \text{ K}, V_{int} = 8.13832 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 832 \text{ [w/m}^2\text{]}, h_c = 52.1122 \text{ [w/m}^2\text{ k]} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm}, P_{e-r} = 10 \text{ cm}, P_{e-s} = 27 \text{ cm} \\ , \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 277.9 \text{ K}, V_{int} = 7.913333333 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 830 \text{ [w/m}^2\text{]}, h_c = 50.9565 \text{ [w/m}^2\text{ k]} \end{array} \right\}$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 29 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ, \Delta T = 277.9\text{K}, V_{\text{int}} = 6.982353 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 774[\text{w/m}^2], h_c = 46.1013[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \Lambda, \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 278.8\text{K}, V_{\text{int}} = 4.879625 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 791[\text{w/m}^2], h_c = 32.3821[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 278\text{K}, V_{\text{int}} = 5.591114 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ , I = 630[\text{w/m}^2], h_c = 36.1072[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta P = 280.7\text{K}, V_{\text{int}} = 3.963861 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \\ I = 937[\text{w/m}^2], h_c = 25.1328[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 281.5\text{K}, V_{\text{int}} = 6.355964 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 984[\text{w/m}^2], h_c = 40.0074[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 281.8\text{K}, V_{\text{int}} = 6.095085 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 969[\text{w/m}^2], h_c = 38.6883[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ , \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 284.3\text{K}, V_{\text{int}} = 6.249241 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 1169[\text{w/m}^2], h_c = 39.4691[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 285.7\text{K}, V_{\text{int}} = 4.932987 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 1020[\text{w/m}^2], h_c = 32.6650[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm} \\ , \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 287.5\text{K}, V_{\text{int}} = 4.12603 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \\ I = 853[\text{w/m}^2], h_c = 26.5514[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 286.7\text{K}, V_{\text{int}} = 3.636536 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m} \\ I = 790[\text{w/m}^2], h_c = 23.4523[\text{w/m}^2\text{k}] \end{array} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta T = 287.1 \text{ K}, V_{int} = 4.429016 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \\ I = 837 [\text{w/m}^2] h_c = 28.1001 [\text{w/m}^2 \text{ k}] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ \Delta T = 291.7, V_{int} = 4.802547 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 1046 [\text{w/m}^2] h_c = 31.9722 [\text{w/m}^2 \text{ k}] \end{array} \right\}$$

Pour obtenir la corrélation empirique on a remplacé les données dans l'équations ( III. 16 )' , (III.17) et (III.18)

On obtient le système d'équation suivant .

$$\begin{bmatrix} -8.254 & 1.374 & 1.721 & 9.30 & 0.74 & 3.28 & 3.14 & 1.29 & 1.38 \\ -8.555 & 0.468 & 0.983 & 8.69 & 0.74 & 3.28 & 3.14 & 1.29 & 1.38 \\ -8.410 & 0.240 & 0.321 & 8.32 & 1.07 & 3.21 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -8.626 & -0.409 & -0.278 & 7.89 & 1.07 & 3.21 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -8.401 & 0.260 & 0.231 & 8.34 & 1.07 & 0.91 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -8.609 & -0.358 & -0.337 & 7.92 & 1.07 & 0.91 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -8.373 & 0.352 & 0.312 & 8.40 & 1.07 & 2.52 & 3.51 & 1.62 & 1.60 \\ -8.584 & -0.279 & -0.195 & 7.98 & 1.07 & 2.52 & 3.51 & 1.62 & 1.60 \\ -8.248 & 0.728 & 0.618 & 8.65 & 1.07 & 2.92 & 3.58 & 0.80 & 1.60 \\ -8.504 & -0.040 & -0.097 & 8.13 & 1.07 & 2.92 & 3.5_ & 0.80 & 1.60 \\ -8.222 & 1.473 & 1.715 & 9.37 & 0.74 & 2.59 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -5.544 & 0.508 & 0.759 & 8.72 & 0.74 & 2.5ç & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.359 & 1.065 & 1.079 & 9.10 & 0.74 & 2.59 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.450 & 1.658 & 2.508 & 9.78 & 0.30 & 1.46 & 2.70 & 0.44 & 0.36 \\ -8.487 & 0.684 & 1.140 & 8.84 & 0.74 & 1.89 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.445 & 0.816 & 1.250 & 8.93 & 0.74 & 1.89 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.470 & 0.742 & 1.363 & 8.88 & 0.74 & 1.49 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.258 & 1.436 & 1.912 & 9.36 & 0.74 & 1.49 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -8.401 & 1.653 & 2.269 & 9.72 & 0.42 & 0.66 & 2.78 & 0.25 & 0.66 \\ -8.364 & 1.951 & 2.596 & 9.99 & 0.30 & 0.14 & 2.70 & 0.44 & 0.36 \\ -8.447 & 1.470 & 2.062 & 9.59 & 0.25 & 0.25 & 2.80 & 0.03 & 1.06 \\ -8.207 & 1.566 & 2.042 & 9.44 & 0.74 & 0.57 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d \\ j \\ k \\ m \\ e \\ f \\ g \\ h \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.617 \\ -5.276 \\ -6.291 \\ -6.762 \\ -6.273 \\ -6.725 \\ -6.208 \\ -6.666 \\ -5.933 \\ -6.491 \\ -4.542 \\ -5.244 \\ -4.841 \\ -3.303 \\ -5.119 \\ -5.022 \\ -5.076 \\ -4.571 \\ -3.596 \\ -3.080 \\ -3.722 \\ -4.462 \end{bmatrix}$$

