

# *Table des matières*

<i>Introduction générale</i> .....	2
 <i>Chapitre I Bibliographique</i>	
Introduction .....	6
1.1. Contexte.....	7
1.2. Définition des milieux poreux .....	7
1.2.1. Définition de la porosité.....	8
1.2.2. perméabilité.....	9
1.3. Transfert de chaleur utilisant des média poreux comme chicanes.....	10
1.3.1. Transfert de chaleur en utilisant la géométrie serpentine.....	10
1.3.2. Chicanes poreuse pour l'amélioration de transfert de chaleur.....	11
1.4. La théorie dans des milieux poreux.....	11
1.5. Autres travaux de recherche réalisés dans ce domaine.....	12
 <i>Chapitre II Formulation Mathématique</i>	
Introduction.....	17
1.1. Domaine d'étude.....	18
1.2. Equations générales .....	18
1.2.1. Équation de continuité.....	18
1.2.2. Equation de la quantité de mouvement.....	19
1.2.3. Equation d'énergie.....	20
1.3. Hypothèses simplification.....	20
1.4. Système d'équations du problème .....	21

1.4.1. Les conditions aux limites.....	23
--	----

### ***Chapitre III Simulation Numérique***

Introduction.....	26
-------------------	----

1.1. Volumes finis.....	27
-------------------------	----

1.1.1. Pour problème 1D.....	28
------------------------------	----

1.1.2. dimension deux 2D.....	29
-------------------------------	----

1.2. Etude d'un problème de diffusion à deux dimensions.....	31
--	----

1.2.1. maillage.....	31
----------------------	----

1.2.2. Discrétisation.....	32
----------------------------	----

1.3. Etude d'un problème stationnaire de diffusion à deux dimensions.....	34
---	----

1.4. Les différentes étapes de l'approche numérique.....	35
--	----

1.5. Description et maillage.....	36
-----------------------------------	----

1.5.1. Condition aux limites.....	36
-----------------------------------	----

1.5.2. Méthode de résolution.....	37
-----------------------------------	----

1.6. Etude du maillage.....	37
-----------------------------	----

1.6.1. Qualité et taille du maillage.....	37
---	----

1.6.2. Choix du maillage.....	37
-------------------------------	----

1.7. Résultats.....	38
---------------------	----

1.8. Procédure numérique.....	39
-------------------------------	----

### ***Chapitre IV Résultats et Interprétations***

Introduction .....	45
--------------------	----

1.1. présentation des Résultats.....	46
--------------------------------------	----

1.1.1. Chicane type solide.....	46
1.1.2. Chicane type poreuse.....	49
1.2. Validation du modèle.....	66
1.2.1. L'effet de la hauteur des chicanes sur nombre de Nusselt moyen.....	67
1.2.2. L'effet nombre de Nusselt local.....	69
1.3. Coefficient de frottement.....	72
<b>Conclusion Générale</b> .....	75
<b>Bibliographie</b> .....	78

## *Liste des figures*

<b>Fig. I.1.</b>	Des échantillons de la matière poreuse.....	8
<b>Fig. I.2.</b>	Photographies de l'installation expérimentale.....	13
<b>Fig. I.3.</b>	Lignes de courant dans une conduite circulaire.....	14
<b>Fig. I.4.</b>	Système de coordonnées et modèle bidimensionnel axisymétrique d'un tube circulaire.....	14
<b>Fig. I.5.</b>	Distribution spatiale de la température.....	15
<b>Fig. I.6.</b>	Contours de la température pour différentes chicanes à $Re = 500$ .....	15
<b>Fig. I.7.</b>	Rationalisation de $90^\circ$ à chicanes $Re = 800$ . (2009).....	16
<b>Fig. I.8.</b>	champ de vitesse axiale dans le canal pour les deux cas étudiés (A: $4e/b = 1$ , B: $e/b = 0.25$ ) (28 Décembre 2010).....	16
<b>Fig. II.1.</b>	conduite rectangulaire porte des chicanes.....	18
<b>Fig. II.2.</b>	conduit munie de chicane poreuse dans un plan 2 D.....	18
<b>Fig. II.3.</b>	Schéma de la section d'essai.....	23
<b>Fig. III.1.</b>	Présentation des différents types de volume finis pour 1D et 2D.....	28
<b>Fig. III.2.</b>	Grille volumes finis.....	29
<b>Fig. III.3.</b>	Maillage d'un élément volumique.....	31
<b>Fig. III.4.</b>	Une partie maillée de la conduite rectangulaire.....	36
<b>Fig. III.5.</b>	Influence du maillage sur la vitesse axiale.....	38
<b>Fig. III.6.</b>	Contour de la vitesse axiale.....	39
<b>Fig. III.7.</b>	contours de vitesse pour chicanes à semi-type pour $Re = 5 \times 10^4$ (a) $h/H = 0.25$ (b) $h/H = 0.5$ .....	40

