

V-1- Introduction

Dans ce chapitre, on essayera d'utiliser les potentialités du logiciel Fluent, connu par sa puissance dans la simulation en mécanique des fluides. Le recours au logiciel Fluent, est pour de multiples raisons, particulièrement la possibilité de visualiser le contour des lignes de courants, de température et de la dépression entre l'amont et l'aval du conduit occupé par des obstacles de géométrie et de formes diverses, et de voir l'effet des paramètres considérés dans les précédents chapitres, à noter la longueur des chicane, le pas entre deux chicanes, le pas entre deux rangées, d'autre part, les modules intégrés dans le logiciel Fluent, permettent de visualiser par des illustrations graphiques l'effet de ses paramètres sur les performances thermique du capteur solaire.

Dans la présente étude, on considère la simulation numérique du transfert thermique par convection forcée tridimensionnelle, dans une veine rectangulaire horizontale muni des chicanes (particulièrement dans les capteurs solaire plan), traversée par l'air, dont la vitesse varie suivant le régime d'écoulement soit laminaire ou turbulent.

La simulation numérique des paramètres, a été réalisée en utilisant le code puissant de la dynamique des fluides offerte par Fluent. Ce programme est basé sur le travail décrit par Patankar [18].

La définition de la géométrie et la génération du maillage ont été réalisées à l'aide du code générateur de mailles Gambit [19].

V-2- Modélisation mathématique :

Les principes physiques qui régissent ce problème, sont modélisés par les équations de conservation de la masse, des quantités de mouvements et de l'énergie.

Les équations représentant l'écoulement d'un fluide newtonien compressible sont données par les équations suivantes :

- **Equation de continuité :**

Cette équation exprimant la conservation de la masse est donnée comme suit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (\text{V-1a})$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div}(\mathbf{u}) \quad (\text{V-1b})$$

- **Equations de transport de quantité de mouvement :**

Suivant l'axe x- le mouvement des particules fluides est régit par

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \quad (\text{V-2})$$

y- mouvement,

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (\text{V-3})$$

z- mouvement,

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz} \quad (\text{V-4})$$

Avec :

$$S_{Mx} = -\rho g, S_{My} = 0, S_{Mz} = 0,$$

Une équation de type « Poisson » pour la correction de la pression, dérivée de l'équation de continuité et les équations de quantité de mouvement linéarisées, sera résolue pour obtenir les corrections des champs de pression et de vitesse nécessaires pour satisfaire la condition de continuité.

- **Equation de conservation de l'énergie :**

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \mathbf{u}) = -p \text{div} \mathbf{u} + \text{div}(\lambda \text{grad} T) + \Phi + S_i \quad (\text{V-5})$$

Sachant que, $\text{div} \mathbf{u} = \mathbf{0}$ pour un fluide incompressible. S_i , s'annule dans notre cas, puisqu'on est concerné par une seule phase sans réaction chimique et sans transfert radiatif. L'équation générale de transport s'écrit de la manière suivante :

$$\frac{\partial(\rho \Phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \Phi \mathbf{u}) = \text{div}(\lambda \text{grad} \Phi) + S_\Phi \quad (\text{V-6})$$

On utilise la méthode des volumes finis pour la résolution numérique de ces équations. Les détails de l'application de cette méthode numérique sont expliqués dans l'ouvrage de **Patankar** [18].

La forme intégrée de l'équation (V-5) à l'état stationnaire, en utilisant le développement de Taylor est donnée par l'équation (V-6).

$$\int_A \mathbf{n} \cdot (\rho \Phi \mathbf{u}) dA = \int_A \mathbf{n} \cdot (\lambda \text{grad} \Phi) dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (\text{V-7})$$

La méthode des volumes finis, est basée sur l'algorithme SIMPLE [21], est utilisée pour résoudre le système (V-1b), (V-2), (V-3), (V-4), (V-5), & (V-7) muni des conditions aux limites ci-dessous :

1. A l'entrée : velocity_inlet
2. A la sortie : pressure_outlet (101380Pas)
3. Au niveau des autres parois : wall

V-3- Définition du problème :

On considère une veine rectangulaire de longueur 140 cm et de 88 cm de largeur. Les chicanes sont de forme rectangulaire avec une partie supérieure inclinée, dont l'incidence est de 60° , la partie encastrée orthogonalement sur le plan d'écoulement est d'une hauteur de 1 cm, par contre la partie inclinée est de 1.5 cm, comme il est indiqué dans Fig. (V-1)