Résolution de ce système est obtenue par la méthode de pseudo inverse :

$$[x = \text{pinv}(a) \times b]$$

Finalement la solution de ce système d'équation nous permis d'obtenir :

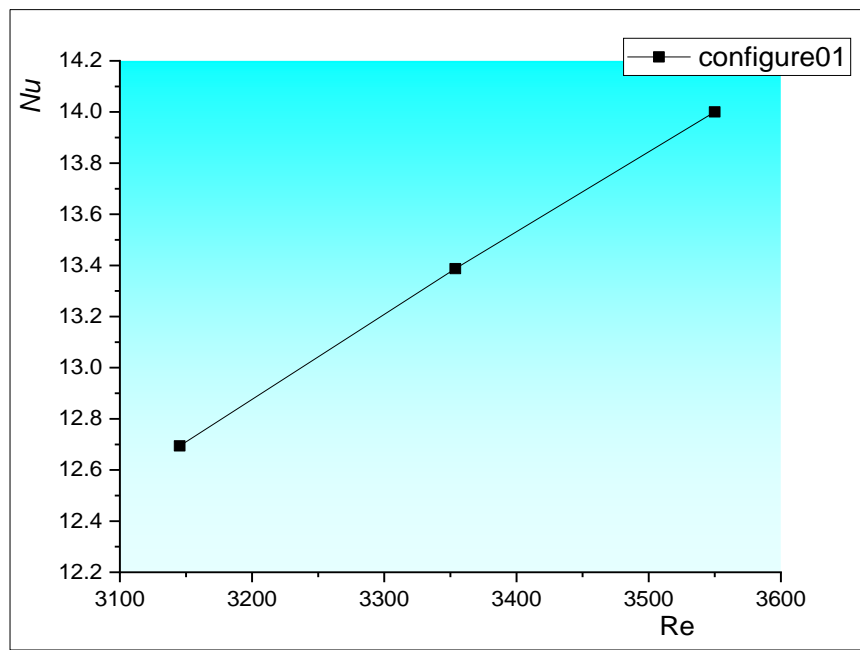
$$\left\{ \begin{array}{l} d = 0.0123 \\ j = 0.7782 \\ k = 0.1519 \\ m = -0.2610 \\ e = -1.1408 \\ f = 0.0097 \\ g = -0.6753 \\ h = -0.0607 \\ i = -0.3259 \end{array} \right.$$