<b>Fig. III.8.</b>	contours de vitesse pour chicanes à semi-type pour $R_e = 5 \times 10^4$ $\varepsilon = 0.42$ (a) $h/H = 0.75$ (b) $h/H = 0.5$ (c) $h/H = 0.2$ .....	41
<b>Fig. III.9.</b>	contours de vitesse pour chicanes à demi-conduites pour $R_e = 3 \times 10^4$ (a) $\varepsilon = 0.0$ (b) $\varepsilon = 0.2$ (c) $\varepsilon = 0.42$ (d) $\varepsilon = 0.7$ .....	43
<b>Fig. III.10.</b>	contours de vitesse pour chicanes à semi-type pour $\varepsilon = 0.7$ (a) $R_e = 1 \times 10^4$ (b) $R_e = 3 \times 10^4$ (c) $R_e = 5 \times 10^4$ .....	44
<b>Fig. IV.1.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicanes solides $h/H = 0.25$ .....	46
<b>Fig. IV.2.</b>	Profil de la vitesse axiale en amont des chicanes inférieurs et en aval des chicanes supérieurs, Chicane en bas solide $h/H=0.25$ .....	47
<b>Fig. IV.3.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicanes inférieurs et en amont des chicanes supérieurs, Chicane en haut solide $h/H=0.25$ .....	47
<b>Fig. IV.4.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicanes solides $h/H = 0.5$ .....	46
<b>Fig. IV.5.</b>	Profil de la vitesse en amont des chicanes inférieurs et en aval des chicanes supérieurs, Chicane en bas solide $h/H=0.5$ .....	48
<b>Fig. IV.6.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicanes inférieurs et en amont des chicanes supérieurs, Chicane en haut solide $h/H=0.5$ .....	49
<b>Fig. IV.7.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicanes poreux $R_e = 5 \times 10^4$ $h/H = 0.25$ $\varepsilon = 0.42$ .....	50
<b>Fig. IV.8.</b>	Profil de la vitesse en amont des chicanes inférieurs et en aval des chicanes supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.25$ .....	51
<b>Fig. IV.9.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicanes inférieurs et en amont des chicanes supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.25$ .....	51
<b>Fig. IV.10.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicanes poreux $R_e = 5 \times 10^4$ $h/H = 0.5$ $\varepsilon = 0.42$ .....	52

<b>Fig. IV.11.</b>	Profil de la vitesse en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5$ .....	52
<b>Fig. IV.12.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5$ .....	53
<b>Fig. IV.13.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreux $R_e = 5 \times 10^4$ $h/H = 0.75$ $\varepsilon = 0.42$ .....	53
<b>Fig. IV.14.</b>	Profil de la vitesse en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.75$ .....	54
<b>Fig. IV.15.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.75$ .....	54
<b>Fig. IV.16.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreux $R_e = 3 \times 10^4$ $h/H = 0.5$ $\varepsilon = 0$ .....	55
<b>Fig. IV.17.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5$ , $\varepsilon = 0$ .....	56
<b>Fig. IV.18.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5$ , $\varepsilon = 0.2$ .....	56
<b>Fig. IV.19.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreux $R_e = 3 \times 10^4$ $h/H = 0.5$ $\varepsilon = 0.2$ .....	57
<b>Fig. IV.20.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5$ , $\varepsilon = 0.2$ .....	57
<b>Fig. IV.21.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5$ , $\varepsilon = 0.2$ .....	58
<b>Fig. IV.22.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreux $R_e = 3 \times 10^4$ $h/H = 0.5$ $\varepsilon = 0.42$ .....	58
<b>Fig. IV.23.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5$ , $\varepsilon = 0.42$ .....	59

