

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : Génie Mécanique

Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة الميكانيكية  
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

**Doctorat en sciences en : Génie Mécanique**

Option : Génie Mécanique

**Intitulé : Etude globale et locale de l'influence de  
la géométrie sur les pertes de charge  
occasionnées par des obstacles métalliques de  
formes diverses dans un conduit rectangulaire,  
cas d'un fluide incompressible.**

Présentée par :

**CHOUCHANE Nacer**

Soutenue publiquement le .....

**Devant le jury composé de :**

Dr. N. MOUMMI	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. A. MOUMMI	Maitre de Conférences 'A'	Rapporteur	Université de Biskra
Dr. H. BENMOUSSA	Professeur	Examineur	Université de Batna
Dr. M. KADJA	Professeur	Examineur	Université de Constantine
Dr. B. BOUCHEKIMA	Professeur	Examineur	Université d'Ouargla
Dr .A. BRIMA	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	Université de Biskra

# الإهداء

إلى أرواح من سقت دماؤهم أرض هذا الوطن الحبيب، فسقطوا شهداء في ساحة الكرامة  
والشرف

إلى من لا يزالون مرابطين في ساحات الفعل والبذل والعمل لتبقى رايات

" الإسلام ديني والعربية لغتي والجزائر وطني "

خفاقة على أرض هذا الوطن

إلى الطامحين إلى الانتصار

إلى الأتقياء الأنقياء الأصفياء وإلى نخب العاملين الصابرين المحتسبين

إلى الباحثين عن شعاع من حقيقة في دياجير التزييف وعتمات التحريف

إلى الوالدة أطل الله في عمرها

إلى الوالد تغمده الله بروحه الواسعة

إلى الزوجة الفاضلة التي كانت لي عوناً وسنداً ونصيراً في أحلك فترات حياتي

إلى فلذتي كبدي تسنيم وهمام

إلى إخوتي

إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل

ناصر شوشان

# شكر وتقدير

الآن وقد اكتمل البحث واستوى على سوقه لايسع المرء إلى أن يتوجه بالشكر لله عز وجل على توفيقه وبيوء له بنعمته

فلك الحمد يارب ولك الشكر

كما لا يسعني إلا أن أتوجه - في هذه السانحة - بأسمى معاني التقدير وآيات الشكر والعرفان لأستاذي الكريم الدكتور عبد الحفيظ مومي على تفضله بالإشراف على هذا العمل ، وعلى تشجيعه وتحفيزه الدائمين والذي من دونهما لم يكن هذا العمل ليكتمل .

كما لا أنسى في هذا المقام توجيه الشكر لكل الذين قدموا لي يد العون من قريب أو بعيد لإنجاز هذا البحث وأخص منهم بالذكر : الأستاذ الدكتور عاشور بشير والدكتور عبد الحفيظ بريمة كما أتقدم بالشكر الجزيل للجنة التحكيم التي أتشرف بإشرافها على تقييم بحثي والمشكلة من أستاذي الأستاذ الدكتور كاجة محفوظ ، الأستاذ الدكتور بشير بوشكيمة ، الأستاذ الدكتور حسين بن موسى ، الأستاذ الدكتور نور الدين مومي والدكتور عبد الحفيظ بريمة .

كما أجدد شكري لوالدي وزوجتي وإخوتي الذين تجشموا معي وعناء تقلبات الدهر

كما أشكر ولدايا همام وتسليم اللذان تعبوا معي كثيرا واقتطعت منهم وقتا ثميناً لأجلس إلى مكثبي بعيداً عنهم

إلى كل هؤلاء أقول بارك الله فيكم وجزاكم عني كل خير

ناصر شوشان

# TABLE DES MATIERES

Tables des matières .....	III
Nomenclature des symboles .....	VI
Introduction générale.....	VII

## *Chapitre – I- Etude bibliographique*

Introduction .....	1
I-1 Coefficient de pertes de charge pour les écoulements laminaires et turbulents.....	2
I-2 Digramme de Moody.....	5
I-3 Coefficient de frottement pour les conduites non cylindriques .....	6
I-3-1 Ecoulement dans les canaux à section rectangulaires .....	6
I-3-1-1 Canal rectangulaire lisse (sans chicanes) .....	6
I-3-1-1-1 Frottements près des parois solides (frottement pariétale).....	6
I-4 Canal rectangulaire muni de rugosités artificielles dites chicanes.....	9
I-4-1 Canal de section rectangulaire avec chicanes transversales .....	10
I-4-2 Canal de section rectangulaire avec chicanes continues et discontinues.....	13
I-4-3 Chicanes inclinées et en formes de V.....	17
Conclusion.....	28

## *Chapitre – II- Etude expérimentale*

Introduction .....	29
II-1 Description du dispositif expérimental.....	29
II-2 Types de configurations de chicanes étudiées.....	34
II-2-1 Chicanes rectangulaires.....	34
II-2-1-1 Chicanes alignées en rangées.....	34
II-2-1-2 Chicanes alignées en quinconces .....	36
II-2-2 Chicanes triangulaires .....	38
II-2-2-1 Chicanes alignées en rangées.....	38
II-2-2-2 Chicanes en quinconces .....	39
II-2-3 Chicanes rectangulaires avec parties supérieures triangulaire inclinées .....	40
II-2-3-1 Chicanes alignées en rangées.....	40
II-2-3-2 Chicanes alignées en quinconces .....	42
II-2-4 Chicanes rectangulaires avec parties supérieures trapézoïdales inclinées .....	44



II- 2- 4 -1 Chicane alignées en rangées.....	44
II- 2- 4 - 2 Chicane disposées en quinconces.....	46
II-3 Tableaux de mesures des pertes de charge enregistrées.....	47
Conclusion.....	50

## ***Chapitre – III- Etablissement des modèles de calcul des pertes de charge***

III- Méthode du calcul.....	51
III-1 Cas des chicanes rectangulaires .....	51
III-1-1 Premier cas : Chicane alignées en rangées.....	53
III-1-1-1 Régime laminaire.....	53
III-1-1-2 Régime turbulent .....	58
III-1-2 Deuxième cas : Chicane en quinconces .....	61
III-1-2- 1 Régime laminaire.....	61
III-1-2- 2 Régime turbulent .....	66
III-2 Cas des chicanes rectangulaires – triangulaire , triangulaires et.....	69
rectangulaires – trapézoïdales	
III-2- 1 Cas des chicanes rectangulaires – triangulaires .....	72
III-2-1-1 Premier cas : Chicane en files alignées (en rangées) .....	72
III-2-1-1-1 Régime laminaire .....	72
III-2-1-1-2 Régime turbulent.....	76
III-2-1-2 Deuxième cas : Chicane disposées en quinconces.....	78
III-2-1-2-1 Régime laminaire .....	78
III-2- 1-2-2 Régime turbulent.....	80
III-2- 2- Chicane triangulaires .....	81
III-2- 2-1 Premier cas : Chicane disposées en rangées .....	81
III-2- 2-1-1 Régime Laminaire.....	81
III-2- 2-1-2 Régime turbulent.....	82
III-2-2-2 Deuxième cas : Chicane disposées en quinconces.....	83
III-2-2-2-1 Régime laminaire .....	83
III-2-2-2-2 Régime turbulent.....	84
III-2- 3 Chicane rectangulaires – trapézoïdales .....	86
III-2- 3-1 Premier cas : Chicane disposées en rangées .....	86
III-2- 3-1-1 Régime Laminaire.....	86

III-2- 3-1-2 Régime turbulent.....	87
III-2- 3-2 Deuxième cas : Chicanes disposées en quinconce .....	89
III-2- 3-2-1 Régime laminaire .....	89
III-2- 3-2-2 Régime turbulent.....	90
Conclusion.....	92

## ***Chapitre – IV- Résultats graphiques- discussions et interprétations***

Introduction .....	93
IV-1 Représentation graphique des pertes de charge en fonction du débit .....	93
IV-1-1 Cas: Disposition des chicanes en rangées.....	93
IV-1-2 Cas: Disposition des chicanes en quinconces.....	109
IV-2-Evolution du coefficient des pertes de charge $\lambda$ en fonction de Reynolds et du pas entre les rangées.....	116
Conclusion.....	120
<b>Conclusion générale</b> .....	121
<b>Références bibliographiques</b> .....	123

### Annexes

Annexe-1 Evolution des pertes de charge en fonction du débit .....	127
(Cas : Chicanes disposées en rangées)	
Annexe-2 Evolution des pertes de charge en fonction du débit .....	189
(Cas : Chicanes disposées en quinconces)	

# *Nomenclature des symboles*

## *Symboles*

---

$\Delta P$	Pertes de charge par frottement	[Pascal].
$\rho$	Masse volumique du fluide en écoulement (l'eau dans notre cas)	[ $kg/m^3$ ]
$V$	Vitesse de l'eau	[ $m/s$ ]
$L$	Longueur du canal	[ $m$ ]
$L_{ch}$	Longueur des chicanes	[ $m$ ]
$P_{e-ch}$	Pas entre les chicanes	[ $m$ ]
$P_{e-r}$	Pas entre deux rangées successives de chicanes	[ $m$ ]
$P_{e-s-ch}$	Pas entre les sommets des chicanes	[ $m$ ]
$D_H$	Diamètre hydraulique	[ $m$ ]
$f \Leftrightarrow \lambda$	Coefficient des pertes de pression	
$h$	Hauteur de la colonne du fluide	[ $m$ ]
$g$	Accélération de la pesanteur	[ $m/s^2$ ]
$Re$	Nombre de Reynolds	[ ]
$S$	Section de passage de fluide actuelle	[ $m^2$ ]
$P$	Périmètre mouillé	[ $m$ ]
$N_u$	Nombre de Nusselt	
$S_t$	Nombre de Stanton	
$Pr$	Nombre de Prandtl	
$W$	Largeur du canal	[ $m$ ]
$H$	Hauteur du canal	[ $m$ ]
$e$	Hauteur d'une nervure	[ $m$ ]
$e^+$	Nombre de Reynolds de rugosité	
$Q_v$	Débit volumique	[ $m^3/h.m^2$ ]
$h$	Coefficient de transfert thermique (Coefficient d'échange convectif)	[ $w/m^2.K$ ]

$V_{ex}$	Vitesse extérieure	[ m ]
$V_{int}$	Vitesse intérieure	[ m ]
$f_c$	Facteur de frottement pour un canal à section circulaire	
$C.R.T$	Chicanes Rectangulaires - triangulaire	
$C.R$	Chicanes rectangulaires	
$C.R.Tr$	Chicanes rectangulaires - trapézoïdales	
$C.T$	Chicanes triangulaires	
$C.R.T$	Chicanes Rectangulaires - triangulaire	

### ***Symboles grecs***

---

$\pi$	Indique un produit	
$\lambda$	Coefficient des pertes de pression	
$\theta$	Angle d'ouverture d'encoche ou Angle de chanfrein d'une nervure	[ degré ]
$\mu$	Viscosité dynamique	[ kg/m.s ]
$\varepsilon$	rugosité absolue des rugosités artificielles chicanes	[ m ]
$\nu$	Viscosité cinématique	[ m <sup>2</sup> /s ]
$\varepsilon_r$	Rugosité relative des rugosités artificielles chicanes	[ m ]
$\eta$	Paramètre de performance	[ ]
$\alpha$	Angle d'attaque des nervures en V ou inclinées	[ degré ]

## Introduction générale

Les écoulements de fluides en présence d'obstacles (dites chicanes) sont largement utilisés dans l'industrie, et leurs applications sont extrêmement variées. On peut les rencontrer dans le cas des problèmes d'environnement liés à la dispersion des polluants à travers les agglomérations ainsi que les effets du vent sur les bâtiments, la ventilation des tunnels routiers, les ailettes de refroidissement des engins thermiques, les chicanes des échangeurs de chaleur ou des capteurs solaires, dans les équipements électroniques, dans les réacteurs nucléaires, les canalisations urbaines, etc.

On distingue dans certaines machines thermiques (échangeurs thermique, capteurs solaires, cyclones...) que l'utilisation des chicanes a pour but d'optimiser les performances thermiques de ces machines et aussi pour augmenter la surface d'échange thermique et créer des perturbations à l'intérieur du fluide.

En vue d'optimiser les échanges thermiques convectifs dans les échangeurs de chaleur et des capteurs solaires plans à air, on introduit dans le conduit utile des chicanes de formes variées qui contribuent au transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement. Cependant leur présence induit une augmentation considérable des pertes de charge, qui dépendent de la forme, de la géométrie de disposition dans le conduit et du régime d'écoulement.

Plusieurs travaux scientifiques ont été menés dans cette thématique, qui se sont intéressés à la géométrie de disposition, du type et la forme de ces rugosités artificielles, dont le but est de trouver le meilleur compromis entre les formes optimales qui apporteraient le plus de gains d'énergie thermique véhiculer par le fluide et qui absorberaient en occurrence le moins d'énergie mécanique ou électrique nécessaire pour assurer un pompage continu entre les dipôles de l'échangeur.

Cette problématique a été traitée aussi dans les insolateurs solaires plans à air, dont le but est d'optimiser leurs performances thermiques, vu les faibles propriétés thermo-physiques de l'air médiocres en comparaison avec d'autres fluides caloporteurs. Par contre l'insertion des rugosités artificielles dites chicanes dans la veines d'écoulement d'air permet d'améliorer sensiblement leurs performances thermiques, les travaux expérimentaux ont montré que l'insertion de plusieurs rangées de chicanes dans l'espace utile des capteurs solaires à air, permet d'obtenir des rendements thermiques importants. On indique que pour un débit nominal de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  le rendement d'un insolateur sans chicanes n'est que de 47 % et qui passe aux environs de 67 % lorsque celui-ci est muni de chicanes, d'autre part l'élévation de température rapportée au flux solaire incident, passe de  $36 \text{ }^\circ\text{C.m}^2.\text{kw}^{-1}$  à  $51 \text{ }^\circ\text{C.m}^2.\text{kw}^{-1}$ .