Donc on à obtenir l'expression suivante :

$$Nu = \left[ \begin{array}{c} \left(\frac{A}{D_H^2}\right) \cdot Re^{1-0.0123} \cdot B_r \cdot E_c^{-0.2610} \cdot C_l^{-0.7782} \left(\frac{I}{V^3 \cdot \rho}\right)^{0.1519} \\ \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-1.1408} \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{0.0097} \cdot \left(\frac{P_{e-s}}{D_H}\right)^{-0.6753} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-0.0607} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.3259} \end{array} \right] \quad \text{(III. 19)}$$

□ **Représentation graphique du Nu ( Re ) :**

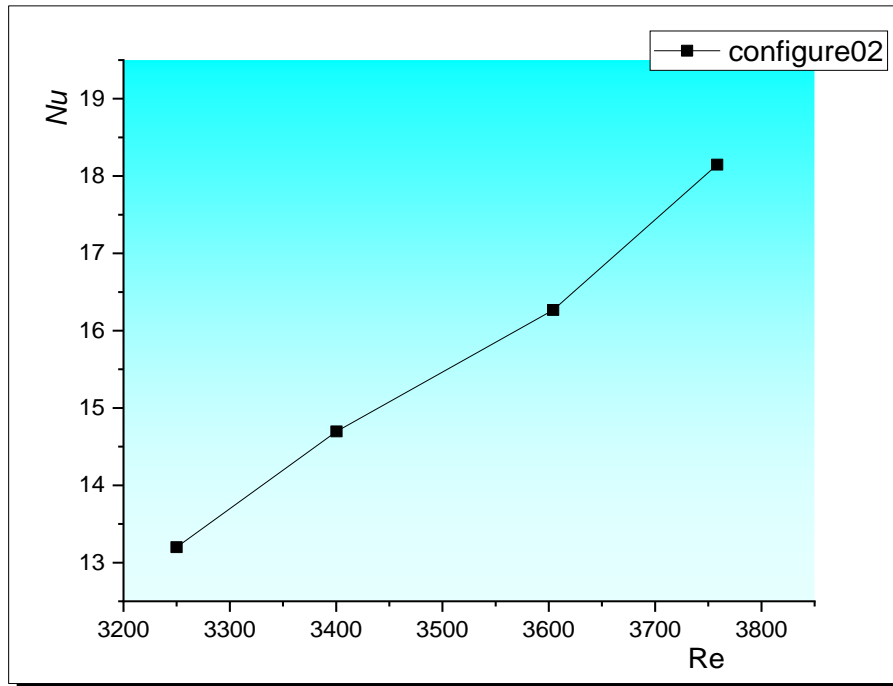
En utilisant l'équation (III.19), nous pouvons représenter graphiquement l'évolution de Nu en fonction de Re.