<b>Fig. IV.24.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = 0.42 \dots$	59
<b>Fig. IV.25.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreuses $R_e = 3 \times 10^4 h/H = 0.5 \varepsilon = 0.7 \dots$	60
<b>Fig. IV.26.</b>	Profil de la vitesse en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = 0.70 \dots$	60
<b>Fig. IV.27.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = 0.70 \dots$	61
<b>Fig. IV.28.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreuses $R_e = 1 \times 10^4 h/H = 0.5 \varepsilon = 0.7 \dots$	62
<b>Fig. IV.29.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5, R_e = 1 \times 10^4 \dots$	62
<b>Fig. IV.30.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = R_e = 1 \times 10^4 \dots$	63
<b>Fig. IV.31.</b>	Contours des vitesses axiale (m/s) pour des chicane poreuses $R_e = 3 \times 10^4 h/H = 0.5 \varepsilon = 0.7 \dots$	63
<b>Fig. IV.32.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5, R_e = 3 \times 10^4 \dots$	64
<b>Fig. IV.33.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = R_e = 3 \times 10^4 \dots$	64
<b>Fig. IV.34.</b>	Contours des vitesses axiales (m/s) pour des chicane poreux $R_e = 5 \times 10^4 h/H = 0.5 \varepsilon = 0.7 \dots$	65

<b>Fig. IV.35.</b>	Profil de la vitesse axiales en amont des chicane inférieurs et en aval des chicane supérieurs, Chicane en bas poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = 0.7, R_e = 5 \times 10^4$ .....	65
<b>Fig. IV.36.</b>	Profil de la vitesse axiale en aval des chicane inférieurs et en amont des chicane supérieurs, Chicane en haut poreuse $h/H=0.5, \varepsilon = 0.7, R_e = 5 \times 10^4$ .....	66
<b>Fig. IV.37.</b>	comparaison de nos résultats avec la référence .....	66
<b>Fig. IV.38.</b>	Nombre de Nusselt.....	67
<b>Fig. IV.39.</b>	Effets de Reynolds sur le nombre de Nusselt moyen pour les chicane poreuses $\varepsilon = 0.42$ .....	68
<b>Fig. IV.40.</b>	Effets de Reynolds sur le nombre de Nusselt moyen pour les chicane poreuses $\varepsilon = 0.2$ .....	68
<b>Fig. IV.41.</b>	Effets de Reynolds sur le nombre de Nusselt moyen pour les chicane poreuses $\varepsilon = 0.7$ .....	69
<b>Fig. IV.42.</b>	Variation du Nu local en fonction de la longueur du canal (porosité= 0.42).....	70
<b>Fig. IV.43.</b>	Variation du Nu local en fonction de la longueur du canal (porosité= 0.2).....	70
<b>Fig. IV.44.</b>	Variation du Nu local en fonction de la longueur du canal (porosité= 0.7).....	71
<b>Fig. IV.45.</b>	Variation du Nu local en fonction de la longueur du canal (porosité= 0).....	70
<b>Fig. IV.48.</b>	Effets du frottement $\log_{10} f$ pour les chicane poreux $\varepsilon = 0.42$ .....	72
<b>Fig. IV.49.</b>	Effets du frottement $\log_{10} f$ pour les chicane poreux $\varepsilon = 0.2$ .....	73
<b>Fig. IV.50.</b>	Effets du frottement $\log_{10} f$ pour les chicane poreux $\varepsilon = 0.7$ .....	73



## *Nomenclature*

$\varepsilon$	Porosité.....	[-]
$V_f$	Volume d'un fluide.....	[m <sup>3</sup> ]
$V_{total}$	Volume d'un milieu.....	[m <sup>3</sup> ]
$\emptyset$	la fraction volumique.....	[-]
$V_s$	Volume d'un solide.....	[m <sup>3</sup> ]
$(V_f)_{eff}$	Volume d'un fluide efficace.....	[m <sup>3</sup> ]
$\varepsilon_{eff}$	Porosité efficace.....	[-]
$K$	Perméabilité.....	[m <sup>2</sup> ]
$d_p$	Diamètre de porosité.....	[m]
$K_{eff}$	Perméabilité efficace.....	[m <sup>2</sup> ]
$K_1, K_2$	Conductivité.....	[W m <sup>-1</sup> k <sup>-1</sup> ]
$\alpha$	Rapport de la conductivité.....	[-]
$\beta$	rapport entre le diamètre plaque à orifice au diamètre du tuyau..	[-]
$f_0$	fonction de réglage.....	[-]
$Q$	quantité de chaleur appliquée ou le débit.....	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$A$	flux de section transversale du flux.....	[m <sup>2</sup> ]
$h$	La hauteur.....	[m]
$L$	La longueur.....	[m]
$\rho$	Masse volumique.....	[kg m <sup>-3</sup> ]
$g$	Gravité.....	[m s <sup>-2</sup> ]
$p$	Pression du canal.....	[kg s <sup>-2</sup> ]
$q$	Vitesse du fluide.....	[m s <sup>-1</sup> ]
$k$	Conductivité hydraulique.....	[m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> ]
$\mu$	Viscosité dynamique.....	[kg m <sup>-1</sup> ]