Dans ce travail expérimental, on s'est intéressé à l'étude de l'effet hydrodynamique de la géométrie de quatre configurations de chicanes, où plusieurs rangées sont introduites à l'intérieur d'un canal rectangulaire en plexi-glass, où nous avons travaillé avec un fluide incompressible (eau) en raison des moyens matériels techniques disponibles.

Parmi les principaux objectifs de cette étude expérimentale, la mise en évidence, par des approches semi-empiriques des corrélations qui permettent d'estimer les pertes de charge occasionnées en présence de quatre modèles de rugosités artificielles réalisées de tôle d'acier galvanisé, en fonction des paramètres géométriques de ces chicanes, de leur configuration de disposition et du régime d'écoulement.

Un dispositif expérimental a été mis au point pour mesurer les pertes de charge induites par les chicanes de l'amont jusqu'à l'aval du conduit utile. Par la méthode de l'analyse dimensionnelle, on a pu établir des corrélations pour évaluer les pertes de charge en fonction du régime d'écoulement et des géométries de disposition et de configuration des chicanes.

La présente thèse de doctorat en science est structurée en quatre chapitres et une annexe.

Dans le premier chapitre on a présenté une synthèse bibliographique des principaux travaux effectués par les chercheurs devant les années passées. On a précisé dans notre étude les travaux effectués concernant l'effet de la géométrie des canaux munis de chicanes sur la variation des pertes de charge.

Dans le second chapitre, nous nous sommes intéressés dans un premier temps au prototype de canal rectangulaire (dispositif expérimental) qui a été réalisé. Nous avons fait ainsi une description détaillée du prototype et de l'appareillage associé. Dans un deuxième temps, nous avons montré les différentes configurations et les différentes valeurs des paramètres géométriques que nous avons utilisés dans notre étude expérimentale.

Le troisième chapitre consiste en une synthèse des données expérimentales pour élaborer un modèle numérique qui regroupe l'ensemble des paramètres géométriques et hydrodynamiques relatifs aux rugosités artificielles.

Les principaux résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du quatrième chapitre. Nous avons étudié brièvement dans ce chapitre la variation de chute et le coefficient de pression en fonction de chaque paramètre géométrique à partir des courbes analysées et commentées.

La partie annexe expose l'ensemble des mesures qui ont été effectuées sur le modèle expérimental pour les différents types des chicanes.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale précisant les perspectives ouvertes par ce travail.

# Chapitre I

Etude bibliographique



**Introduction :**

En vue d'optimiser les performances thermiques des capteurs solaires à air par intensification des échanges convectifs en particulier, on introduit dans le conduit utile des rugosités artificielles en sous formes diverses dites chicanes. La visualisation de l'écoulement par jet de fumées dans un conduit muni de plusieurs rangées de chicanes, montre que ces dernières contribuent à la réduction des zones mortes dans la veine d'air en écoulement, d'autre part leur présence est induite par une nette amélioration du transfert de chaleur par convection, par conduction et par rayonnement.

Les chicanes sont découpées en tôles d'aluminium, de cuivre ou d'acier galvanisé d'épaisseur 0,4 à 0,5 mm, disposées généralement en plusieurs rangées alignées en fil ou en quinconce, sont introduites dans la veine d'air mobile permettent de perturber l'écoulement que dans un capteur solaire sans chicanes et obligent le fluide de parcourir de longues trajectoires en assurant par conséquent un séjour plus important du fluide caloporteur en contact avec la surface chaude pour extraire davantage de calories.

Des travaux expérimentaux [1, 2, 3] ont montrés que l'insertion de plusieurs rangées de chicanes dans l'espace utile des capteurs solaires à air, permet d'obtenir des rendements thermiques importants. On indique que pour un débit nominal de  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  le rendement d'un insolateur sans chicanes n'est que de 47 % et qui passe aux environs de 67 % lorsque celui-ci est muni de chicanes, d'autre part l'élévation de température rapportée au flux solaire incident, passe de  $36 \text{ }^\circ\text{C.m}^2/\text{KW}$  à  $51 \text{ }^\circ\text{C.m}^2/\text{kW}$ .

Cependant l'introduction des chicanes induit l'accroissement des pertes de charge, qui implique une puissance mécanique importante pour le pompage du fluide caloporteur depuis l'entrée du capteur jusqu'à la sortie

On définit la rugosité comme l'état d'une surface présentant des aspérités, d'un point de vue plus descriptif, on peut la définir comme le caractère onduleux (ondulations à grande échelle) et l'irrégularité (ondulations à petite échelle) d'une surface. (Indraratna, 2001). Dans le domaine des sciences de l'ingénieur, le terme « rugosité » est également utilisé pour représenter les paramètres qui décrivent qualitativement ou quantitativement le caractère irrégulier d'une surface. Or, on trouve dans la littérature un grand nombre de paramètres différents pour décrire l'état d'une surface et, donc, autant de définitions de la rugosité. Même si, pour la caractérisation des surfaces d'éléments mécaniques, de verres optiques ou de certains matériaux plastiques, il existe des paramètres (majoritairement statistiques qui sont à présent harmonisés grâce à des normes internationales (ISO 4287, 1302 et 12085 ou DIN 4761, 4762 et 4768 par exemple) [1].

Le tableau suivant donne quelques valeurs de la rugosité absolue qui dépendent essentiellement du matériau en contact avec le fluide [2].

Matériaux	Conditions	Rugosité absolue en mm
Acier	Feuille de métal nouvelle	0.05
	Acier inoxydable	
	Commercial, nouveau	0.002
	Rivé	0.046
	rouillé	0.2 – 0.3
Fer	Fonte, nouvelle	0.26
	Forgé, nouveau	0.046
	Galvanisé, nouveau	0.15
	Fonte asphaltée	0.12
Cuivre	Tube étiré	0.002
Plastique	Tube étiré	0.0015
Verre		lisse
Béton	Lisse	0.04
	Rugueux	2.0
Caoutchouc	Lisse	0.01
Bois	Défoncé	0.5

**Tableau (I-1) :** Rugosités absolues de quelques matériaux

### **I-1-Coefficient de pertes de charge pour les écoulements laminaires et turbulents**

Dans la littérature on définit le coefficient des pertes de charge dit aussi coefficient de friction, l'expression désigné par Darcy-Weisbach pour les écoulements dans les conduits tel que :

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{2D_H} \rho V^2} \quad (\text{I-1})$$

Le coefficient des pertes de charge peut être évalué par diverses relations, selon la nature du régime d'écoulement, dont la formule est aussi valable pour les canaux ouverts que pour les conduites fermés [3].

Où  $\Delta P$  est la chute de pression due à la friction seulement. Sa dimension est en  $[N/m^2]$  ou en  $[Pa]$ .

Nous pouvons écrire cette équation pour calculer la chute de pression :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} f \rho V^2$$

En utilisant  $\Delta P = \rho g h$ , nous pouvons écrire pour la chute de pression exprimée en fonction de la hauteur de la colonne du fluide mesuré par un manomètre différentiel ou incliné la relation :

$$h = \frac{L}{2gD_H} f V^2$$

Plusieurs travaux expérimentaux notamment ceux de *Blasius*, *Prandtl* et *Nikuradse* [4] ont permis d'établir des abaques donnant  $f$  en fonction du nombre de *Reynolds* et la rugosité relative, qui est exprimée par le rapport entre la rugosité absolue  $\varepsilon$  de la conduite et son diamètre hydraulique équivalent  $D_H$ , L'abaque la plus utilisée est celle de *Moody* [4].

*Colebrook -White* a proposé une corrélation pour calculer le coefficient de perte de charge  $f$  qui correspond aux données de l'abaque de *Moody*.

Dans le cas d'un régime laminaire, le coefficient de friction  $f$  est indépendant de la rugosité relative, il est uniquement fonction du nombre de *Reynolds* et est donnée pour une section circulaire par l'expression suivante [4].

$$f = \frac{64}{Re}$$

En régime turbulent dans le cas des conduits lisses, plusieurs relations peuvent être utilisés pour le calcul du coefficient de friction  $f$ , on retient celles de :

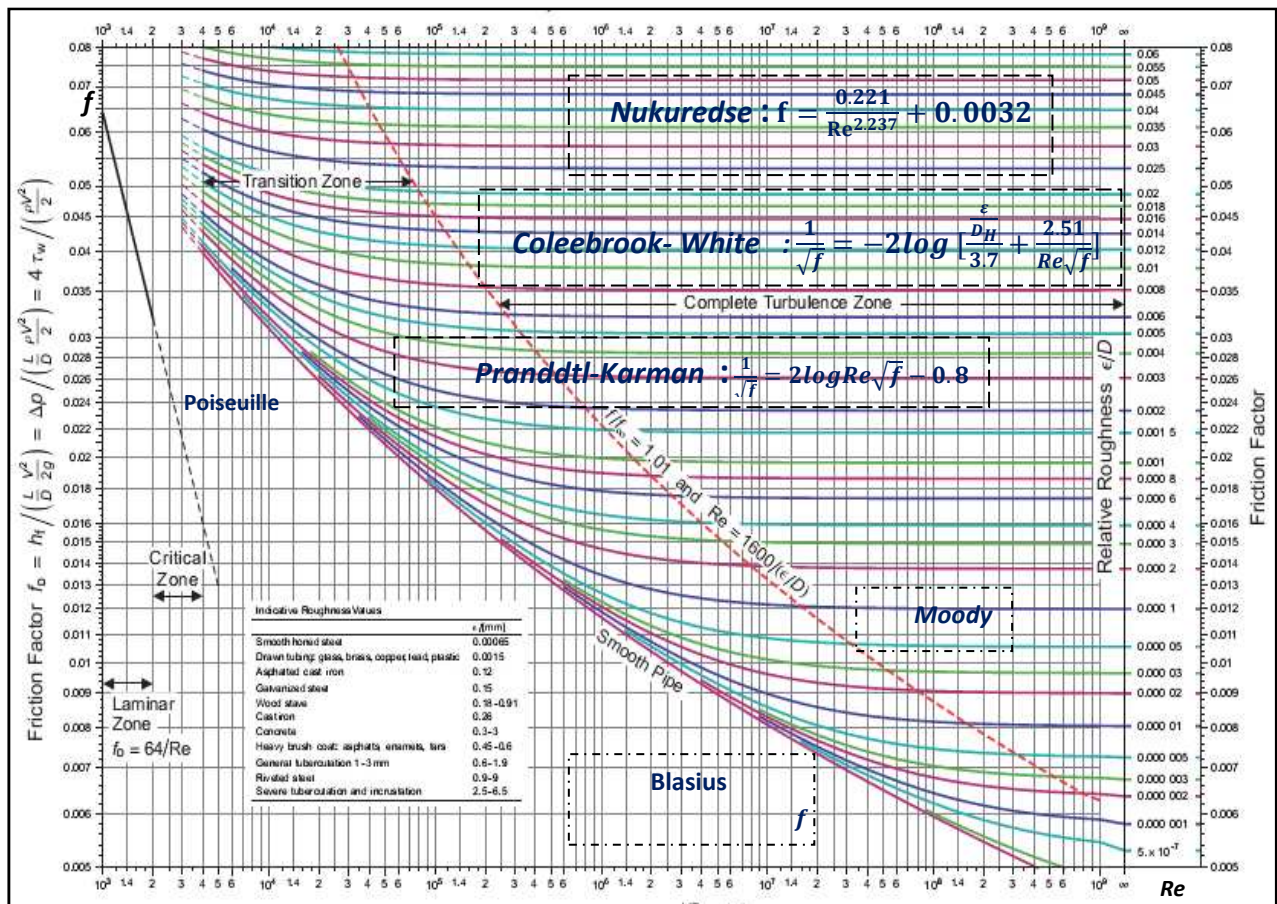


Figure (I-1) : diagramme de Moody [6]

- Karman-Prandtl [4] :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re \sqrt{f} - 0.8 \tag{I-2}$$

- Nikuradse :

$$f = \frac{0.221}{Re^{2.237}} + 0.0032 \tag{I-3}$$

- Blasius Valable pour  $Re < 10^5$  :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \tag{I-4}$$

Dans le cas des conduits rugueux, plusieurs relations qui peuvent être employées pour caractériser le coefficient des pertes de charge  $f$  sont citées.

En régime d'écoulement turbulent dans les conduits rectilignes à section circulaire, la relation empirique pour le calcul du coefficient de friction en fonction de Reynolds et de la rugosité relative est dérivée par l'expression de **Colebrook** (1939) [5]. C'est une relation implicite qui représente assez bien les résultats expérimentaux obtenus par plusieurs chercheurs en utilisant

différents fluides. L'équation implicite de **Colebrook -White** est valable pour  $Re_{cr} \gg 2300$  est décrite par :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\varepsilon}{D_H}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (\text{I-5})$$

Où  $\frac{\varepsilon}{D_H}$  est la rugosité relative.

Depuis la première fois que l'équation de **Colebrook** est éditée, plusieurs travaux de recherches ont été publiés, des relations qui sont plus précises mais plus complexes, entre autres, on peut mentionner l'équation de **Pecornic** (1963) et de **Haaland** (1983) [6] :

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{15}{Re} + \frac{\varepsilon}{3.715 D_H} \right) \right]^2} \quad (\text{I-6})$$

Cette dernière équation est valable pour  $4 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^8$  et  $\frac{\varepsilon}{D_H} = 0.01$  à  $5 \times 10^{-5}$ ,

L'erreur maximale est de 6%.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D_H}}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \quad (\text{I-7})$$

L'erreur commise par l'équation de **Haaland** est environ de 2% par rapport à l'équation de **Colebrook**.

### I-2-Diagramme de Moody :

On se basant sur l'expression de **Nikuradse** [7], sur l'analyse mathématique de **Prandtl**, et **Karman**, sur les observations de **Colebrook** et **White** (1936) et sur un grand nombre d'expériences effectuées sur les conduites industrielles, **Moody** (1944) [6] a publié un diagramme logarithmique, où le coefficient de friction  $f$  est donné en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative  $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D_H}$ .

Le diagramme de Moody tel que montré par la figure (I-2). Il a une précision de  $\pm 15\%$  dans la région utilisée de la figure.