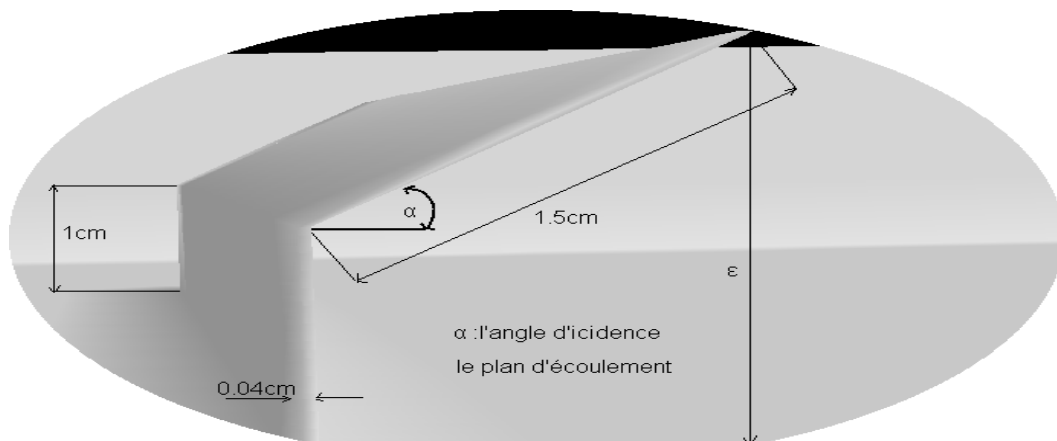
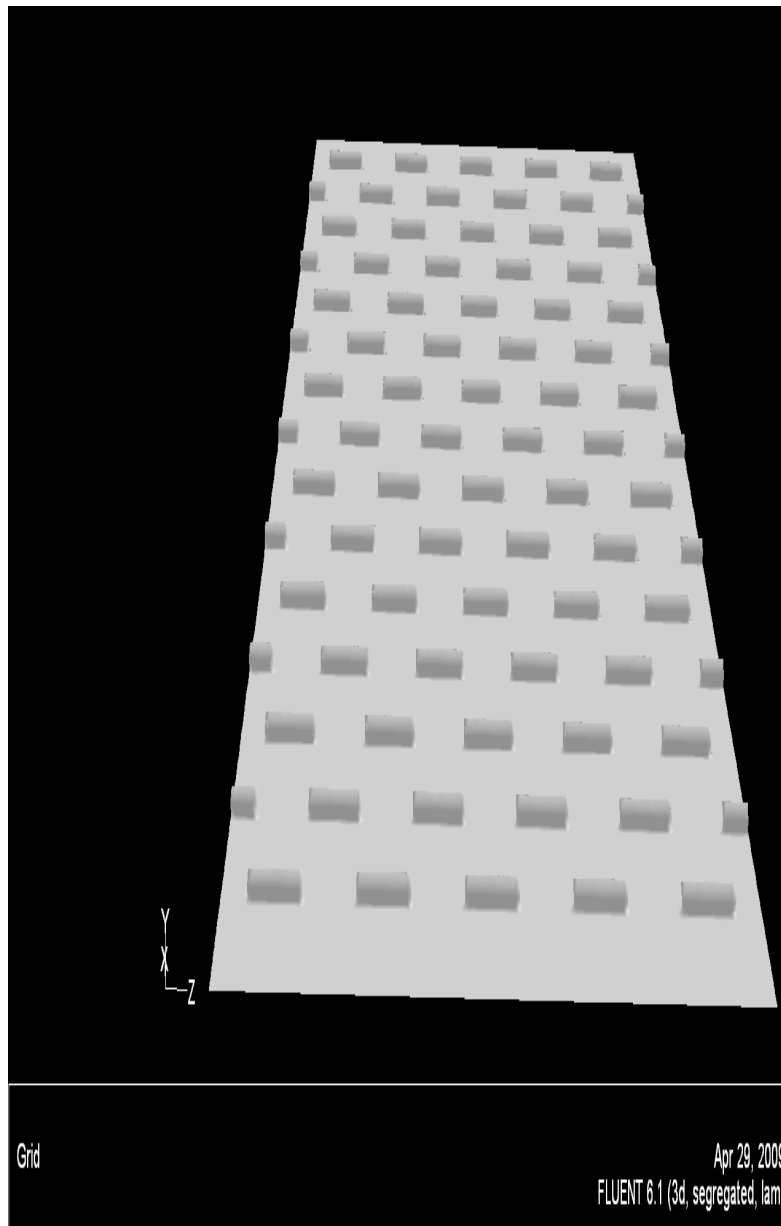


Fig. (V-1) présentation d'une chicane en3D



Les chicanes sont insérées orthogonalement sur le plan d'écoulement inférieur du canal, disposées en plusieurs rangées, et en quinconce **Fig. (V-2)**

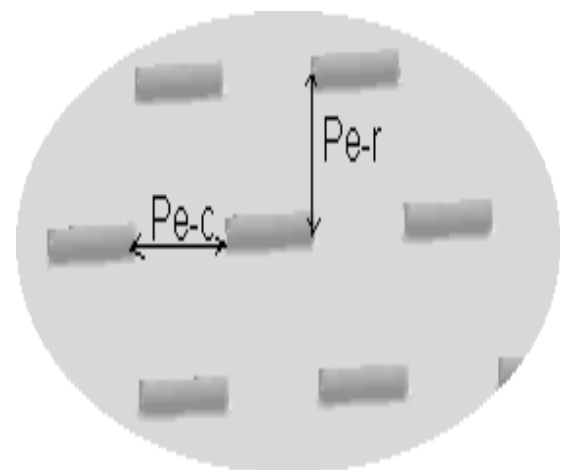


Fig. (V-2) Présentation du plan d'écoulement muni de plusieurs rangées de chicanes disposées en quinconce.

	L_{ch}	P_{e-c}	P_{e-r}	<i>L'espacement (maillage)</i>	<i>Type de maillage</i>	<i>Nombre de mailles</i>
Cas1	7 cm	4 cm	10 cm	0.8 cm	Tétraédrique	465252
Cas2	7cm	4cm	20cm	0.6 cm	Tétraédrique	1162694

La disposition des chicanes est conçue pour de multiples raisons :

Les parties inclinées des chicanes forment des rétrécissements et des élargissements brusques vis-à-vis du plan supérieur à l'écoulement, contribuent à la création des tourbillons à :