$u_p$	vitesse superficielle.....	$[m\ s^{-1}]$
$C$	coefficient d'inertie (coefficient de Forchheimer).....	$[-]$
$u$	Vitesse suivant x.....	$[m\ s^{-1}]$
$\mu_B$	Viscosité dynamique Brinkman.....	$[kg\ m^{-1}]$
$h_{sf}$	coefficient d'inter-facial de transfert thermique.....	$[W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}]$
$Pr$	Prandtl.....	$[-]$
$Re$	Reynolds.....	$[-]$
$K_f$	Perméabilité du fluide.....	$[m^2]$
$A_{int}$	Surface d'interface ou d'une surface d'interface spécifique.....	$[m^2]$
$m$	Masse du fluide.....	$[kg]$
$v$	Volume du fluide.....	$[m^3]$
$\rho$	Masse volumique.....	$[kg\ m^{-3}]$
$p$	Pression du fluide.....	$[kg\ s^{-2}]$
$V$	Vitesse.....	$[m\ s^{-1}]$
$F$	Force.....	$[kg\ m\ s^{-2}]$
$\sigma$	Contrainte.....	$[kg\ s^{-2}]$
$c_1, c_2$	turbulent constant.....	$[-]$
$C$	facteur inertie.....	$[-]$
$d_p$	diamètre des particules.....	$[m]$
$D_h$	diamètre hydraulique.....	$[m]$
$f$	coefficient de frottement.....	$[-]$
$H$	hauteur de canal.....	$[m]$
$h$	hauteur chicanes.....	$[m]$
$I$	intensité de la turbulence.....	$[kg\ s^{-2}]$
$k_d$	la conductivité stagnante.....	$[W\ m^{-1}k^{-1}]$
$k_e$	efficaces conductivité thermique de la chicane poreuse.....	$[W\ m^{-1}k^{-1}]$

$k_f$	la conductivité thermique du fluide.....	$[\text{W m}^{-1}\text{k}^{-1}]$
$k_t$	la conductivité thermique de la dispersion.....	$[\text{W m}^{-1}\text{k}^{-1}]$
$K_p$	la perméabilité.....	$[\text{m}^2]$
$k$	l'énergie cinétique turbulente.....	$[\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}]$
$\overline{Nu}$	nombre de Nusselt en moyenne pour un débit de canal dérouté	$[-]$
$\overline{Nu}_s$	nombre de Nusselt en moyenne pour le canal en douceur.....	$[-]$
$S$	l'espacement des chicanes.....	$[\text{m}]$
$S_\phi$	terme source.....	$[\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}]$
$T$	Température.....	$[\text{°K}]$
$T_{in}$	température d'entrée.....	$[\text{°K}]$
$U_{in}$	vitesse d'entrée.....	$[\text{m s}^{-1}]$
$u$	vitesse dans la direction x.....	$[\text{m s}^{-1}]$
$v$	vitesse dans la direction y.....	$[\text{m s}^{-1}]$
$\phi$	scalaire transporté.....	$[\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}]$
$\mu_t, \mu_e, \mu_l$	le laminaire, turbulent et effective viscosité.....	$[\text{kg s}^{-1}]$
$\sigma_k, \sigma_\epsilon, \sigma_T$	$k - \epsilon$ modèle de turbulence constante $k, \epsilon$ et $T$ .....	$[\text{kg s}^{-2}]$
$v$	Porosité.....	$[-]$
$\alpha_p$	diffusivité thermique des milieux poreux.....	$[-]$
$\epsilon$	turbulente indices de taux de dissipation d'énergie.....	$[\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}]$
$A_s$	Surface d'échange.....	$[\text{m}]$
$Q$	Quantité de chaleur.....	$[\text{W m}^{-1}]$
$\overline{T}_w$	Température de la plaque.....	$[\text{°K}]$
$\overline{T}_b$	Température de la paroi.....	$[\text{°K}]$
$\overline{Nu}_u$	Nombre de Nusselt en moyenne pour vitesse $u$ .....	$[-]$
$h$	Coefficient de convection.....	$[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$