**Figure. III.5.** Evolution de Nusselt en fonction de Reynolds définie par : régime turbulent

$$L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm}$$





**Figure III.6.** Evolution de Nusselt en fonction de Reynolds définie par : régime turbulent

$$L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm}$$

**III.6. Régime laminaire  $Re < 2300$  :**

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 30 \text{ cm} , P_{e-s} = 26 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta T = 276.6 \text{ K} , V_{int} = 2,709585 \text{ m/s} , D_H = 0.0112188 \text{ m} , \\ I = 1059 [\text{w/m}^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 2 \text{ cm} , P_{e-r} = 20 \text{ cm} , P_{e-s} = 32 \text{ cm} , \\ \alpha^\circ = 60^\circ , \Delta T = 277 , V_{int} = 3,017928 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 784 [\text{w/m}^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 2 \text{ cm} , P_{e-r} = 20 \text{ cm} , P_{e-s} = 32 \text{ cm} , \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta T = 276.6 \text{ K} , V_{int} = 3,910118 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} , \\ I = 691 [\text{w/m}^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm} , \varepsilon = 2.36 \text{ cm} , P_{e-ch} = 4.1 \text{ cm} , P_{e-r} = 10 \text{ cm} , P_{e-s} = 27 \text{ cm} , \\ \alpha^\circ = 120^\circ , \Delta T = 277.5 , V_{int} = 3,54548366 \text{ m/s} , D_H = 0.0080420 \text{ m} \\ I = 695 [\text{w/m}^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.8 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 29 \text{ cm} \\ \alpha^\circ = 120^\circ, 60^\circ, \Delta T = 277.3\text{K}, V_{\text{int}} = 2,699843 \text{ m/s}, D_H = 0.0080420 \text{ m}, \\ I = 597[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \Lambda, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 278.8\text{K}, V_{\text{int}} = 2,923032 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 630[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 15 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 277\text{K}, V_{\text{int}} = 2,193756 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 455[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 280.3\text{K}, V_{\text{int}} = 1,107867 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m}, \\ I = 653[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 280.4\text{K}, V_{\text{int}} = 1,606778 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 909[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 7.5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 281.3\text{K}, V_{\text{int}} = 1,446693 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 6734[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 60^\circ, \Delta T = 282.6\text{K}, V_{\text{int}} = 2,128536 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 571[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 5 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 284\text{K}, V_{\text{int}} = 1,749076 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m}, \\ I = 488[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 3 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2 \text{ cm}, P_{e-r} = 3 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 287\text{K}, V_{\text{int}} = 1,340303 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m}, \\ I = 541[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 2.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 2.7 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 282.8\text{K}, V_{\text{int}} = 0,942406 \text{ m/s}, D_H = 0.0173455 \text{ m}, \\ I = 412[w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_s = P_{e-s} \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 150^\circ, \Delta T = 284 \text{ K}, V_{\text{int}} = 1,636424 \text{ m/s}, D_H = 0.0154744 \text{ m} \\ I = 496 [w/m^2] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{ch} = 4.5 \text{ cm}, \varepsilon = 2.36 \text{ cm}, P_{e-ch} = 1.6 \text{ cm}, P_{e-r} = 2 \text{ cm}, P_{e-s} = 26 \text{ cm}, \\ \alpha^\circ = 120^\circ, \Delta T = 286.8 \text{ K}, V_{\text{int}} = 1,20953 \text{ m/s}, D_H = 0.0112188 \text{ m} \\ I = 606 [w/m^2] \end{array} \right\}$$

Remplaçant les données dans l'équations ( III. 16 )' , ( III.17) et ( III.18 ) on obtient .

$$\begin{bmatrix} -7.63 & 3.23 & 3.77 & 10.54 & 0.74 & 3.28 & 3.14 & 1.29 & 1.38 \\ -7.40 & 3.24 & 3.14 & 10.32 & 1.07 & 3.21 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -7.66 & 2.46 & 2.24 & 9.80 & 1.07 & 0.91 & 3.68 & 0.91 & 1.60 \\ -7.57 & 2.76 & 2.54 & 10.00 & 1.07 & 2.52 & 3.51 & 1.62 & 1.60 \\ -7.29 & 3.57 & 3.20 & 10.55 & 1.07 & 2.92 & 3.58 & 0.80 & 1.60 \\ -7.71 & 3.01 & 3.02 & 10.39 & 0.74 & 2.59 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.42 & 3.86 & 3.56 & 10.96 & 0.74 & 2.59 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.17 & 5.49 & 5.97 & 12.34 & 0.30 & 1.46 & 2.70 & 0.44 & 0.36 \\ -7.11 & 4.81 & 3.18 & 11.59 & 0.74 & 1.89 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.00 & 5.12 & 3.28 & 11.81 & 0.74 & 1.89 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.39 & 3.97 & 3.86 & 11.04 & 0.74 & 1.49 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.27 & 4.54 & 4.28 & 11.44 & 0.74 & 1.49 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \\ -7.22 & 5.03 & 5.18 & 11.98 & 0.42 & 0.66 & 2.78 & 0.25 & 0.66 \\ -7.01 & 5.98 & 5.99 & 12.67 & 0.30 & 0.14 & 2.70 & 0.44 & 0.36 \\ -7.45 & 4.44 & 4.52 & 11.57 & 0.25 & 0.25 & 2.80 & 0.03 & 1.06 \\ -6.82 & 5.68 & 5.63 & 12.19 & 0.74 & 0.57 & 3.14 & 0.35 & 1.38 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d \\ j \\ k \\ m \\ e \\ f \\ g \\ h \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.25 \\ -4.08 \\ -4.65 \\ -4.63 \\ -3.83 \\ -3.41 \\ -2.78 \\ -0.48 \\ -2.08 \\ -1.85 \\ -2.69 \\ -2.28 \\ -1.11 \\ -0.12 \\ -1.53 \\ -1.44 \end{bmatrix}$$