- Axes verticaux par rapport au plan d'écoulement **Fig. (V-3)**



Fig. (V-3) Tourbillons à Axes verticaux

- Axes horizontaux par rapport au plan d'écoulement **Fig. (V-4)**

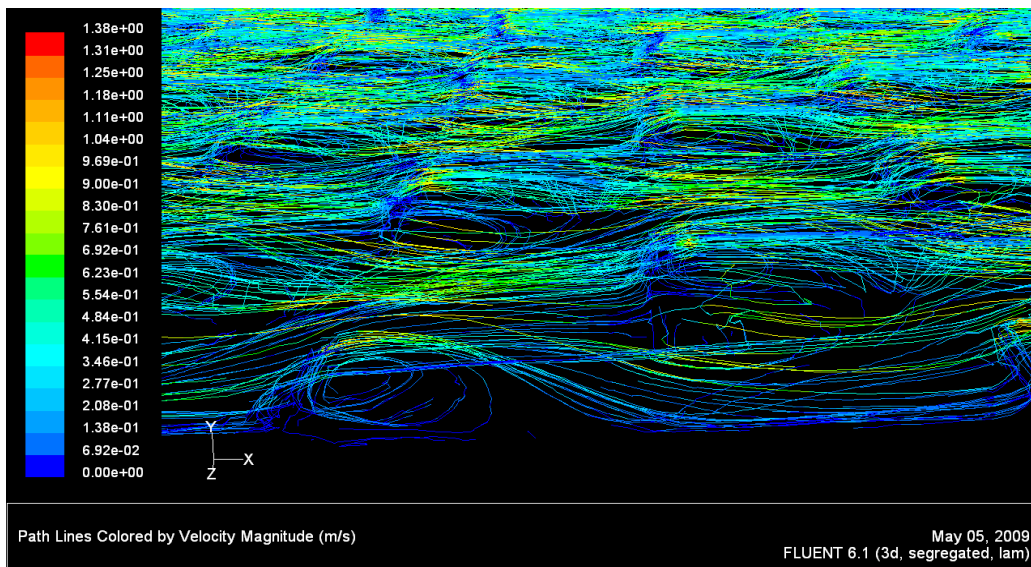


Fig. (V-4) Tourbillons à Axes horizontaux (lignes de courant)

La disposition en quinconce des chicanes, est dans la création des tourbillons à axe horizontaux et verticaux en vue d'optimiser les performances thermiques des capteurs solaires plans à air en particulier.

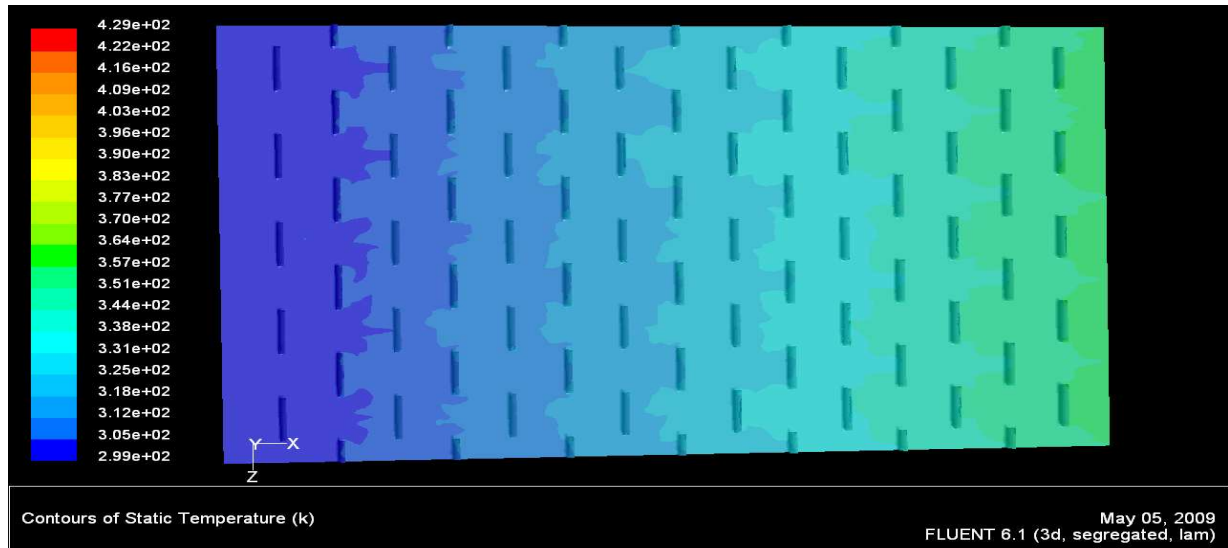


Fig. (V-5) contour de la température

La Fig. (V-5) présente les champs de température le long du plan d'écoulement, Les caractéristiques 3D sont clairement visibles sur les champs de température, en effet la température augmente sensiblement lorsque les particules fluides se trouvent juste à proximité immédiate des limites des chicanes.