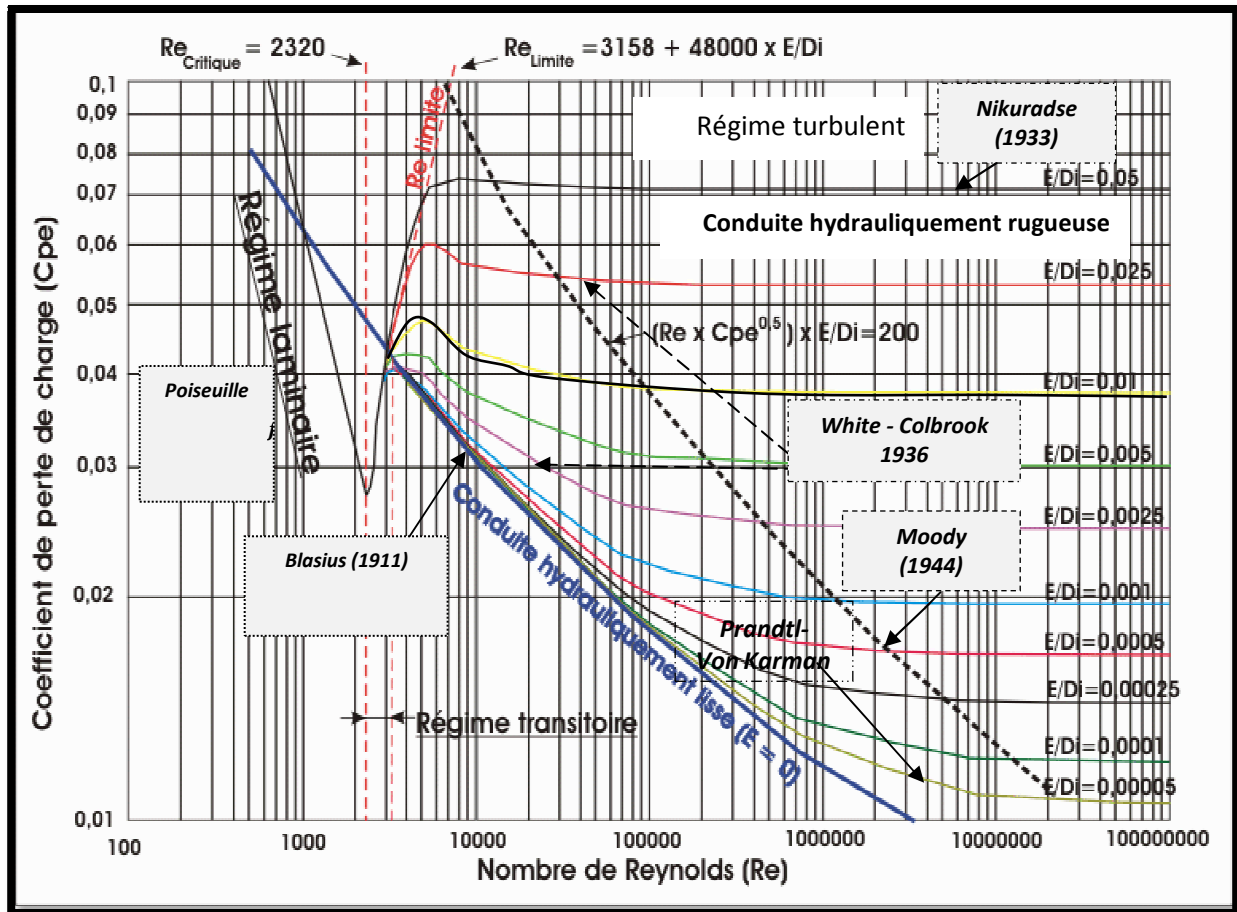


Figure (I-2) : diagramme de Moody Pour  $Re > 10^3$  [6]

D'après le diagramme de Moody, le coefficient de frottement dans la zone de l'écoulement turbulent rugueux prend une valeur déterminée pour une rugosité relative donnée tel que :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\varepsilon}{D_H}}{3.7} \right] \quad (\text{I-8})$$

Dans la zone de transition, le coefficient de frottement est en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative caractérisée par l'expression suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\varepsilon}{D_H}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (\text{I-9})$$

Dans la zone pratiquement lisse, le coefficient de frottement n'est fonction que du nombre de Reynolds [8] tel que :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (\text{I-10})$$

### I-3- Coefficient de frottement pour les conduites non cylindriques

Dans ce cas, l'équation (I-1) reste valide à condition de remplacer le diamètre circulaire par le diamètre hydraulique équivalent.

$$D_H = \frac{4S}{P}$$

Où  $S$  est la section de passage de fluide actuelle et  $P$  le périmètre mouillé sur lequel le cisaillement visqueux agit.

### I-3-1- Ecoulement dans les canaux à section rectangulaire :

Pour caractériser l'écoulement dans le canal, d'un point de vue dynamique et thermique on utilise classiquement les nombres adimensionnels suivants :

- Le nombre de Reynolds :  $Re = \frac{VD_H}{\nu}$
- Le nombre de Nusselt :  $N_u = h \frac{D_H}{\lambda}$
- Le nombre de Stanton :  $S_t = \frac{N_u}{RePr}$

#### I-3-1-1-Canal rectangulaire lisse (sans chicanes)

Généralement les écoulements dans les canaux lisses servent de référence pour toutes les études d'amélioration des échanges convectifs avec des perturbateurs. Le nombre de Nusselt est utilisé pour caractériser les échanges convectifs entre les parois chaudes et les fluides caloporteurs utilisés tel que l'air ou l'eau qui circule dans le canal. Il est important de souligner que l'amélioration des échanges convectifs par des perturbateurs telle que les chicanes, se manifeste par un accroissement des pertes de charge qui sont dues aux forces de frottement à proximité des parois solides en question.

Dans notre présente étude nous nous intéressons uniquement aux effets aérodynamiques des rugosités sur les caractéristiques dynamiques des écoulements [9].

#### I-3-1-1-1-Frottements près des parois solides (frottement pariétale) :

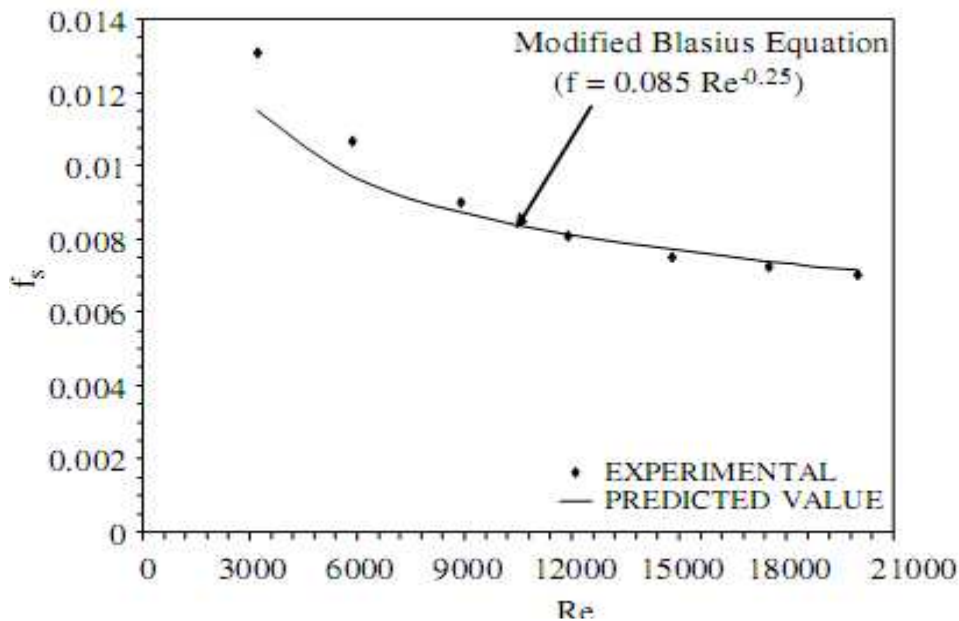
La corrélation la plus répandue pour l'expression du coefficient de frottement à la paroi est celle de *Blasius* modifiée [15],[ 14 ],[ 12],[ 11] .

$$f = 0.084Re^{-0.25} \tag{I-11}$$

Dans les résultats expérimentaux rencontrés, l'écart le plus important avec cette corrélation de *Blasius* modifiée se trouve toujours pour les faibles nombres de Reynolds.

La figure (I-3) illustre cette déviation pour les faibles nombres de *Reynolds* ou la corrélation sous estime le coefficient de frottement par rapport aux résultats expérimentaux de *JAURKER et al* [12].





**Figure (I-3)** : Coefficient de frottement en fonction de Reynolds pour un canal lisse à section rectangulaire [12].

On retrouve cet écart avec la corrélation de *Blasius* modifiée pour les faibles nombres de Reynolds chez *MOMIN et al* [15] et *BHAGORIA et al* [14], *CHAUBES et al* [11] qui utilisent également cette corrélation dans leurs études purement numériques mais simplement en tant que référence du cas lisse et d'élément de comparaisons pour les configurations avec perturbateurs. La corrélation de *BHATTI et SHAH* [13] et [17] semble mieux se comporter pour les faibles nombres de Reynolds que la corrélation de *BLASIUS* modifiée, en effet elle coïncide mieux avec les points expérimentaux, son expression est la suivante :

$$f = (1.0875 - 0.1125 \frac{H}{W}) f_c \quad (1-12)$$

Où,  $\frac{W}{H}$  représente le rapport d'aspect du canal,  $f_c$  est le facteur de frottement pour un canal à section circulaire tel que :

$$f_c = 0.0054 + 2.3 \times 10^{-8} Re^{1.5} \quad \text{Pour } 2300 \leq Re \leq 4000$$

$$f_c = 1.28 + 0.1143 Re^{1.5} \quad \text{Pour } 4000 \leq Re \leq 10^7$$

Dans leur étude expérimentale *KARWA et al* [13] obtiennent des résultats conformes à la corrélation de *BHATTI et SHAH* pour les faibles nombres de Reynolds dont le rapport d'aspect  $\frac{W}{H} = 4.82$ , cependant pour  $\frac{W}{H} = 7.96$ , leurs résultats expérimentaux aux faibles nombres de Reynolds sont légèrement sur estimés par cette corrélation.



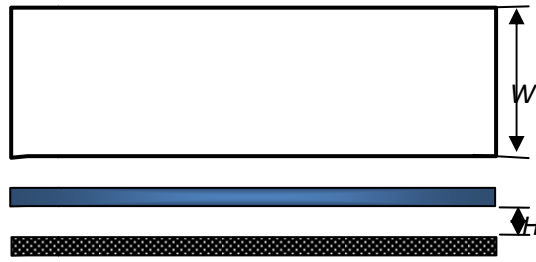


Figure (I-4) : Schéma général d'un canal rectangulaire

Sans rugosités ou nervures (chicanes) [10]

**KARWA** [17] utilise également cette corrélation de **BHATTI** et **SHAH** pour le cas lisse. **KARWA** et *al* [13] comparent les corrélations de **BHATTI** et **SHAH** à celles de **BLASIUS**, Ces mêmes auteurs [13] proposent la corrélation suivante :

$$f = 0.0791Re^{-0.25} \quad \text{pour } 4000 \leq Re \leq 10^5.$$

La corrélation de **BLASIUS** sous estime un peu le facteur de frottement par rapport à celle de **BHATTI** et **SHAH**. La figure (I-5) regroupe ces principales corrélations rencontrées dans la littérature concernant la formulation du coefficient de frottement pour un canal lisse rectangulaire.

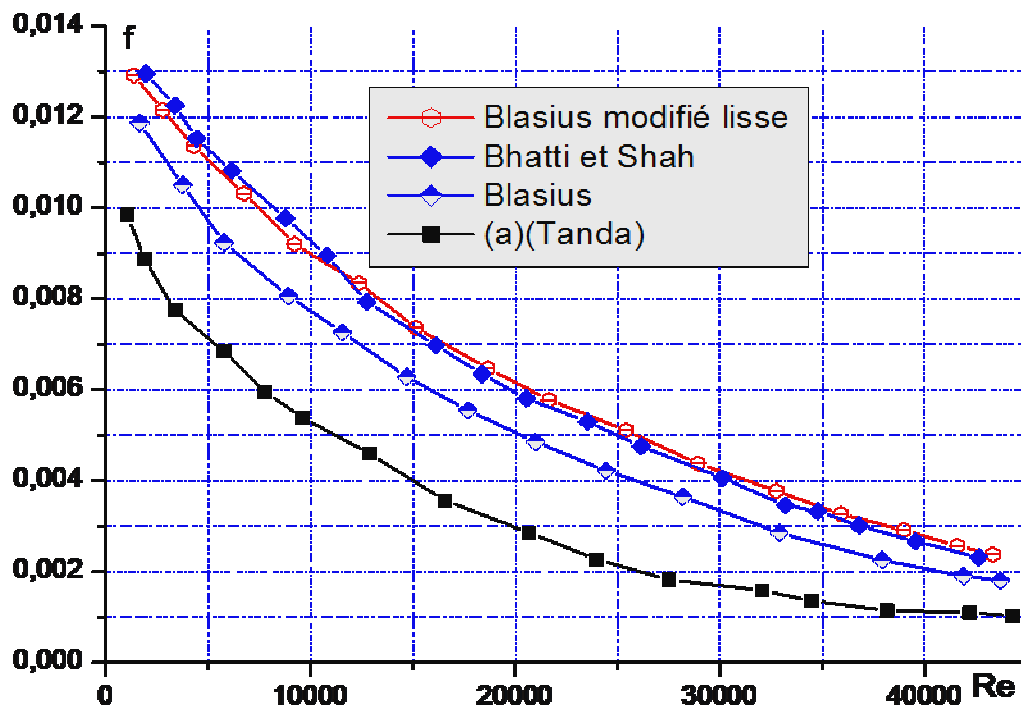


Figure (I-5) : Dispersion entre les différentes corrélations du facteur de frottement en fonction du nombre de Reynolds.