Résolution La de ce système est obtenue par la méthode de pseudo inverse :

$$[x = \text{pinv}(a) \times b]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} d = 0.0041 \\ j = 0.8853 \\ k = 0.0290 \\ m = -0.2439 \\ e = -1.1030 \\ f = 0.0266 \\ g = -0.7234 \\ h = -0.1965 \\ i = -0.3550 \end{array} \right.$$

Donc on à obtenir l'expression suivante :

$$N_u = \left[ \left( \frac{A}{D_H^2} \right) \cdot R_e^{0.9959} \cdot B_r \cdot E_c^{0.8853} \cdot C_l^{0.0290} \left( \frac{I}{V^3 \cdot \rho} \right)^{-0.2439} \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^{-1.1030} \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^{0.0266} \cdot \left( \frac{P_{e-s}}{D_H} \right)^{-0.7234} \cdot \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^{-0.1965} \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^{-0.3550} \right]$$

### III.7. Discussions et interprétations des résultats :

- 1- L'observation des courbes illustrant l'évolution de la différence de pression en fonction de la vitesse ou du débit révèle une tendance significative : à mesure que le débit s'accroît, la perte de pression augmente de manière notable, surtout lorsque le pas entre les chicane diminue. Cette observation suggère que des configurations où les chicane sont plus rapprochées entraînent des pertes de pression plus importantes à mesure que le fluide s'écoule à travers le dispositif. Cette corrélation entre la diminution du pas entre les chicane et l'augmentation des pertes de pression peut être attribuée à une plus grande résistance à l'écoulement, générée par les interactions accrues entre le fluide et les surfaces des chicane . Par conséquent, lors de la conception de systèmes où la réduction des pertes de pression est un objectif, il est crucial de prendre en considération l'espacement optimal entre les chicane pour minimiser les résistances à l'écoulement tout en maintenant l'efficacité du dispositif ( capteur solaire solaire à air ) .
- 2- L'analyse des courbes représentant l'évolution de la température à l'entrée et à la sortie du capteur solaire solaire en fonction du temps révèle une tendance intéressante : la température augmente progressivement avec le temps jusqu'à atteindre un pic, puis elle diminue progressivement. De plus, on observe que la température est sensiblement plus élevée lorsque le pas entre les chicane est réduit.

Cette observation suggère que la réduction du pas entre les chicane favorise une augmentation plus rapide de la température à l'intérieur du capteur solaire solaire. En réduisant l'espacement entre les chicane , on augmente la surface d'interaction entre le fluide et les parois du capteur solaire solaire, favorisant ainsi un transfert de chaleur plus efficace. Cependant, cette amélioration du transfert de chaleur s'accompagne également d'une augmentation des pertes de pression, comme discuté précédemment.

Par conséquent, lors de la conception d'un capteur solaire solaire, il est crucial de trouver un compromis entre l'espacement entre les chicanes pour favoriser un transfert de chaleur efficace et la minimisation des pertes de pression pour assurer un fonctionnement optimal du système dans son ensemble. Une étude plus approfondie sur les différentes configurations d'espacement des chicanes peut être nécessaire pour déterminer la meilleure solution en fonction des objectifs spécifiques du système de chauffage solaire.

- 3- L'analyse des courbes relatives à l'évolution du rendement en fonction du débit volumétrique révèle une observation intéressante : le rendement du capteur solaire est optimal lorsque le pas entre les chicanes est réduit.

Cette observation suggère que la diminution de l'espacement entre les chicanes favorise une augmentation du rendement du capteur solaire solaire. En réduisant le pas entre les chicanes, on augmente la surface de contact entre le fluide et les parois du capteur solaire solaire, ce qui permet une meilleure transmission de chaleur. Cette configuration réduit également les pertes thermiques à travers le système, ce qui contribue à améliorer l'efficacité globale du capteur solaire.