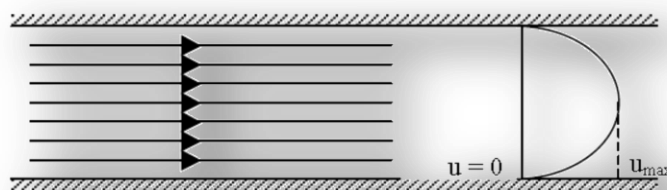
# Annexe

Les transferts de chaleur qui s'effectuent simultanément avec des transferts de masse sont dits transferts de chaleur par convection. Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides dans lesquels il est généralement prépondérant. Convection naturelle et forcée Selon la nature du mécanisme qui provoque le mouvement du fluide on distingue :

- La convection libre ou naturelle : le fluide est mis en mouvement sous le seul effet des différences de masse volumique résultant des différences de températures sur les frontières et d'un champ de forces extérieures (la pesanteur).
- La convection forcée : le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilateur,...).

L'étude du transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi. Régime d'écoulement Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de prendre en compte le régime d'écoulement. Considérons à titre d'exemple l'écoulement d'un fluide dans une conduite :

- En régime laminaire, l'écoulement s'effectue par couches pratiquement indépendantes

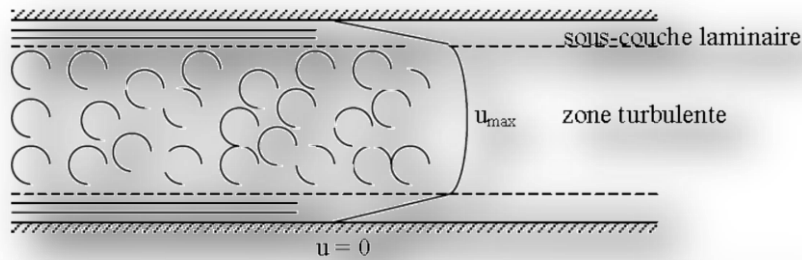


**Fig.1.** Schématisation d'un écoulement laminaire

- En régime turbulent, l'écoulement n'est pas unidirectionnel

L'échange de chaleur dans la zone turbulente s'effectue par convection et conduction dans toutes les directions. On vérifie que la conduction moléculaire est généralement négligeable par rapport à la convection et à la « diffusion

turbulente » (mélange du fluide dû à l'agitation turbulente) en dehors de la sous-couche laminaire.



**Fig.2.** Schématisation d'un écoulement turbulent

Le problème majeur à résoudre avant le calcul du flux de chaleur consiste à déterminer le coefficient de transfert de chaleur par convection  $h$  qui dépend d'un nombre important de paramètres : caractéristiques du fluide, de l'écoulement, de la température, de la forme de la surface d'échange,...

On trouvera dans ce tableau présenté l'ordre de grandeur du coefficient de transfert de chaleur par convection pour différentes configurations.

Configuration	$h$ ( $Wm^{-2}C^{-1}$ )
<u>Convection naturelle</u>	
<b>Dans un gaz</b>	2-10
<b>Dans un liquide</b>	100-1000
<u>Convection forcée</u>	
<b>Avec un gaz</b>	10-200
<b>Avec un liquide</b>	100-5000
<u>Ebullition de l'eau</u>	
<b>Dans un récipient</b>	2500-35000
<b>En écoulement dans un tube</b>	5000-100000
<u>Condensation de l'eau sous 1 atm</u>	
<b>Sur une surface verticale</b>	1000-11000
<b>A l'extérieur de tubes horizontaux</b>	10000-25000

**Tab.1** : Ordre de grandeur du coefficient de transfert de chaleur par convection

Propriété de l'air à 1 atm						
$\theta$	$\rho$	$C_p$	$\lambda$	$10^{-5} \cdot \mu$	$10^{-5} \cdot \alpha$	$P_r$
(°C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(J/Kg. °C)	(W/m. °C)	Pa.s	m <sup>2</sup> /s	
0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	1,127	1006	0,0272	1,9	2,4	0,7
60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,7
80	0,999	1010	0,0302	2,09	3	0,7
100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	0,779	1022	0,0372	2,5	4,67	0,69
200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	0,7	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,8	0,68
260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,2	0,68
280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	0,616	1045	0,045	2,83	6,99	0,68