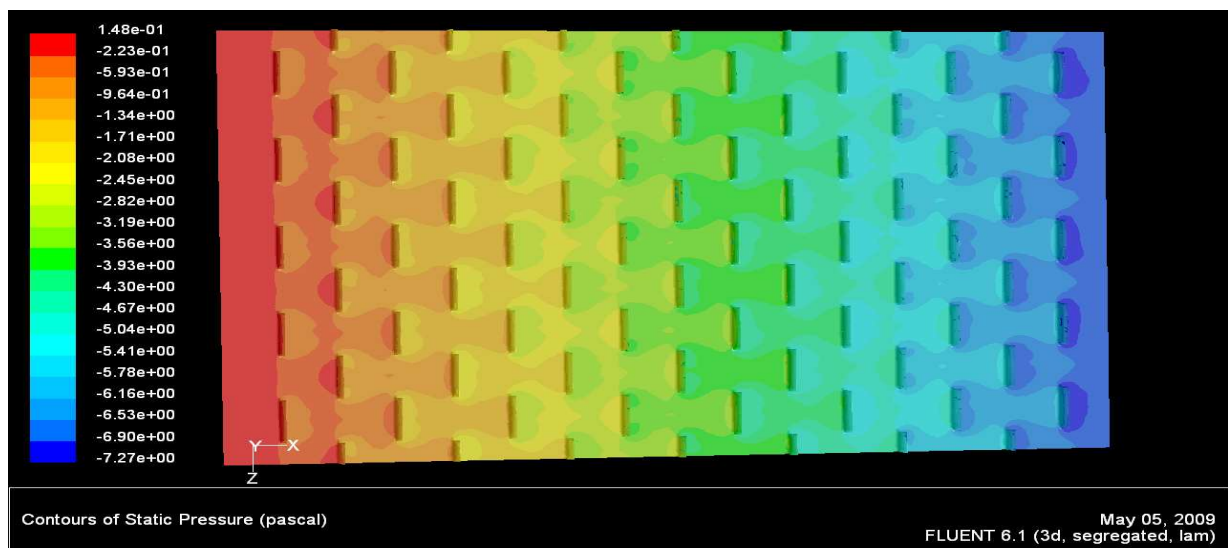


Fig. (V-6) contour de la pression

D'autre part la **Fig. (V-6)** montre présente les champs de pression le long du plan d'écoulement, la pression diminue, ce qui implique qu'il y a une perte de charge entre l'entrée et la sortie du conduit utile. Cette perte de charge est induite par les obstacles interposés devant le passage du fluide (chicanes).

Pour une étude spécifique, il faut créer un plan au sein de notre domaine d'écoulement, à savoir que le plan de base considéré avait les coordonnées spatiales suivantes :