Cependant, il est important de noter que la réduction du pas entre les chicanes peut également entraîner une augmentation des pertes de pression, comme discuté précédemment. Par conséquent, lors de la conception du système, il est essentiel de trouver un compromis entre l'optimisation du rendement thermique et la minimisation des pertes de pression pour assurer un fonctionnement efficace et économique du capteur solaire solaire. Une étude approfondie des différentes configurations d'espacement entre les chicanes et de leur impact sur le rendement et les pertes de pression est nécessaire pour déterminer la meilleure solution en fonction des besoins spécifiques du système de chauffage.

- 4- L'analyse des courbes représentant l'évolution du coefficient de frottement et du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds confirme les observations précédentes : à mesure que le nombre de Reynolds augmente, le coefficient de frottement augmente également, entraînant une augmentation du nombre de Nusselt. Cette tendance est particulièrement notable lorsque le pas entre les chicanes est réduit.

Ces observations soulignent l'importance de l'espacement entre les chicanes dans le contexte de l'échange de chaleur et des propriétés d'écoulement du fluide. Une réduction du pas entre les chicanes favorise une augmentation des interactions entre le fluide et les parois

du conduit, ce qui entraîne une augmentation du coefficient de frottement et, par conséquent, une amélioration du transfert de chaleur, comme indiqué par l'augmentation du nombre de Nusselt.

Cependant, il est essentiel de noter que la réduction du pas entre les chicane peut également entraîner une augmentation des pertes de pression, ce qui peut avoir un impact sur l'efficacité globale du système. Par conséquent, lors de la conception et de l'optimisation des systèmes impliquant des chicanes, il est nécessaire de trouver un équilibre entre l'amélioration du transfert de chaleur et la minimisation des pertes de pression pour assurer un fonctionnement efficace et économique du système. Une analyse approfondie des différentes configurations d'espacement entre les chicanes est nécessaire pour déterminer la meilleure solution en fonction des objectifs spécifiques du système de transfert de chaleur.

### **Conclusion :**

Dans ce dernier chapitre, nous avons abordé le développement d'équations relatives au comportement des systèmes étudiés. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode d'analyse dimensionnelle, également connue sous le nom de méthode de Vaschy-Buckingham. Cette approche nous a permis d'établir des relations empiriques entre différentes variables pertinentes, telles que les pertes de pression, les coefficients de frottement, et les nombres de Nusselt, en fonction de paramètres clés tels que les caractéristiques géométriques des surfaces de transfert de chaleur et les propriétés physiques des fluides..

# *Conclusion générale*

### *Conclusion générale*

Cette étude constitue une exploration expérimentale d'un capteur solaire solaire plan à air, examinant l'impact des chicane sur le transfert de chaleur. Nous avons d'abord procédé à une analyse approfondie des études les plus récentes disponibles dans la littérature, se concentrant sur les aspects thermiques et dynamiques, notamment les modifications géométriques apportées aux capteur solaires solaires plans à air. Ces recherches révèlent l'introduction de chicane au sein du conduit d'air du capteur solaire solaire à air dans le but d'améliorer ses performances thermiques et d'accroître le transfert de chaleur par convection.

Afin d'accomplir cette tâche, nous avons effectué des ajustements et élaboré un modèle de chicane disposées en série, dotées de dimensions spécifiques en forme de V et  $\Lambda$ . Ces modifications ont été conçues dans le but d'optimiser le transfert de chaleur par convection. Dans le hall technologique du département de génie mécanique, nous avons mené une série d'expériences, générant ainsi une grande quantité de données sous forme de tableaux et de courbes. L'analyse des courbes graphiques, qui illustrent la performance du capteur solaire en relation avec le débit volumique, révèle que la réduction de la distance entre les chicane et entre les rangées entraîne une augmentation de l'efficacité. Cette constatation indique une amélioration significative des performances du capteur solaire solaire à air. En outre, ces résultats ont été corroborés par les courbes illustrant la variation de la pression en fonction de la vitesse, ainsi que par celles représentant la fluctuation du nombre de Nusselt par rapport au nombre de Reynolds.