D'après la figure (I-5) la corrélation (a) employée qui est à l'issue des travaux de **TANDA** [16] est de la forme suivante :

$$f = 0,046Re^{-0.2} \quad (I-14)$$

Comme nous l'avons vu précédemment, la corrélation de **BHATTI** et **SHAH** s'exprime de deux manières différentes selon la valeur de Reynolds ( $Re$ ). La première expression couvre la gamme  $2300 \leq Re \leq 4000$  et la seconde  $4000 \leq Re \leq 10^7$ .

La figure (I-5) montre que pour les faibles nombres de Reynolds, on obtient une évaluation particulière du facteur de frottement par rapport aux auteurs.

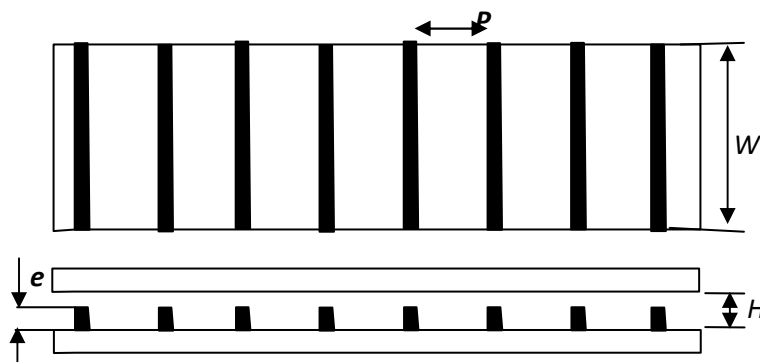
D'une manière très générale, le coefficient de frottement décroît lorsque le nombre de Reynolds augmente, cette décroissance est moins forte dès lors que le nombre de Reynolds devient plus grand.

#### I-4- Canal rectangulaire muni de rugosités artificielles dites chicanes :

Dans les échangeurs de chaleur et les insolateurs solaires plans à air et à eau, différentes configurations des chicanes sont placés sur la paroi chauffée, qui ont pour rôles d'augmenter les échanges convectifs. D'un point de vue industriel, il est important de regarder aussi l'évolution du coefficient de frottement et des pertes de charges qui peuvent être occasionnées par ces chicanes.

Pour caractériser les dimensions d'un canal rectangulaire muni de chicanes, les paramètres suivants sont souvent utilisés :

- Diamètre hydraulique :  $D_H = \frac{4WH}{2(W+H)}$
- Rapport d'aspect du canal :  $\frac{W}{H}$ .
- Espacement relatif des nervures :  $\frac{P}{e}$ .
- Rapport de la longueur du canal sur son diamètre hydraulique  $\frac{L}{D_H}$



**Figure (I-6) :** Schéma d'un Canal rectangulaire muni de nervures  
(Chicanes transversales)

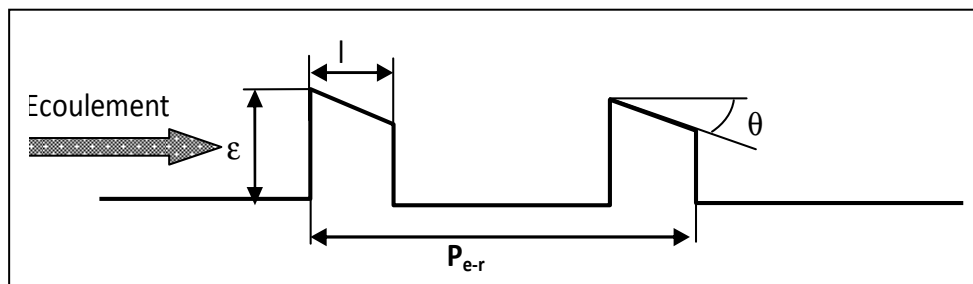
### I-4-1-Canal de section rectangulaire avec chicanes transversales :

Dans les études traitant sur l'augmentation des performances thermiques de l'écoulement dans un canal rectangulaire muni des chicanes transversales, les auteurs examinent l'influence des paramètres géométriques suivants tel que représentés par les figures (I-7) et (I-8) :



**Figure ( I-7) :** Canal rectangulaire à nervures (chicanes) transversales [10]

- Hauteur absolue d'une chicane  $\varepsilon$ .
- Largeur de la chicane  $l$ .
- Espacement ou pas entre les rangées des chicanes  $P_{e-r}$ .
- Angle de chanfrein sur la chicane  $\theta$ .



**Figure (I-8) :** Paramètres géométriques des chicanes transversales en forme de nervures [10].

A la manière de *NIKARADSE* [18], certains auteurs présentent leurs résultats en termes de fonctions de rugosité  $R$  et de nombre de Reynolds de rugosités  $e^+$ , ces fonctions s'expriment :

$$R = \sqrt{\frac{2}{f}} + 2.5 \ln \left( \frac{2\varepsilon}{D_H} \right) + E \quad (\text{I-15})$$

Et

$$e^+ = \sqrt{\frac{f}{2}} Re + 2.5 \ln \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right) \quad (\text{I-16})$$

Où,  $e$  est une constante géométrique qui dépend de la configuration du canal, *NIKURADSE* [18] met en évidence trois régimes d'écoulement selon la valeur de  $e^+$  :

❶  $-0 \leq e^+ \leq 5$ : correspond aux écoulements hydrauliques lisses. Dans cette gamme le coefficient de frottement rugueux est entièrement submergé à l'intérieur de la sous couche visqueuse laminaire.

②  $-5 \leq e^+ \leq 70$  : correspond aux écoulements rugueux de transition. Ici, les éléments rugueux sont du même ordre de hauteur que l'épaisseur de la sous couche laminaire.

③  $e^+ > 70$  : correspond aux écoulements complètement rugueux. La fonction de rugosité  $R$  dans cette gamme, est indépendante de  $e^+$  et atteint une valeur constante. Les éléments de rugosité dépassent ici largement l'épaisseur de la sous couche laminaire.

En fin, les résultats de frottement peuvent être corrélés pour les différentes configurations dans le tableau suivant qui présente les différentes gammes des paramètres étudiés par **KARWA** et *al.* [13].

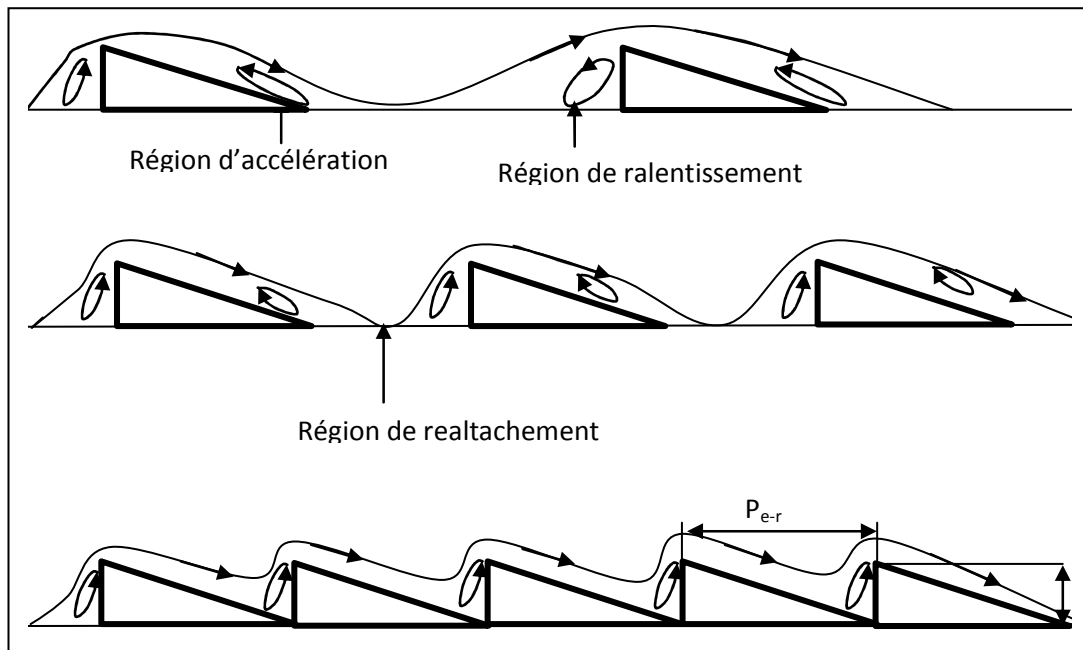
<i>Paramètres expérimentaux</i>	<i>Les valeurs des paramètres</i>
Nombre de Reynolds ( $Re$ )	3000-20000
Rapport d'aspect du canal ( $W/H$ )	4.8 ,6.1 ,7 .75 ,9.66 ,12 .0
Le rapport entre la longueur de la chicane et le diamètre hydraulique ( $l/D_H$ )	32.66
La rugosité relative ( $\varepsilon/D_H$ )	0.014 ,0.0176 ,0.021 ,0.027, 0.032
Angle de chanfrein sur chicane ( $\theta$ )	-15, 0,5, 10, 15,18°
Rapport $\left( \frac{P_{e-c}}{\varepsilon} \right)$	4.5, 5.8, 7.0, 8.5

**Tableau (I-2) :** conditions expérimentales considérées [13].

Il ressort de leur étude que le maximum d'échange convectif est atteint pour 15° d'angle de chanfrein sur la tête de la chicane et que le rapport de forme  $\left( \frac{W}{H} \right)$  du canal muni des chicanes a un fort impact sur le coefficient d'échange convectif et sur le facteur de frottement.

Pour **BHAGORIA** et *al* [14], l'angle de chanfrein optimal se situe plutôt autour de 10°. Leurs travaux mettent aussi l'accent sur l'importance de l'espacement entre deux rangées des chicanes. Pour augmenter les échanges thermiques, il faut, pour une longueur de plaque donnée, avoir le maximum de points de rattachement de l'écoulement possible, si les chicanes sont trop espacées, on aura peu de points de rattachement, si elles sont par contre trop proches, il n'ya pas de

rattachement possibles. Il faut donc trouver un compromis comme  $c'$  est schématisé sur la figure (I-9) suivante :



**Figure (I-9) :** Schématisation des structures d'écoulement en fonction de l'espacement entre les rangées des chicane [14]

Les résultats obtenus montrent notamment un maximum d'échange convectif pour un espacement relatif  $\frac{P_{e-r}}{\varepsilon} = 7,75$ . Néanmoins au maximum, l'impacte de l'espacement des chicane sur le transfert est d'autant moins visible que lorsque le nombre de Reynolds augmente.

Concernant la hauteur des chicane, les travaux de **KARWA et al** [13], celles de **BHAGORIA et al** [14], montrent que le bon compromis est lorsque  $\varepsilon$  vaut la hauteur de la sous couche laminaire, en dessous la sous couche laminaire submergé les chicane et l'écoulement n'est pratiquement pas perturbé, et au-delà, les chicane se trouvent dans la zone de transition (laminaire, turbulent) et les pertes de charge par frottement sont trop importantes devant le peu de gain en transfert convectif. Les travaux de ces mêmes auteurs [39] aboutissent à des relations expérimentales du nombre de **Nusselt** et du coefficient de frottement en fonction des paramètres suivants :

$$Nu = f_n \left( Re, \frac{\varepsilon}{D_H}, \frac{P_{e-r}}{D_H}, \theta \right)$$

$$f = f_n \left( Re, \frac{\varepsilon}{D_H}, \frac{P_{e-r}}{D_H}, \theta \right)$$

Leurs corrélations sont les suivantes :

$$Nu = 1.89 \times 10^{-4} \times Re^{1.21} \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.426} \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{2.94} \times A\left(\frac{\theta}{10}\right)^{-0.018} \cdot B \quad (I-17)$$

Avec,  $A = \exp\left(-0.71\left(\ln\left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)\right)^2\right)$

Et,

$$B = \exp\left(-1.50\left(\ln\left(\frac{\theta}{10}\right)\right)^2\right)$$

$$f = 12.44 \times Re^{-0.18} \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.99} \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.52} \times \left(\frac{\theta}{10}\right)^{0.49} \quad (I-18)$$

#### I-4-2-Canal de section rectangulaire avec chicane continues et discontinues :

Au lieu d'utiliser des chicanes transversales qui occupent toute la largeur du canal d'écoulement (chicane continue), une variante consiste à positionner des chicanes discontinues comme représentés sur la figure (1-10) issue de l'étude de **CAVALLERO et al** [10].