X[m]	0	1.4	1.4	0
Y[m]	0	0	0.025	0.025
Z[m]	0.5	0.44	0.44	0.44

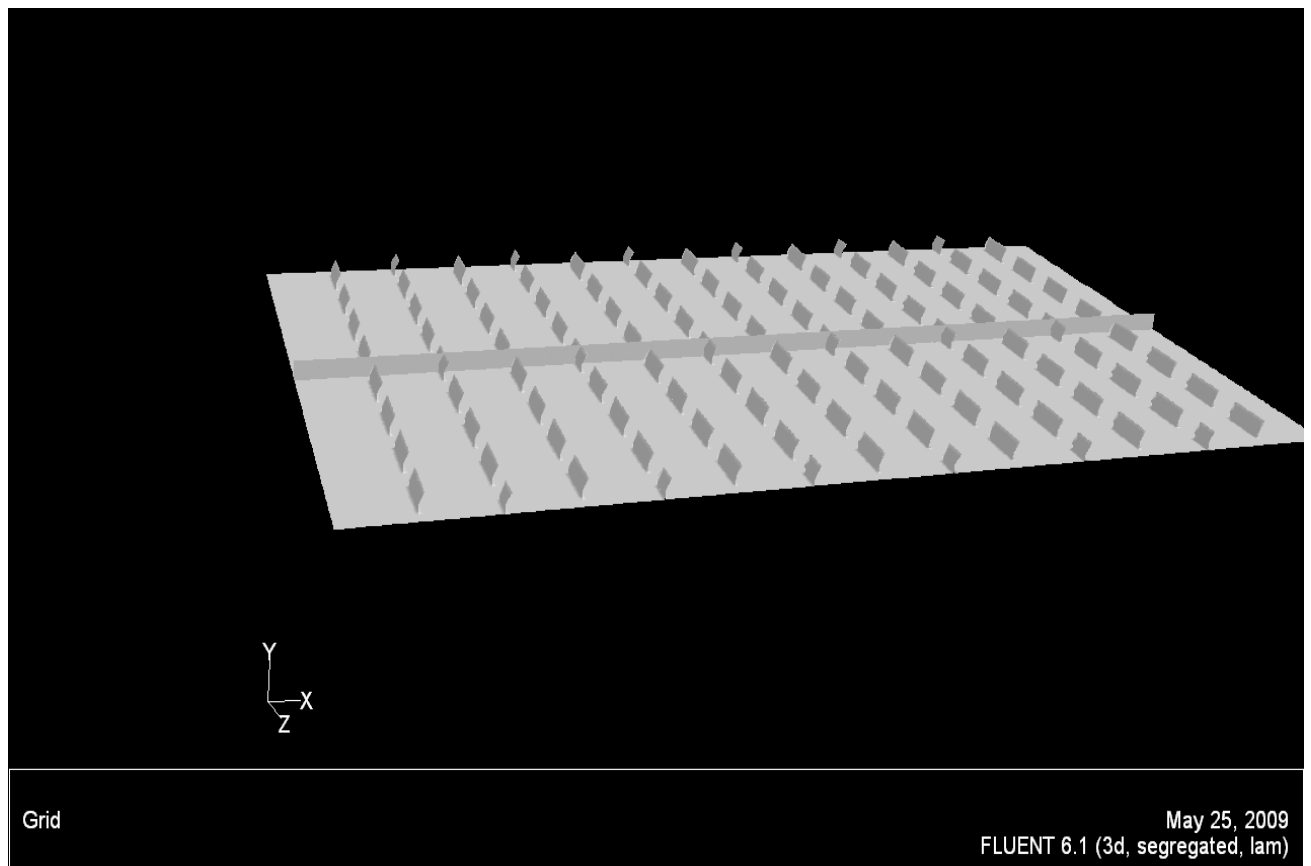


Fig. (V-7) présentation de la surface a étudiée

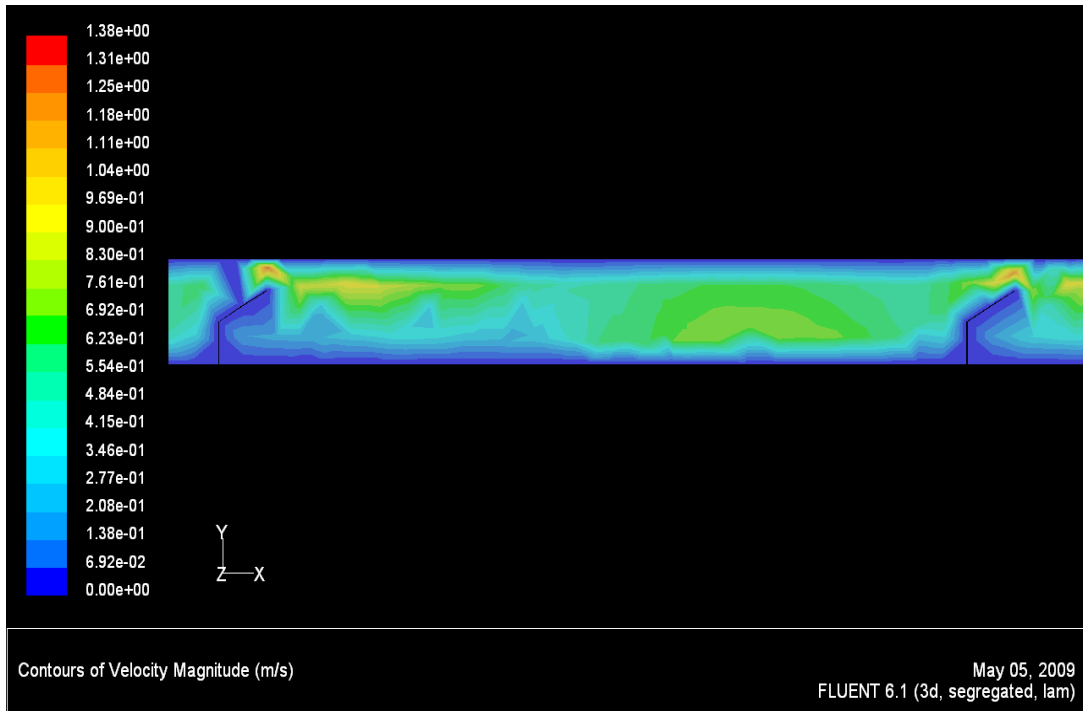


Fig. (V-8) contour des vitesses au niveau de la surface étudiée.