**Tab.2** : Propriété de l'air

### 1.1.1. Ecoulement laminaire, transitionnel ou turbulent

Une caractéristique essentielle d'un fluide visqueux en mouvement est le régime de l'écoulement. On distingue ainsi :

- Le régime d'écoulement laminaire ou l'écoulement est organisé et prédictible, c'est-à-dire qu'il est défini par les équations de la dynamique des fluides et les conditions limites et initiales ;
- Le régime d'écoulement transitionnel, ou une petite perturbation de l'écoulement va commencer à modifier l'ensemble du champ de vitesse ;
- Le régime d'écoulement turbulent ou l'écoulement est désorganisé et non prédictible, c'est-à-dire qu'une petite perturbation entraîne de grandes

modifications. dans ce cas, les termes non linéaires des équations de conservation de la quantité de mouvement de viennent prépondérants et le champ instantané de vitesse n'est plus prédictible. Il n'est donc pas possible dans ce cas de résoudre les équations de la dynamique des fluides analytiquement.

Le régime de l'écoulement va avoir une influence sur son développement, en particulier sur les couches limites lorsqu'une paroi est présente. Pour caractériser le régime de l'écoulement, on utilise comme nombre adimensionnel le nombre de Reynolds.

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (1)$$

### 1.1.2. Compressibilité

Le nombre de Mach  $M$  est le rapport entre la vitesse  $U$  caractéristique de l'écoulement et la célérité du son  $a$  dans le fluide. Il représente les effets de compressibilité du fluide. On considère ces effets à travers deux types d'écoulement :

- Incompressible ( $M < 0.3$ ) ou :

$$\frac{dp}{dt} = 0$$

- Compressible ( $M > 0.3$ ) ou :

$$\frac{dp}{dt} \neq 0$$

### 1.4.1. Différent type modèle de turbulence

#### a). Modèle $k - \varepsilon$

Le modèle  $k - \varepsilon$  standard (Launder et Spalding, 1972) se base sur le concept Bousinesq (1977). Les termes des contraintes de Reynolds sont:

- Fermeture du tenseur de Reynolds basée une viscosité turbulente  $\nu_t = \mu_t / \rho$

$$-\rho U_i U_j = 2\mu_t s_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (2)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \text{ Avec } c_\mu = 0.09 \quad (3)$$

- L'énergie cinétique turbulente est définie par équation suivant ;

$$k = \frac{1}{2} \overline{U_i U_i} = \frac{1}{2} (\overline{U_1^2} + \overline{U_2^2} + \overline{U_3^2}) \quad (4)$$

- Le taux de dissipation  $\varepsilon$  de l'énergie cinétique  $k$  est donné par:

$$\varepsilon = \frac{\overline{\partial U_i \partial U_i}}{\partial x_j \partial x_j} \quad (5)$$

L'adaptation des constantes standards du modèle donné par Launder et Spalding (1974) rend le système d'équation opérationnel. Elles sont réunies dans le Tableau.2.

$c_\mu$	$c_{\varepsilon 1}$	$c_{\varepsilon 2}$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
0.09	1.44	1.92	1	1.3

**Tab.3:** Valeurs des constantes du modèle  $k - \varepsilon$

Il est indispensable de savoir que le modèle  $k - \varepsilon$  est applicable aux écoulements à nombre de Reynolds élevé (turbulent).



porosité( $\epsilon$ )	$R_e$	Epaisseur chicane ( $B_t/D_h$ )	hauteur de chicane ( $B_t/D_h$ )	la densité des pores
<b>0.92</b>	20000	1/3	1/3	10PPI
	30000			10PPI
	40000	1/12	2/3	40PPI
	50000			Solide

**Tab.6.** paramètres d'essai.

	10PPI	20PPI	40PPI
Perméabilité K (m <sup>2</sup> )	1.04E-07	7.60E-08	5.10E-08
Effective $d_{peff}$ (m)	3.922484E-04	3.353137E-04	2.746816E-04
$\sqrt{K}$ (m)	3.22903E-04	2.756810E-04	2.258318E-04

**Tab.7.** Effective de diamètre d'aluminium [20].