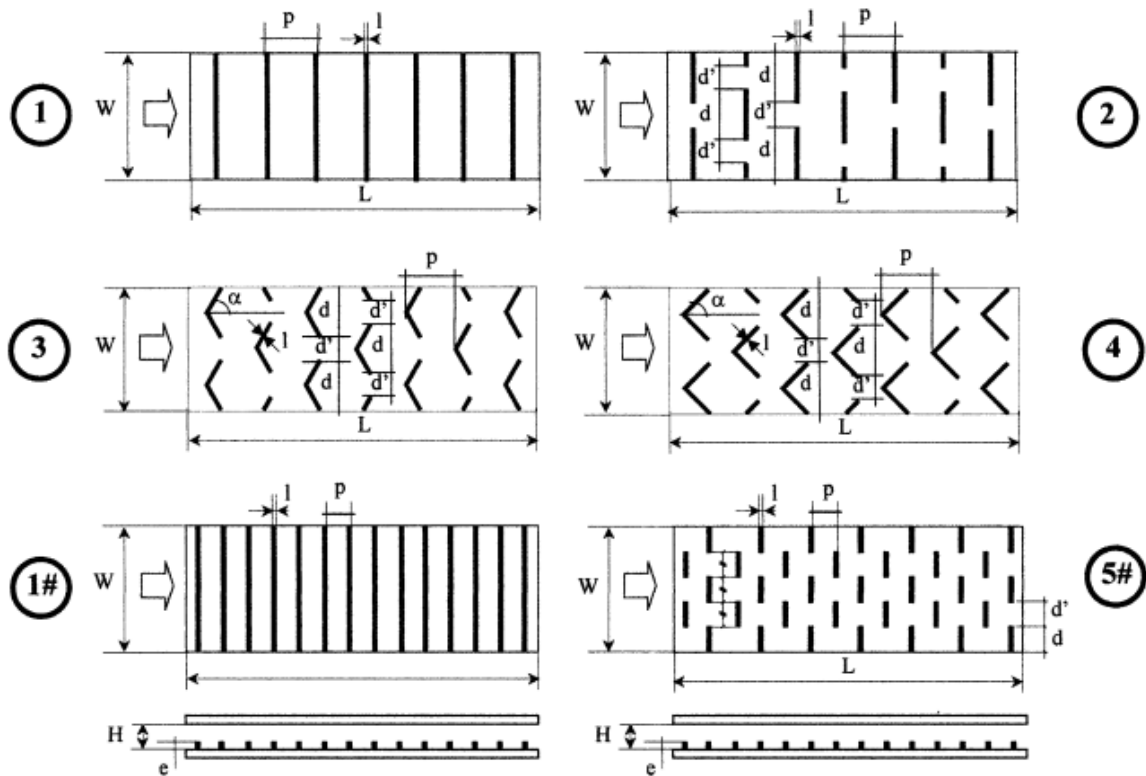
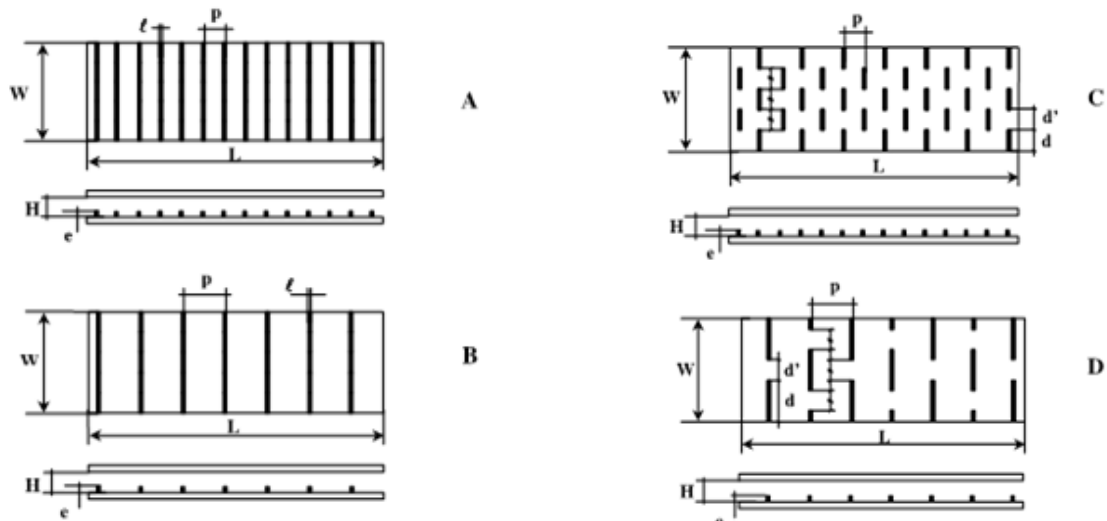


Figure (I-10) : Configurations de chicanes continues ou discontinues [16], [10]

**CAVALLERO et al** [10] comparent dans leur étude les différentes configurations présentées sur la figure (1-10) par rapport au cas lisse .La comparaison est effectuée ici à débit fixé et identique pour tous les cas suscités (non pas à pertes de charges identiques). Les résultats donnent, pour les chicanes transversales continues, un coefficient d'échange d'un rapport d'environ 2 fois comparé au cas lisse et d'un rapport 3 pour les chicanes discontinues.



**Figure (I-11) : Configurations de chicanes continues ou discontinues [10]**

**CHAUBE** et *al* [11] utilisent le coefficient de performance comme paramètre de comparaison entre les différentes configurations munies des chicanes et le cas lisse. Pour des applications industrielles, il est préférable de comparer les performances des différentes géométries des chicanes testées pour une même puissance de pompage donnée et pour des pertes de charge tenues fixes.

L'étude numérique de **CHAUBE** et *al* [11] traite uniquement des chicanes transversales continues. Ils confirment que le maximum d'échange convectif local se trouve au niveau des points de rattachement de l'écoulement. Sur les trois ou quatre premières rangées des chicanes, les pics de coefficient d'échange vont en décroissance puis se stabilisent et restent périodiques ensuite. Comme le montrent les figures (I-12, I-13 et I-14), les meilleurs échanges thermiques sont atteints avec les chicanes chanfreinés (avec d'angle d'inclinaison) mais le meilleur facteur de performance est atteint avec les chicanes rectangulaires de dimension  $3 \times 5$  mm.

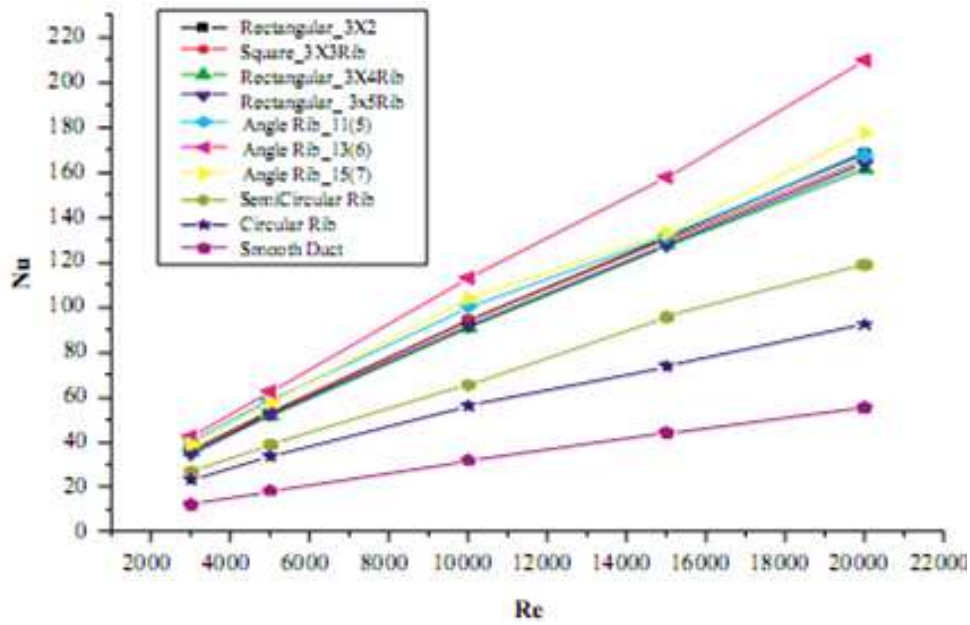


Figure (I-12) : Evolution de Nusselt en fonction de Reynolds pour différentes géométries des chicanes [11]

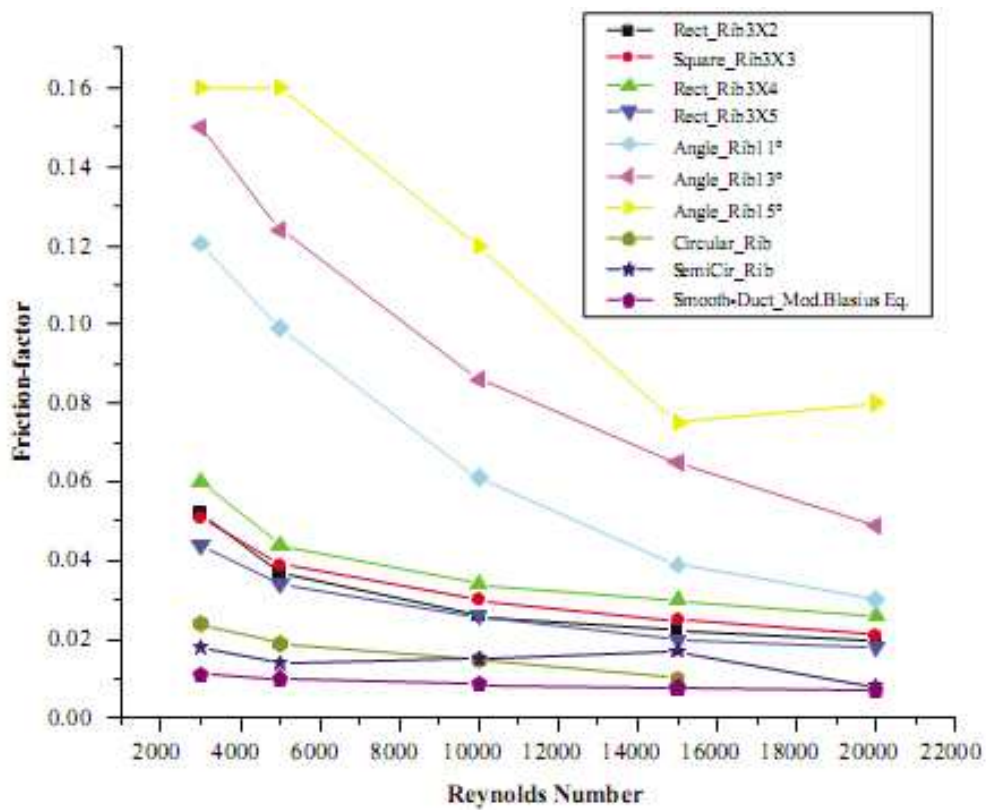


Figure (I-13) : Evolution du coefficient de frottement en fonction de Reynolds pour différentes géométries des chicanes [11]



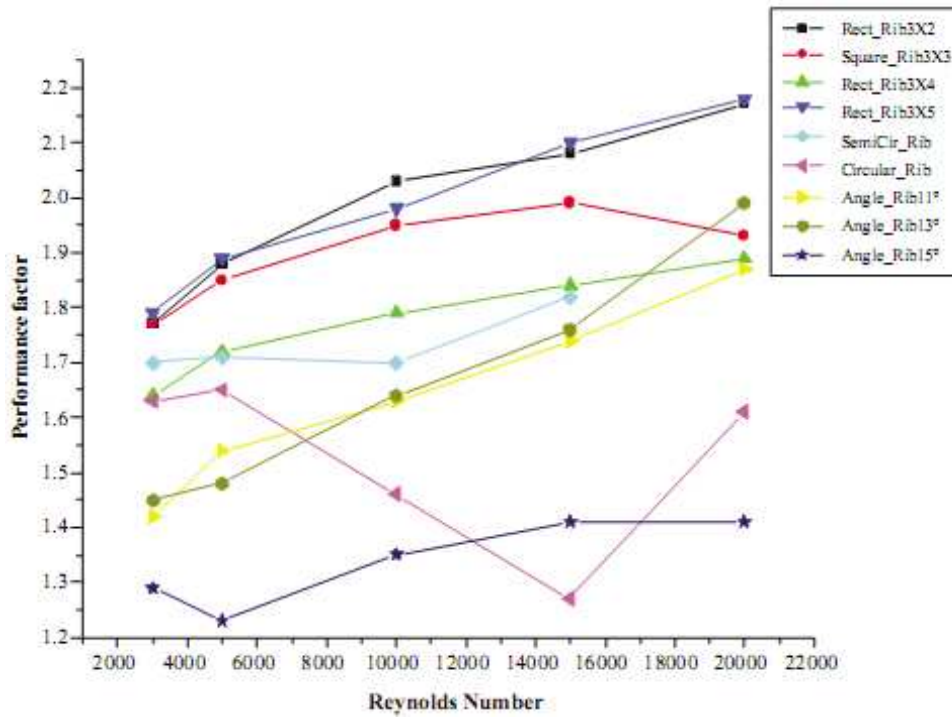


Figure (I-14) : Coefficient de performance en fonction de Reynolds pour différentes géométries des chicanes [11]

TANDA [16] a réalisé une étude expérimentale sur de nombreuses configurations des chicanes différentes. Pour des pertes de charge données, il trouve deux configurations à des niveaux de transfert convectif équivalent. Ces deux configurations sont représentées sur la figure (I-15) (a) et (b) dont les détails sont montrés d’après le tableau (I-3).

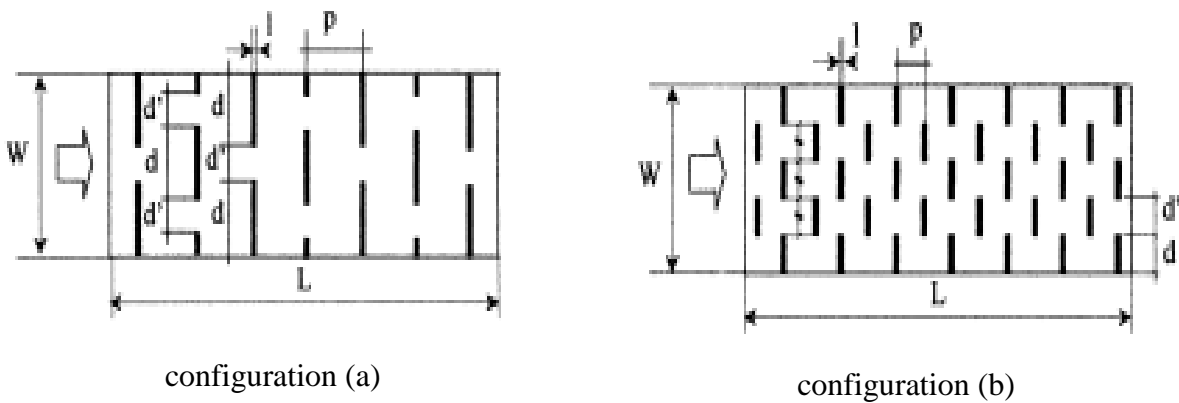


Figure (I-15) : configurations de disposition des chicanes.