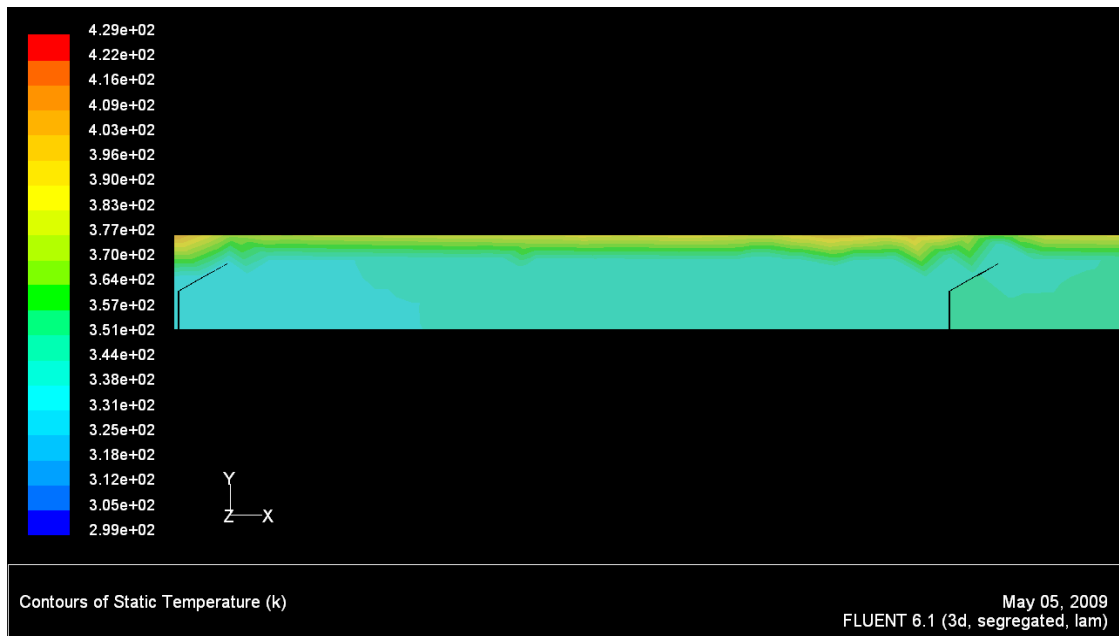


Fig. (V-9) contour des profils de températures au niveau de la surface étudiée

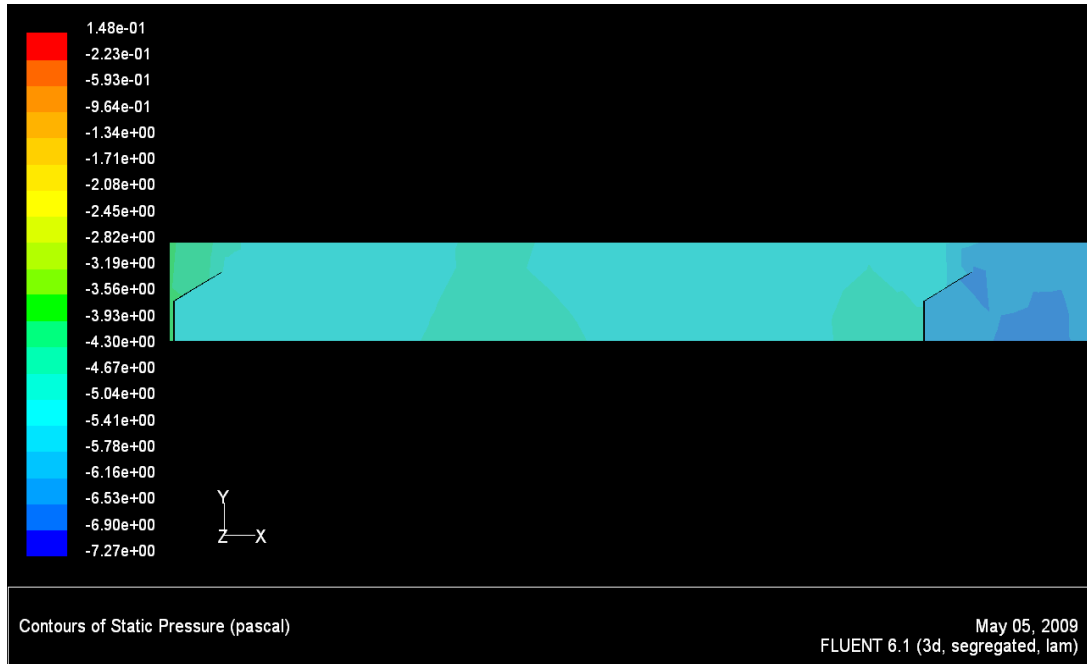


Fig. (V-10) contour de la pression au niveau de la surface étudiée

La Figure **Fig. (V-9)**, illustre les contours des profils de températures dans le plan orthogonal, et longitudinalement par rapport au conduit utile.

On constate que dans la région située juste après la chicane la température augmente, par contre la figure **Fig. (V-10)** montre que la pression diminue.

V-4- Présentation graphique

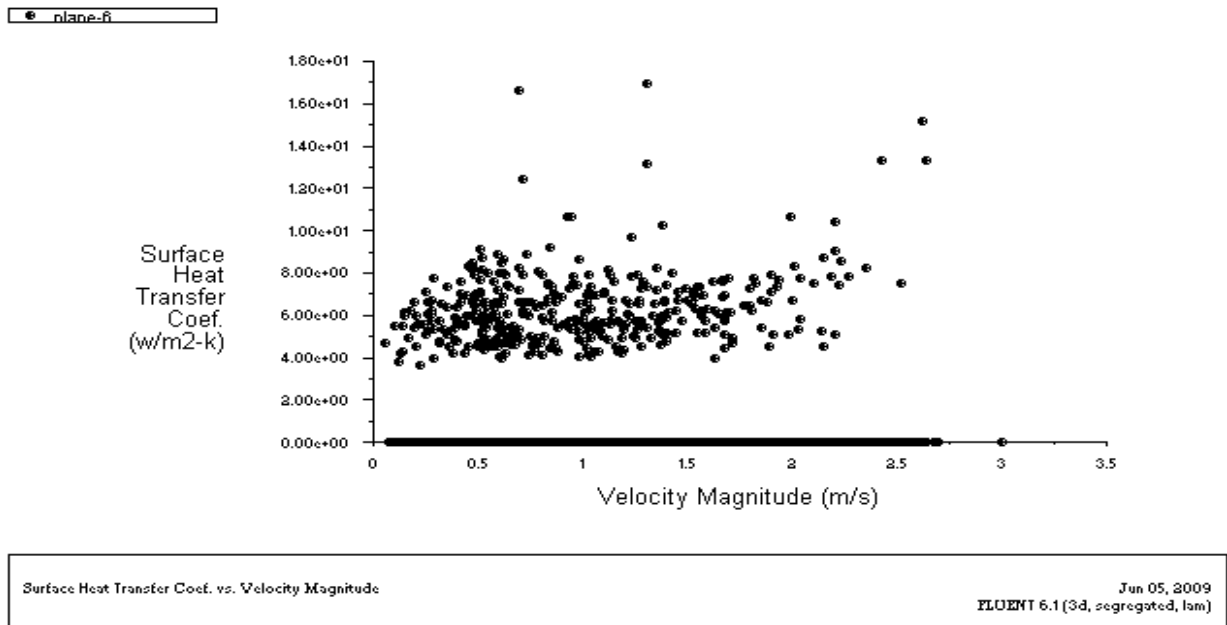


Fig. (V-11a) Evolution du coefficient d'échange convectif le long du conduit utile
 $L_{ch} = 7\text{ cm}, P_{e-c} = 4\text{ cm}, P_{e-r} = 10\text{ cm}$ et $Re < 2100$