Afin d'établir un lien entre les caractéristiques géométriques et thermo physiques des chicane, qui influent sur le système d'écoulement, et les propriétés physiques du fluide caloporteur, nous avons employé la méthode d'analyse dimensionnelle, connue sous le nom de méthode de Vashy-Buckingham. Cette approche, largement utilisée en mécanique des fluides, permet de relier tous les paramètres physiques et géométriques à travers une relation empirique globale.



*Références*  
*Bibliographiques*

*Références bibliographiques*

- [1] **B. N. Prasad, J. S. Saini, (1988)**. effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in a solar air heater, *Solar Energy*., Vol.41. pp. 555 -560.
- [2] **Sahu, M.M. et Bhagoria, J.L.(2005)**. Augmentation of heat transfer coefficient by using 90° broken transverse ribs on absorber plate of solar air heater. *Renewable Energy*, 30(13), 2057–2073.
- [3] **D. Cavallero et G. Tanda, (2002)**. An experimental investigation of forced convection heat transfer in channels with rib turbulators by means of liquid crystal thermography, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol.26, N°2- 4, pp.115-121.
- [4] **Gupta, D. Solanki. S.C. et Saini, J.S. (1997)**. Thermohydraulic performance of solar air heaters with roughened absorber plates. *Solar Energy*, 61(1), 33–42.
- [5] **Ebrahim Momin, A.M., Saini, J. et Solanki, S. (2002)**. Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(16), 3383– 3396.
- [6] **Kumar, Dhananjay et Prasad, Laljee. (2018)**. Thermo-hydraulic performance of solar air heater having multiple v-shaped rib roughness on absorber plates. *Carbon: Science and Technology*, vol. 10, no 1, p. 39-50.
- [7] **Patil, A.K., Saini, J.S., et Kumar, K. (2012)**. Heat transfer and friction characteristics of solar air heater duct roughened by broken V-shape ribs combined with staggered rib piece. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(1), 013115.
- [8] **Muluwork KB**. Investigations on fluid flow and heat transfer in roughened absorber solar heaters. Ph.D. Dissertation 2000; IIT, Roorkee-247667, India
- [9] **Maithani R., Saini J.S. (2015)**. Heat transfer and friction correlations for a solar air heater duct roughened artificially with V-ribs with symmetrical gaps. *Exp Therm Fluid Sci*; 70:220–7.

[10] **Deo N.S., Chander S. Saini J.S.** Performance analysis of solar air heater duct roughened with multigap V-down ribs combined with staggered ribs. *Renew Energy* 2016;91: 484–500.

[11] **S.V. Karmare, A.N. Tikekar. (2007)**, Heat transfer and friction factor correlation for artificially roughened duct with metal grit ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 4342–4351.

[12] **Varun, Saini, R. P., & Singal, S. K. (2008)**. Investigation of thermal performance of solar air heater having roughness elements as a combination of inclined and transverse ribs on the absorber plate. *Renewable Energy*, 33(6), 1398–1405.

[13] **Saini SK, Saini RP. (2008)**. Development of correlations for Nusselt number and friction factor for solar air heater with roughened duct having arc-shaped wire as artificial roughness. *Sol Energy* ; 82 :1118330.

[14]: **Karwa R, Solanki SC, Saini JS. (1999)** Heat transfer coefficient and friction factor correlations for the transitional flow regime in rib-roughened rectangular ducts. *Int J Heat Mass Transfer*; 42:1597–615.

[15] **R.Karwa, (2003)**. Experimental studies of augmented heat transfer and friction in asymmetrically heated rectangular ducts with ribs on the heated wall in transverse, inclined, v-continuous and v-discrete pattern, *Heat and Mass Transfer*. Vol.30, N°2, pp.241-250.

[16] **Bhagoria JL, Saini JS, Solanki SC. (2002)**. Heat transfer coefficient and friction factor correlations for rectangular solar air heater duct having transverse wedge shaped rib roughness on the absorber plate. *Renew Energy*; 25:341369.