Les configurations (a) et (b) sont les suivantes :

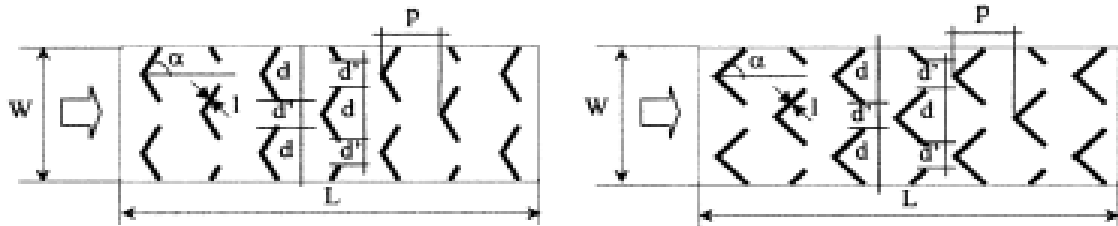
	e[mm]	l [mm]	d[mm]	d/D <sub>H</sub> [mm]	e/D <sub>H</sub>	p/e	e/H
(a)	3	3	40	20	0.09	13.3	0.15
(b)	5	5	20	20	0.15	4.0	0.25

**Tableau (I-3) :** disposition des chicane configurations (a) et (b)

Il est difficile de ressortir des conclusions des résultats de **TANDA** [16] puisqu'il a souvent fait varier plus d'un paramètre à la fois d'une configuration à l'autre, cependant il en ressort que les chicanes discontinues offrent de meilleures performances thermiques que les chicanes continues.

#### I-4-3-Chicanes inclinées et en formes de V :

Les travaux effectués par **TANDA** [16] sur des chicanes en forme de V fig. (I-16), montrent que cette configuration de chicanes est moins performante en comparaison avec celles de formes transversales continues, ce n'est pourtant pas le résultat de plusieurs auteurs qui ont également étudiés des configurations similaires à ce type d'ailettes



**Figure (I-16) :** conduit muni de chicanes disposées en quinconces en forme de V [16]

L'étude expérimentale entamée par **KARWA** [17] qui s'est intéressé aux échanges thermiques et au frottement lors de l'écoulement d'un fluide dans un canal rectangulaire garni de plusieurs rangées de chicanes de formes rectangulaires insérées transversalement par rapport au sens de l'écoulement, qui sont inclinées, en Continu ou en forme de V–discontinu Figure (I-17).

Les paramètres géométriques considérés dans cette étude expérimentale sont les suivants :

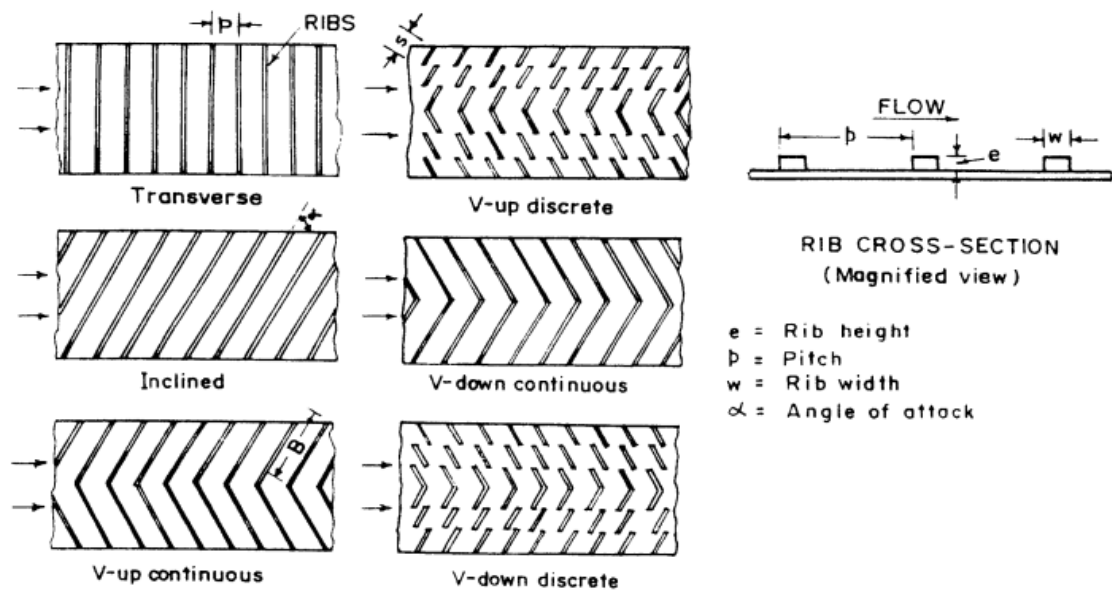
$$\frac{W}{H} = 7.19 \text{ à } 7.75$$

$$\frac{P_{e-r}}{\varepsilon} = 10$$

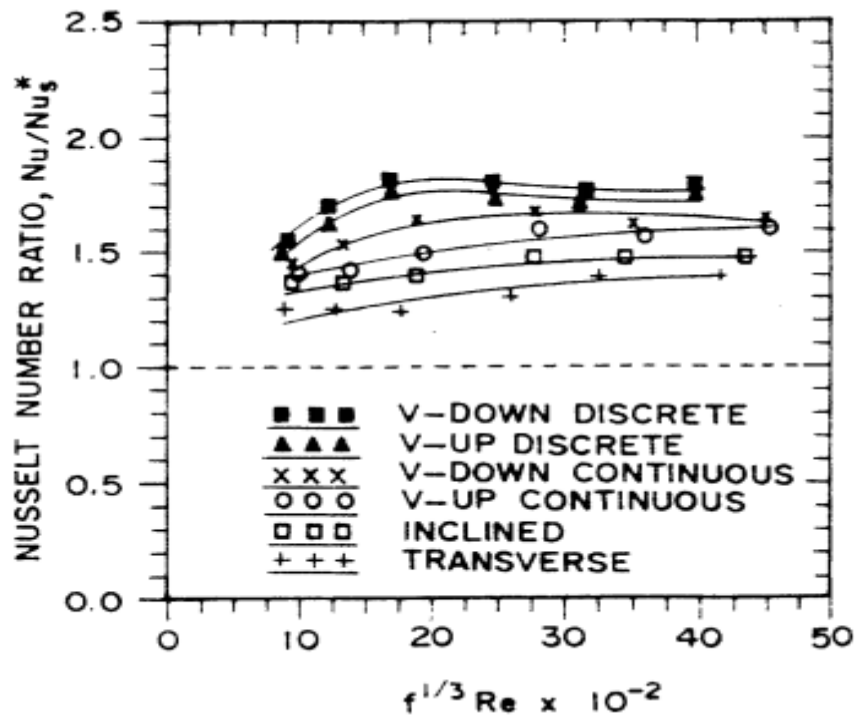
$$\frac{\varepsilon}{D_H} = 0.0467 \text{ à } 0.0500$$

L'angle d'inclinaison des chicanes dans la configuration inclinée ou en V est de  $60^\circ$ . La plage de Reynolds balayée est de 2800 à 15000, d'autre part le Reynolds rugueux  $e^+$  va de 17 à 90. La paroi rainurée du canal est uniformément chauffée, tandis que les trois autres parois sont isolées.

La comparaison des performances des différentes configurations à même puissance de pompage (ou pour les mêmes pertes de charge) montre que la disposition des chicanes en V discontinue avec la pointe du V dans le sens de l'écoulement donne de meilleures performances en terme d'échange convectif (figure (I-18)). A l'encontre de ce dernier résultat, les travaux de **MOMIN** et **al** [15] prouvent que les meilleures performances sont réalisées en présence de la configuration en forme en V dans le sens opposé à l'écoulement.



**Figure (I-17):** Configuration des chicanes en formes de V testées et celles en forme de rainures selon [17]



**Figure (I-18)** : Performance thermique obtenue à pertes de charges identiques [17]

Pour les mêmes conditions de travail et pour les mêmes paramètres étudiés par **KARWA** [17], **MOMIN** et *al* [15] qui confirment que la configuration en forme V insérés à sens opposé à l'écoulement est légèrement plus performante que celles avec la pointe du V dirigée dans le sens de l'écoulement. Ils étudient ainsi l'influence de l'inclinaison de la forme V. Fig.(I-19) sur les performances thermiques et le frottement aérodynamique généré par cette configuration de chicane.

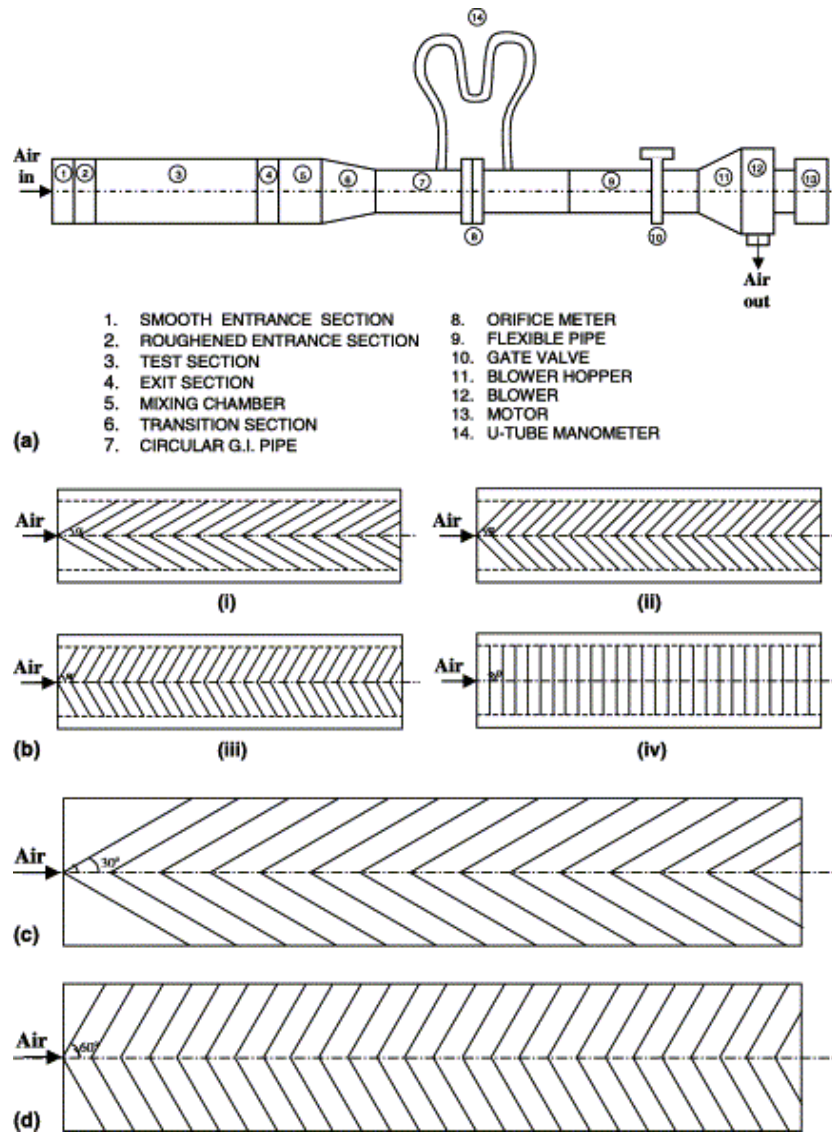


Figure (I-19) : Différentes configurations et orientations envisagé durant l'étude expérimentale [15].

Parmi les résultats obtenus par cette étude expérimentale on cite les principales remarques :

- Le nombre de *Nusselt* ( $Nu$ ) augmente tandis que le coefficient de frottement  $f$  diminue lorsque le nombre de *Reynolds* ( $Re$ ) augmente.
- Le nombre de *Nusselt*  $Nu$  et le coefficient de frottement  $f$  augmentent lorsque la hauteur relative des chicanes augmente.
- L'augmentation maximale de  $Nu$  et  $f$  est obtenue avec un angle d'attaque de  $60^\circ$ .

Pour caractériser simultanément les performances thermiques qui correspondent à un échange convectif maximal et en l'occurrence des pertes de charge minimales (par frottement), ils utilisent le paramètre de performance exprimé par la relation suivante :

$$\eta = \frac{\left(\frac{St_R}{St_S}\right)}{\left(\frac{f_R}{f_S}\right)^{1/3}} \quad (I-19)$$

Ce paramètre de performance atteint son maximum pour un angle d'attaque de  $60^\circ$ , d'autre part il augmente avec la hauteur relative des chicanes comprise dans la gamme  $0,020 \leq \frac{\varepsilon}{D_H} \leq 0,034$ .

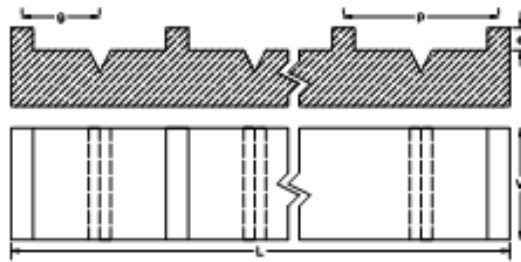
Les auteurs donnent des corrélations relatives aux résultats expérimentaux obtenus :

$$Nu = 0.067 Re^{0.888} \times \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.424} \times \left(\frac{\alpha}{60^\circ}\right)^{-0.077} \times \exp\left[-0.782\left(\ln\left(\frac{\alpha}{60^\circ}\right)\right)^2\right] \quad (I-20)$$

Et

$$f = 6.266 Re^{-0.425} \times \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.565} \times \left(\frac{\alpha}{60^\circ}\right)^{-0.093} \times \exp\left[-0.719\left(\ln\left(\frac{\alpha}{60^\circ}\right)\right)^2\right] \quad (I-21)$$

En plus des chicanes, **JAURKER** et al [12] utilisent des rainures pratiquées entre deux nervures



**Figure (I-20) : Configuration avec nervures et rainures [12]**

Les résultats obtenus montrent que dans cette configuration, les échanges convectifs sont meilleurs qu'avec ceux obtenus en présence des chicanes en formes de nervures transversales, tandis que le coefficient de frottement est légèrement supérieur.