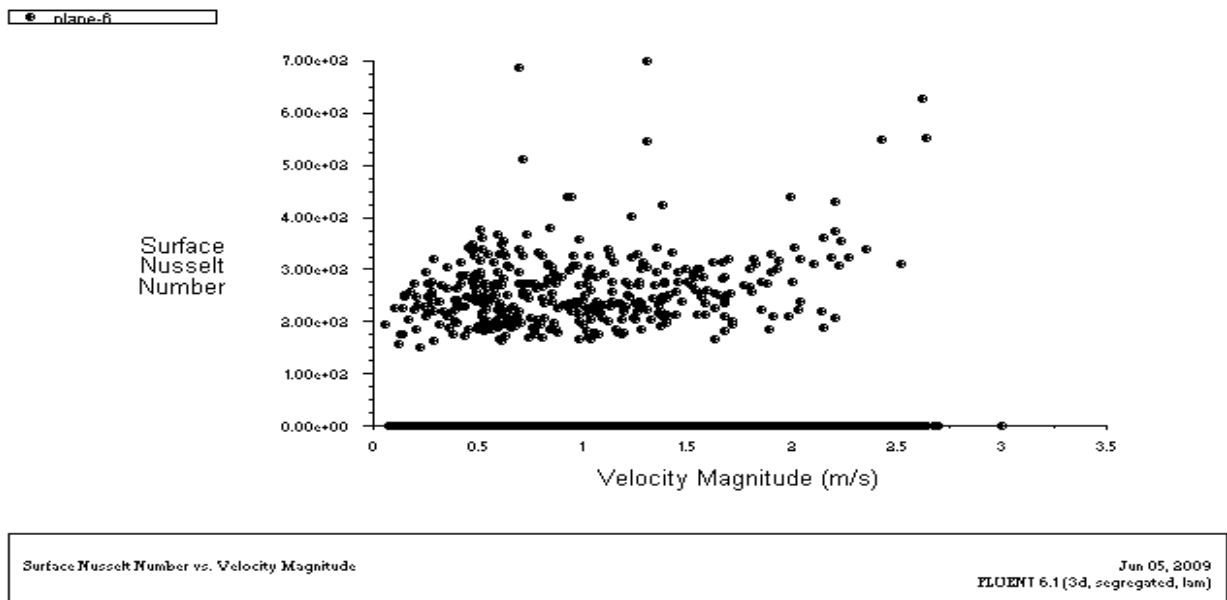


Fig. (V-11a) Evolution du nombre de *Nusselt* le long de la conduite utile
 $L_{ch} = 7\text{ cm}, P_{e-c} = 4\text{ cm}, P_{e-r} = 10\text{ cm}$ et $Re < 2100$

les figures **Fig. (V-11a)**, et **Fig. (V-11b)** représentent successivement l'évolution du coefficient d'échange par convection et du nombre de **Nusselt** en fonction de la vitesse moyenne locale (au niveau de la surface étudié), dans le conduit muni de chicanes définies par : $L_{ch} = 7\text{ cm}$, $P_{e-c} = 4\text{ cm}$, $P_{e-r} = 10\text{ cm}$

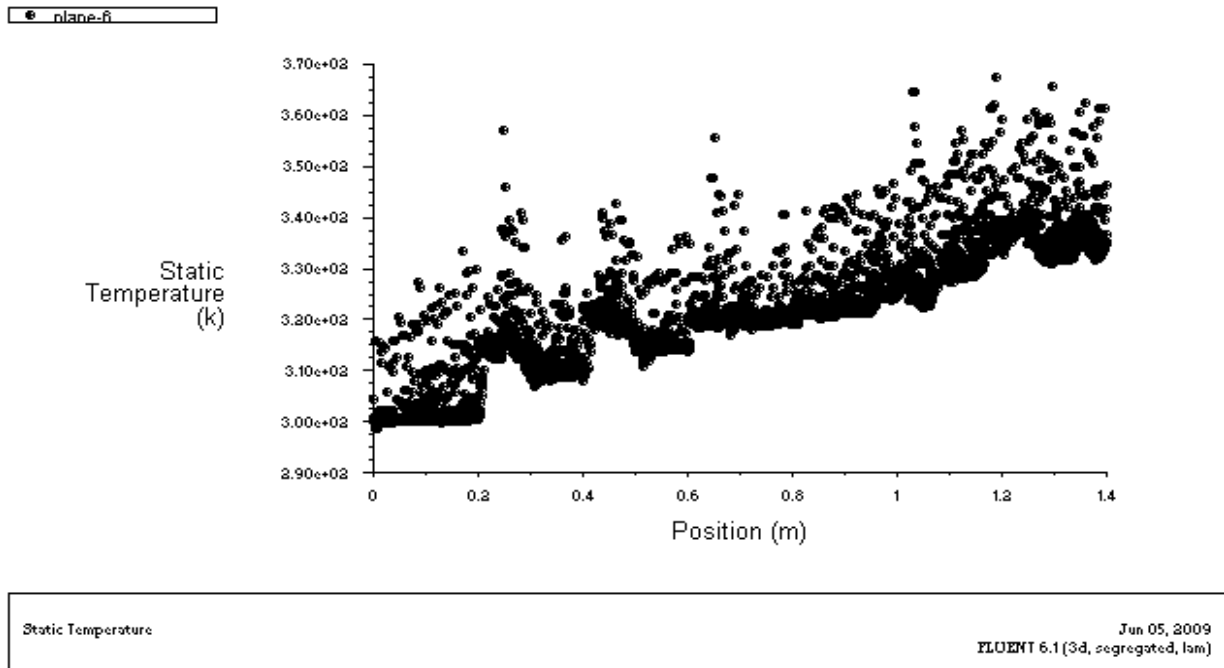


Fig. (V-11c) Evolution de la température dans la veine fluide, en présence des chicanes $L_{ch} = 7\text{ cm}$, $P_{e-c} = 4\text{ cm}$, $P_{e-r} = 10\text{ cm}$ et $Re < 2100$