[17] **Jaurker AR, Saini JS, Gandhi BK. (2006)**. Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness. *Sol Energy* ;80(8) :8953907.

[18] **Saini RP, Saini JS. (1997)**. Heat transfer and friction factor correlations for artificially roughened ducts with expended metal mesh as roughness element. *Int J Heat Mass Transfer* :40(4) :973386.

[19] **N. Chouchane. (2012)**. “Etude global et locale de l'influence de la géométrie sur les pertes de charge occasionnées par des obstacles métalliques de formes diverses dans un conduit

### *Références bibliographiques*

---

rectangulaire, Cas d'un fluide incompressible”. Thèse de doctorat, Université de Biskra, Algérie.

## المخلص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة ديناميكية وحرارية على تأثير الحواجز في لاقط شمسي هوائي مسطح بهدف إيجاد نماذج رقمية تربط بين فرق الضغط ، معامل انتقال الحرارة بالحمل وعدد نسلت اللابعدى بالخصائص الفيزيائية للمائع والمتمثل في الهواء والخصائص الهندسية للخشونة الاصطناعية ذات الأشكال المختلفة والمعروفة بالحواجز (التموضعة على شكل حرف V و  $\Lambda$ ) حيث تم إجراء العشرات من التجارب لوضعيات عدة للحواجز ولمختلف أنواع التدفقات ، وباستعمال طريقة تحليل الأبعاد ( طريقة **Vashy-Bukingham** ) تمكنا من إيجاد نماذج رقمية تربط بين فرق الضغط ، معامل انتقال الحرارة بالحمل وعدد نسلت اللابعدى بالأبعاد الهندسية للحواجز والفيزيائية ومختلف التموضعات للمائع

**الكلمات المفتاحية:** لاقط شمسي، ديناميكية، حرارية. معامل انتقال الحرارة. الحواجز، الخشونة الاصطناعية

## Résumé

L'objectif de cette recherche est d'explorer de manière dynamique et thermique l'influence des chicanes dans un capteur solaire solaire plan à air. Nous cherchons à établir des modèles numériques reliant plusieurs aspects clés, tels que la différence de pression, le coefficient de transfert thermique par convection et le nombre de Nusselt, aux propriétés physiques du fluide (représenté par l'air) et aux caractéristiques géométriques des rugosités artificielles, appelées chicanes, disposées selon des formes variées, telles que V et  $\Lambda$ .

Pour parvenir à nos objectifs, nous avons entrepris de nombreuses expériences, variant les positions et configurations des chicanes, ainsi que les conditions d'écoulement. Grâce à l'analyse dimensionnelle, en particulier la méthode de Vashy-Bukingham, nous avons élaboré des modèles numériques qui établissent des corrélations entre la différence de pression, le coefficient de transfert thermique par convection et le nombre de Nusselt adimensionnel, en tenant compte des caractéristiques géométriques des chicanes, des propriétés physiques du fluide et des différents régimes d'écoulement.

**Mots clés :** Capteur solaire solaire plan à air, dynamique, thermique, coefficient de transfert de chaleur, les chicanes, Nusselt.

## Abstract

The aim of this research is to explore dynamically and thermally the influence of baffles in a planar air solar collector. We seek to establish numerical models relating several key aspects, such as pressure difference, convective heat transfer coefficient and Nusselt number, to the physical properties of the fluid (represented by air) and to the geometric characteristics of artificial roughness's, called baffles, arranged in various shapes, such as V and  $\Lambda$ .

To achieve our objectives, we undertook numerous experiments, varying the positions and configurations of the baffles, as well as the flow conditions. Using dimensional analysis, in particular the Vashy-Bukingham method, we have developed numerical models that establish correlations between the pressure difference, the convective heat transfer coefficient and the dimensionless Nusselt number, taking into account the geometric characteristics of the baffles, the physical properties of the fluid and the different flow regimes.

**Keywords :** Air solar collector, dynamic, thermal, heat transfer coefficient, baffles, nombre de Nusselt.