De la même manière que **MOMIN** et al [15] et **BHAGORIA** et al [14], **JAURKER** et al [12] des corrélations pour le nombre de Nusselt et le coefficient de frottement  $f$  sont obtenues à partir des résultats expérimentaux :

$$Nu = A. Re^{0.936} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.349} \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{\varepsilon}\right)^{3.318} \cdot \alpha \left[\left(\frac{g}{P_{e-r}}\right)^{1.108}\right] \quad (I-21)$$

Tel que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \exp\left[B\left(\ln\left(\frac{g}{P_{e-r}}\right)\right)^2\right] \\ \beta = \exp\left[C \cdot \exp\left(\ln\left(\frac{g}{P_{e-r}}\right)\right)^2 + D\left(\ln\left(\frac{g}{P_{e-r}}\right)\right)^3\right] \\ A = 0.002062 \\ B = -0.8680 \\ C = 2.48600 \\ D = 1.40600 \end{array} \right.$$

$$f = A Re^{-0.199} \times \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.565} \times \left(\frac{P_{e-r}}{\varepsilon}\right)^{7.19} \times \alpha \left[\left(\frac{g}{P_{e-r}}\right)^{0.645}\right] \quad (I-22)$$

Tel que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \exp \left[ B \left( \ln \left( \frac{P_{e-r}}{\varepsilon} \right) \right)^2 \right] \\ \beta = \exp \left[ C \cdot \exp \left( \ln \left( \frac{g}{P_{e-r}} \right) \right)^2 + D \left( \ln \left( \frac{g}{P_{e-r}} \right) \right)^3 \right] \\ A = 0.001227 \\ B = -1.8540 \\ C = 1.51300 \\ D = 0.8662 \end{array} \right.$$

Les figures (I-21) et (I-22) regroupent respectivement les corrélations du nombre de *Nusselt* et du coefficient de frottement qui sont issus des travaux expérimentaux de *JAURKER et al* [12], *BHAGORIA et al* [14] et celui de *MOMIN et al* [15].

La figure (I-23) permet de comparer ces différentes corrélations associées à chaque configuration en termes de coefficient de performance  $\eta$ .

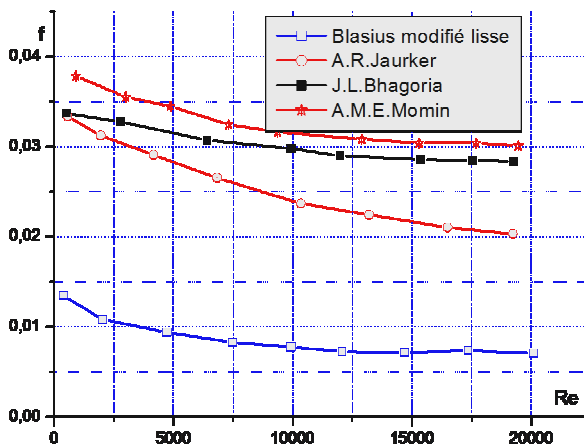


Figure (I-21) : Comparaison des corrélations du coefficient f avec celle de *Blasius* modifiée comme référence du cas lisse [9]

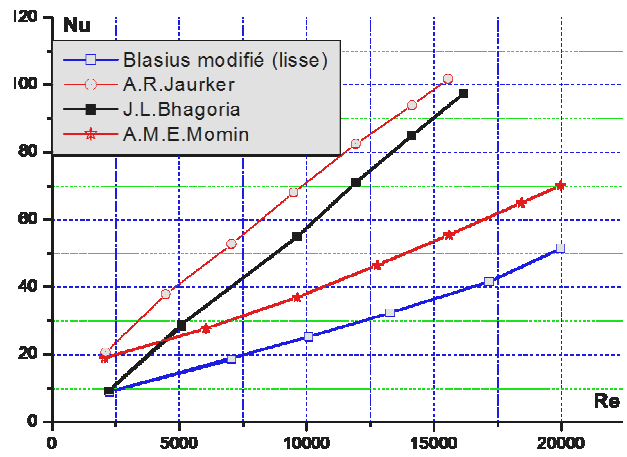
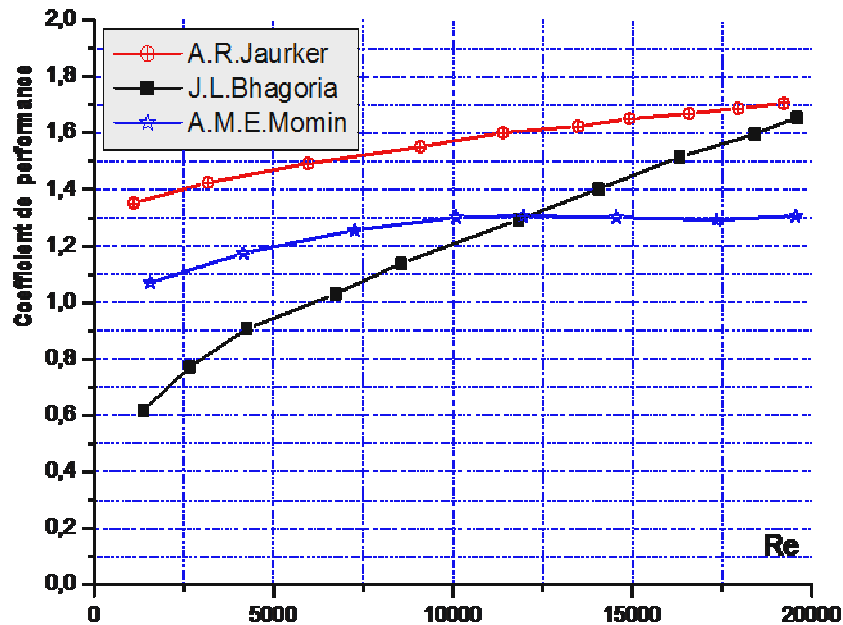


Figure (I-22) : Comparaison des corrélations du nombre de *Nusselt* avec celles de *DITTUS* et *BOELTER* comme référence du cas lisse [9]

Globalement, les coefficients de performance augmentent en fonction du nombre de *Reynolds* pour la gamme considérée, les corrélations de *JAURKER* et *al* [12], qui correspondent à la configuration avec nervure et rainures, qui offrent le meilleur compromis entre une augmentation des performances et une diminution des frottements.



*Figure (I-23)* : Comparaison des corrélations expérimentales des travaux [12], [14], [15] en termes de coefficient de performance

Si on extrapole les corrélations obtenues vers des nombres de *Reynolds* plus grands ( $Re > 20000$ ), on peut supposer que le coefficient de performance de *JAURKER* et *al* [12] ainsi que celui obtenu par *MOMIN et al* [15] vont se stabiliser au voisinage d'une valeur constante, par contre celui de *BHAGORIA et al* [14] est encore croissant et dépasserait donc la courbe de performance de *JAURKER et al* [12]. Pour résumer, l'extrapolation des corrélations pour des nombre de *Reynolds* supérieurs à 20000 qui semble donneraient un avantage à la configuration obtenue par *JAURKER et al* [12]

Enfin, les différents travaux qui ont été effectués ainsi que les différentes corrélations et des coefficients de frottement correspondants pour chaque cas cité dans ce passage en revue sont récapitulés d'après les tableaux ci-dessous :



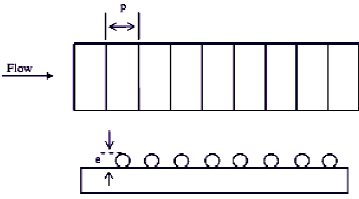
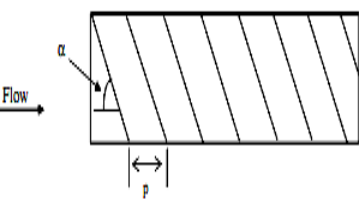
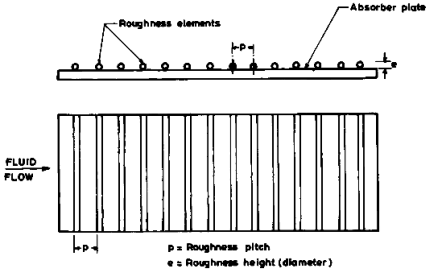
Auteurs	configuration	Gamme des paramètres	coefficient de frottement
Prasad et Saini (1988)		$\frac{e}{D} = \frac{\varepsilon}{D_H} = 0.02 - 0.033$ $\frac{P}{e} = \frac{P_{e-r}}{\varepsilon} : 10 - 20$ $Re : 5000 - 50000$	$f = \frac{2}{\left[0.95\left(\frac{P}{e}\right)^{0.53} + 2.5 \ln\left(\frac{D}{2e}\right) - 3.75\right]^2}$
Gupta et al (1993)		$\frac{e}{D} = \frac{\varepsilon}{D_H} = 0.02 - 0.033$ $\frac{P}{e} = \frac{P_{e-r}}{\varepsilon} = 7.5 \text{ et } 10$ $\alpha : 30^\circ - 90^\circ$ $Re : 5000 - 30000$	$f = 0.1911 \left(\frac{e}{D}\right)^{0.196} \left(\frac{W}{H}\right)^{-0.093} \cdot Re^{-0.165} \cdot \exp[-0.993 \left(1 - \frac{\alpha}{70}\right)^2]$
Verma et Prasad (2000)	 <p style="text-align: center;">p = Roughness pitch e = Roughness height (diameter)</p>	$\frac{e}{D} = \frac{\varepsilon}{D_H} = 0.02 - 0.03$ $Re : 5000 - 20000$ $\frac{P}{e} = \frac{P_{e-r}}{\varepsilon} : 10 - 40$ $e^+ : 8 - 42$	$f = 0.245(P/e)^{-0.206} (e/D)^{0.243} Re^{-1.25}$

Tableau (I- 4) : coefficients de frottement pour les configurations étudiées par *Prasad et Saini (1988)* [19], *Gupta et al (1993)* [20], *Verma et Prasad (2000)* [21],

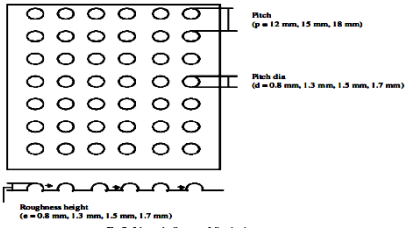
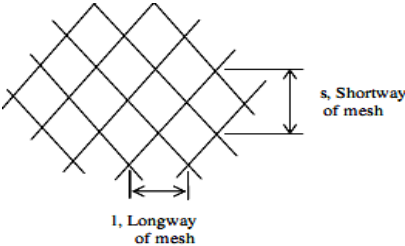
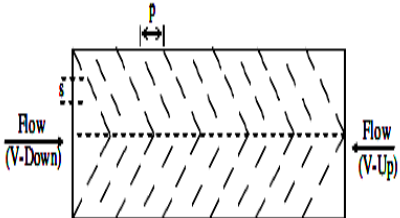
<p>Verma et Saini (2008)</p>		<p><math>P = P_{e-ch} = 12, 15, 18 \text{ mm}</math>  <math>P_{dim}=d = 0.8, 1.3, 1.5, 1.7 \text{ mm.}</math>  <math>e = \varepsilon = 0.8, 1.3, 1.5, 1.7 \text{ mm}</math>  <math>Re = 2000 - 12000</math></p>	$f = 0.642 Re^{-0.423} \left(\frac{P}{e}\right)^{-0.465} \left[ \exp(0.054) \times \left(\log\left(\frac{P}{e}\right)\right)^2 \right] \times \left(\frac{e}{D}\right)^{-0.0214} \left[ \exp(0.840 \log\left(\frac{e}{D}\right)\right)^2 \right]$
<p>Saini et al (1997)</p>		<p><math>e/D = \varepsilon/D_H = 0.012 - 0.039</math>  <math>S/e = 15.62 - 46.87</math>  <math>\frac{L}{e} = 25.00 - 71.87</math>  <math>Re = 1900 - 13000</math></p>	$f = 0.815 Re^{-0.63} \left(\frac{L}{e}\right)^{0.266} \left(\frac{S}{10e}\right)^{-0.19} \left(\frac{10e}{D}\right)^{0.591}$
<p>Muluwork et al (1998)</p>			$f = 0.7117 Re^{-2.991} \cdot \left(\frac{P}{S}\right)^{0.0636}$

Tableau (I- 5) : coefficients de frottement pour les configurations étudiées par Verma et Saini (2008) [22],

Saini et al (1997) [23]. Muluwork et al (1998) [24].

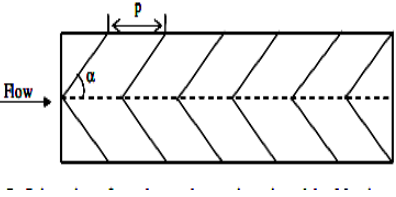
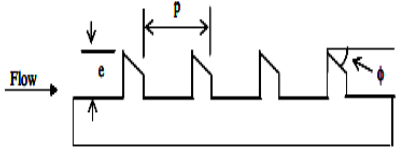
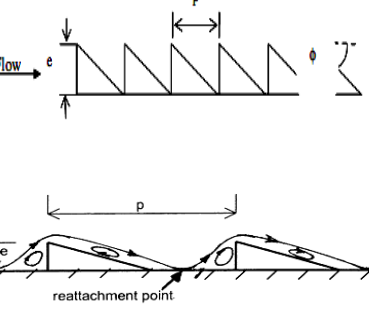
<p>Momin et al (2002)</p>		$\frac{e}{D} = \frac{\varepsilon}{D_H} = 0.02 - 0.034$ $\frac{P}{e} = \frac{P_{e-r}}{\varepsilon} = 10$ $\alpha = 30 - 90^\circ$ $Re : 2500 - 18000$	$f = 6.266Re^{-0.425} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.565} \left(\frac{\alpha}{60}\right)^{-0.093}$ $\times \exp(-0.719 \left(\ln\left(\frac{\alpha}{60}\right)\right)^2)$
<p>Karwa et al (1999)</p>		$\frac{W}{H} : 4.8, 6.1, 7.8, 9.66, 12.$ $\frac{e}{D} : 0.014 - 0.0328$ $P/e : 4.5, 5.8, 7, 8.5$ $\phi : -15, 0, 10, 15, 18$	$f = 1.66e^{-0.0078\phi} \left(\frac{W}{H}\right)^{-0.4} \left(\frac{P}{e}\right)^{2.695}$ $\times \exp[-0.762 \left\{\ln\left(\frac{P}{e}\right)\right\}^2] (e^+)^{-0.075} \text{ pour } 7 \leq e^+ \leq 20$ $f = 1.325e^{-0.0078\phi} \left(\frac{W}{H}\right)^{-0.4} \left(\frac{P}{e}\right)^{2.695}$ $\times \exp[-0.762 \left\{\ln\left(\frac{P}{e}\right)\right\}^2] (e^+)^{-0.075} \text{ pour } 20 \leq e^+ \leq 60$
<p>Bhagoria et al 2002</p>		$e/D : 0.015 - 0.033$ $P/e : 60.17\phi^{-1.0264}$ $\text{et } \frac{P}{e} < 12.12$ $Re : 3000 - 18000$	$f = 12.44Re^{-0.18} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.99} \left(\frac{P}{e}\right)^{-0.52} \left(\frac{\phi}{10}\right)^{0.49}$ $e/D : 0.015 - 0.033$ $P/e : 60.17\phi^{-1.0264} \text{ et } \frac{P}{e} < 12.12Re : 3000 - 18000$