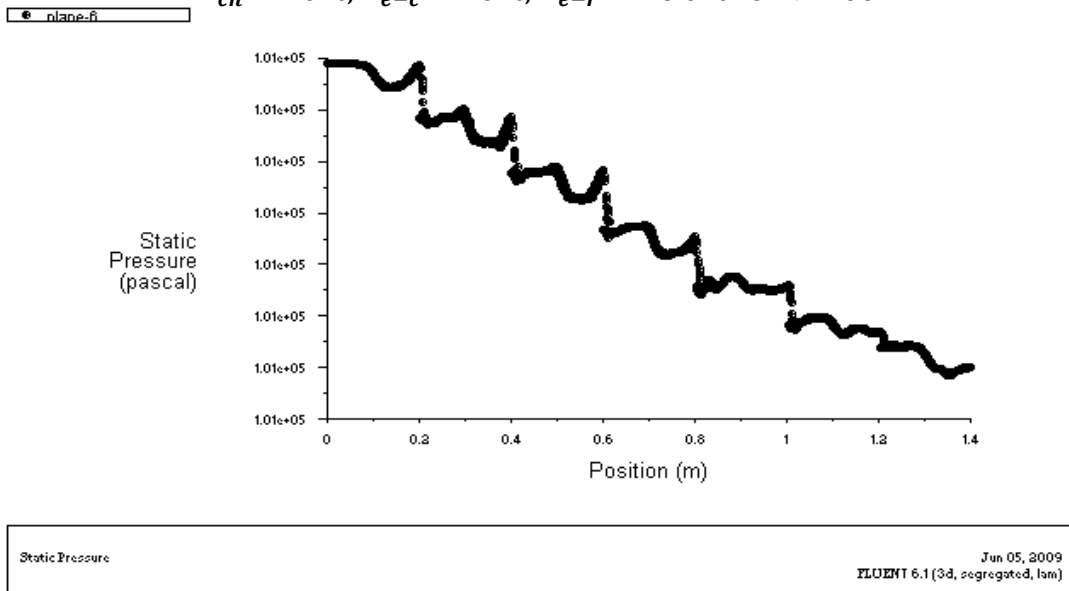


Fig. (V-11d) Evolution de la pression le long de la veine fluide, en présence des chicanes disposées en quinconce $L_{ch} = 7\text{ cm}$, $P_{e-c} = 4\text{ cm}$, $P_{e-r} = 10\text{ cm}$ et $Re < 2100$

Les pertes de charge calculées par FLUENT, peuvent être représentées dans la figure **Fig. (V-11d)** et valent environ (**29.56Pa**) On constate, par conséquent que la valeur de perte de charge retrouvée numériquement, coïncide pratiquement avec celle calculée par les approches semi empiriques établit sur la base d'une séries de mesures expérimentales.

La discontinuité des graphes implique la discontinuité d'écoulement à cause de l'existence des obstacles.

Comme, le nombre de Reynolds est élevé, cela prouve que l'écoulement n'est pas du tout laminaire. On utilisera par conséquent un modèle de turbulence. Contrairement au cas laminaire, les solutions sont plus dépendantes du maillage, et une attention particulière doit être portée sur la vérification a posteriori de la finesse du maillage près des parois, afin de s'assurer que tous les phénomènes sont capturés. Nous allons utiliser le modèle de turbulence le plus simple qui existe : dite, modèle de $k - \varepsilon$.

V-5- Résultats numériques obtenus :

Pour un flux solaire incident égale à $482 \text{ [W/m}^2\text{]}$, la simulation avec Fluent nous donne les résultats numériques suivants :

<i>Chicanes en quinconces</i>	<i>La nature d'écoulement</i>	<i>Débit d'air [Kg/h]</i>	$T_e[\text{K}]$	$T_s[\text{K}]$	ΔP [pas]	$V_e[\text{m /s}]$	$V_s[\text{m/s}]$
$L_{ch} = 7 \text{ cm}$ $P_{e-c} = 4 \text{ cm}$ $P_{e-r} = 10 \text{ cm}$	Écoulement laminaire	55.1811	300.46	333.02	29.56	0.57995492	0.91728508
	Écoulement turbulent	70	300.08	322.50	44.68	0.74402392	1.1324842
$L_{ch} = 7 \text{ cm}$ $P_{e-c} = 4 \text{ cm}$ $P_{e-r} = 20 \text{ cm}$	Écoulement laminaire	55.1811	300.10	334.08	14.94	0.58908927	0.76737958
	Écoulement turbulent	72.7941	300.07	327.60	23.47	0.74768609	0.9396168

L'existence des obstacles oblige l'écoulement de créer une structure tourbillonnaire (des tourbillons) au niveau des chicanes qui permet d'obtenir une qualité de transfert de chaleur satisfaisant.

V-6- Comparaison entre l'expérimentale et la simulation numérique

POUR Tableau N°: 03 Date: 19/04/2008

Temps	Φ [w/m ²]	Pression [Pa]	Thermocouples [°C]									V de vent	Débit [m ³ /h]
			n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	Tamb		
09h20	482	34	27	36	39	45	43	44	28	42	23.5	3.60	65

La simulation numérique donne les résultats suivante et pour le même débit massique

<i>Chicanes en quinconces</i>	<i>Écoulement laminaire</i>	<i>Débit d'air [Kg/h]</i>	<i>T_e[K]</i>	<i>T_s[K]</i>	<i>ΔP [pas]</i>
<i>L_{ch} = 7 cm P_{e-c} = 4 cm P_{e-r} = 10 cm</i>	Simulation avec fluent	55.1811	300.10	318.94	29.56
	L'expérimentale	55.1811	300	318	34