Tableau (I- 6) : coefficients de frottement pour les configurations étudiées par Momin et al (2002) [15],

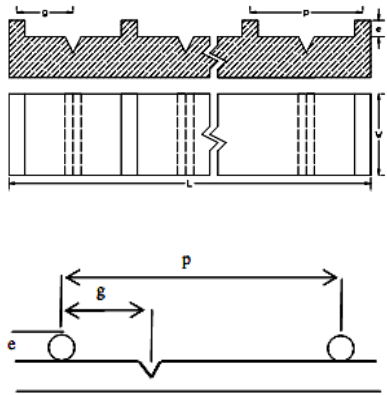
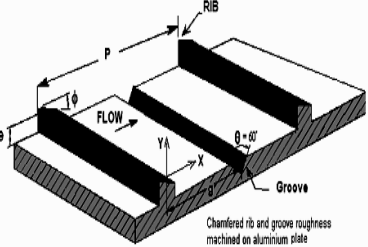
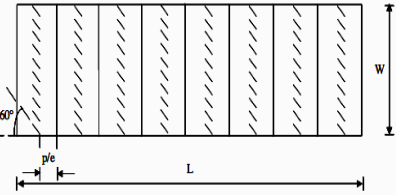
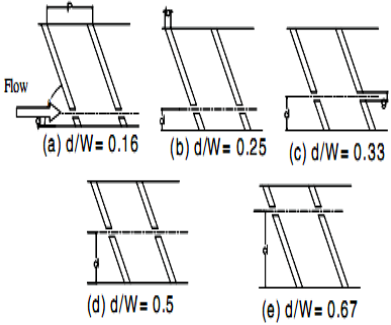
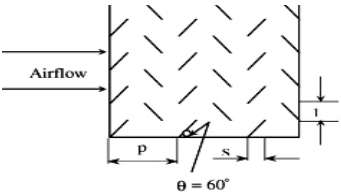
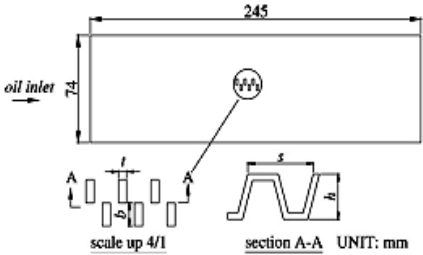
<p>Jauker et al (2006)</p>		$\frac{e}{D} : 0.0181 - .0363$ $\frac{P}{e} : 4.5 - 10$ $Re : 3000 - 21000$ $\frac{g}{P} : 0. - 0.7$	$f = 0.001227 Re^{-0.199} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.585} (P/e)^{7.19}$ $\times \exp \left[ -1.854 \left\{ \ln \left(\frac{P}{e}\right) \right\}^2 \right] \left(\frac{g}{P}\right)^{0.645}$ $\times \exp \left[ 1.513 \ln \left\{ \left(\frac{g}{P}\right) \right\}^2 \right] + 0.8662 \ln \left(\frac{g}{P}\right)^3 ]$
<p>Apura Layek (2007)</p>		$Re : 3000 - 21000$ $\frac{e}{D_H} : 0.022 - 0.04$ $\frac{P}{e} : 4.5 - 10$ $\frac{g}{P} : 0.3 - 0.6$ $\phi : 5 - 30^\circ$	$f = 0.00245 Re^{-0.124} \left(\frac{e}{D_H}\right)^{0.365} \left(\frac{P}{e}\right)^{4.32} \left(\frac{g}{P}\right)^{-1.124}$ $\times \exp[0.005\phi] \exp[-1.09(\ln \frac{P}{e})^2] \exp[-0.68 \left(\ln \frac{g}{P}\right)^2]$
<p>Varun et al (2008)</p>		$P/e : 2.5 - 10$ $\alpha = 60^\circ$ $Re : 2000 - 14000$	$f = 1.0858 \times Re^{-0.3685} \times (p/e)^{0.0114}$

Tableau (I- 7) : coefficients de frottement pour les configurations étudiées par *Jauker et al (2006)* [12],

<p>Aharwal et al (2009)</p>	 <p>(a) <math>d/W = 0.16</math> (b) <math>d/W = 0.25</math> (c) <math>d/W = 0.33</math> (d) <math>d/W = 0.5</math> (e) <math>d/W = 0.67</math></p>	<p><math>\frac{P}{e} = 4,6,8,10</math> <math>d/W = 0.25</math> <math>g/e = 1.0</math> <math>Re : 3350 - 17900</math> <math>\alpha = 60^\circ</math></p>	$f = 0.5Re^{-0.0336} \left(\frac{e}{D}\right)^{0.72}$
<p>Karmare et Tikekar (2007)</p>	 <p><math>\theta = 60^\circ</math></p>	<p><math>\frac{P}{e} : 12.5, 15, 17.5, 24, 36</math> <math>\frac{e}{D_H} : 0.035, 0.038, 0.044</math> <math>l/s : 1, 1.23, 1.72</math> <math>Re : 4000 - 18000</math> <math>\theta = 60^\circ</math></p>	$f = 15.55 \times (Re)^{-0.26} \times (e/D_H)^{0.91} \times (l/s)^{-0.27} \times (p/e)^{-0.51}$

<p>Lihua Guo et al (2008)</p>		<p> <math>h = 2.8 - 3.2</math>  <math>s = 4.9 - 9.42</math>  <math>b = 1.1 - 1.7</math>  <math>t = 0.3 = cste</math> </p>	$f = 555Re^{-0.196} \left(\frac{s}{D_H}\right)^{-1.58} \cdot \left(\frac{h}{D_H}\right)^{0.868} \left(\frac{t}{D_H}\right)^{1.14} \cdot \left(\frac{b}{D_H}\right)^{0.905}$
-----------------------------------	---	---	---

**Tableau (I- 8) :** coefficients de frottement pour les configurations étudiées par *Aharwal et al (2009) [27]*,  
*Lihua Guo et al (2008) [28]*, *Karmare et Tikekar (2007) [29]*,

### Conclusion

Il est clair de rappeler que l'amélioration des échanges convectifs par l'intermédiaire de perturbateurs (chicanes) qui sont induites dans l'espace utile de l'écoulement du fluide caloporteur, se manifestent par une augmentation des pertes de charge par frottement.

Durant cette étude bibliographique, nous avons essayé de caractériser les performances thermiques qui sont liées directement aux apports des chicanes, par le biais des corrélations qui montrent l'évolution du nombre de Nusselt et du coefficient de frottement ou nous retiendrons respectivement celles de **DITTUS** et **BOELTER** [9], et celle de **BLASIUS** [11],[12],[14]et[15] modifiée qui sont décrites par l'expression suivante :

$$Nu = 0.024Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

Pour  $10^4 \leq Re \leq 1.24 \times 10^5$  et  $\frac{L}{D_H} \leq 60$

$$f = 0.085Re^{-0.25}$$

Ces corrélations seront prises en référence du cas lisse pour évaluer l'impact de l'insertion des chicanes perturbateurs dans les canaux rectangulaires.

Globalement pour le cas lisse, nous avons le nombre de Nusselt qui augmente et le coefficient de frottement qui diminue avec l'élévation du nombre de Reynolds.

Avec l'ajout d'éléments perturbateurs (chicanes), les configurations optimales varient selon les auteurs, mais nous retrouvons les caractéristiques des principaux paramètres optimisés suivantes:

- Un angle de chanfrein (angle d'inclinaison) de la tête de nervure de 10° ou 15° et même 0° selon les auteurs.
- Fort impact du rapport de forme (W/H) sur les échanges thermiques et les frottements.
- Hauteur des nervures (chicanes) équivalente à l'épaisseur de la sous couche visqueuse.
- Angle d'attaque des nervures (chicanes en V de 60°).

L'idée générale pour augmenter les performances aérothermiques des canaux est de trouver la configuration qui offre le plus de points de rattachement à l'écoulement sans une augmentation trop élevée des pertes de charge.

Enfin, la configuration offrant la meilleure performance est celle de **JAUKER** et *al* [12] avec des chicanes (nervures) et rainures, d'autre part l'auteur annonce un nombre de *Nusselt* de l'ordre 2.75 fois celui du cas lisse contre un facteur de frottement tout juste supérieur à ceux rencontrés dans les configurations avec uniquement des nervures.

# Chapitre II

Etude expérimentale



**Introduction:**

Dans ce deuxième chapitre qui est consacré à l'étude expérimentale, on présentera en premier lieu le dispositif expérimental conçu de feuilles de plexi-glass d'épaisseur 04 mm et les instruments de mesures employés pour le prélèvement des pertes de charge, ainsi que la forme et les propriétés géométriques des chicanes qui sont découpées d'acier galvanisé d'épaisseur 0,4 mm, dont les caractéristiques géométriques sont affichés sous formes de tableaux pour montrer le nombre de configurations testés durant les expériences.

**II-1- Description du dispositif expérimental :**

Le dispositif expérimental utilisé est réalisé au département de génie mécanique de l'université Mohamed Khider de Biskra, il s'agit d'un conduit de forme rectangulaire en plexi-glass de 2,5 m de longueur, 0,5 m de largeur et d'une hauteur égale à 0,025 m, qui correspond à l'espace utile compris entre le couvercle et le plan d'écoulement du fluide.

L'entrée et la sortie de l'eau dans le canal se fait à travers des orifices circulaires localisées et centrées respectivement à l'amont et à l'aval du canal, à savoir que l'écoulement est réalisé graduellement par des convergentes figures (II-1) et (II-2), la circulation du fluide entre le bac d'alimentation et le canal est assurée par une pompe à eau.

Dans cette étude expérimentale, on s'intéresse à la modélisation des pertes de charge dans le conduit utile, dont le plan d'écoulement inférieur est muni distinctement de quatre variantes de rugosités artificielles, qui sont découpées d'acier galvanisé d'épaisseur 0,5 mm de formes rectangulaires figure (II-8), reactangulo-trapézoïdales figure (II-9), rectangulo-triangulaires figure (II-10) et triangulaires figure (II-11), de longueurs respectivement 5, 7 et 10 cm.

Dans cette étude deux principales configurations de disposition sont considérées des chicanes ; la disposition en rangées et en quinconces, Le pas relatif entre deux rangées successives de chicanes, le pas entre deux chicanes de la même rangée et la rugosité relative des chicanes qui peut variée par l'incidence de la partie supérieure inclinées. Les pas entre rangées considérées sont égales à 25, 18, 14,10, et 05 cm, d'autre part, les pas relatif entre les sommets de deux

chicanes successives de la même rangée sont de 15, 10 et 08 cm, d'autre part les pas entre deux chicanes d'une même rangée sont de 03, 05, 07 et 10 cm.

Les chicanes comportent deux parties solidaires, une partie fixe orthogonale au plan d'écoulement de 01 cm de longueur, par contre la partie inclinée est de 1,5 cm, les incidences de la partie supérieure inclinée sont de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  et  $150^\circ$  pour les chicanes (rectangulaires, rectangulaires – triangulaires et rectangulaires – trapézoïdales) et  $180^\circ$  pour les chicanes triangulaires seulement.



**Figure (II-1):** vue du haut du dispositif expérimental



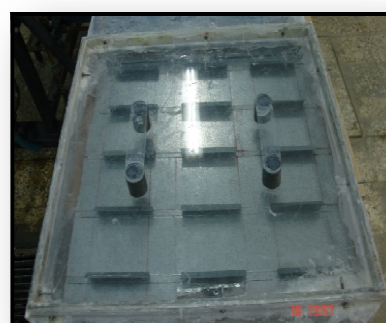
**Figure (II-2):** dispositif expérimental

Le dispositif expérimental comporte les éléments suivants :

1. Pompe à eau : pour pompage de l'eau qui traverse le canal (figure (II-3)).
2. Chicanes : En acier galvanisé représentant des rugosités artificielles implantées sur le plant d'écoulement du canal figure (II-4).
3. Débitmètre pour mesurer le débit d'eau qui traverse le canal figure (II-5).
4. Manomètre différentiel pour mesurer la dépression ou chute de pression figure (II-6).
5. Réservoir pour fournir l'eau au canal figure (II-7).



**Figure (II-3) :** Pompe à eau



**Figure (II-4) :** chicanes en acier Galvanisé



**Figure (II- 5) :** Débitmètre à flotteur



**Figure (II-6) :** Manomètre  
différentiel à liquide



**Figure (II-7) :** réservoir d'eau



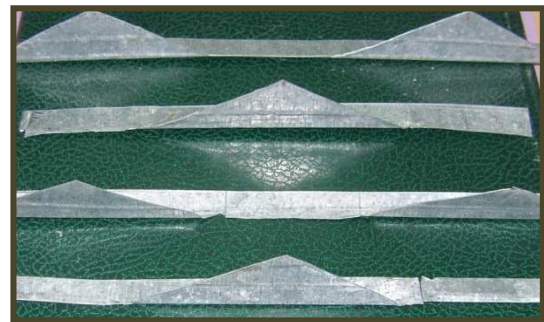
**Figure (II-8)** : chicane rectangulaire avec partie supérieure rectangulaire inclinée



**Figure (II-9)** : chicane rectangulaire avec partie supérieure trapézoïdale inclinée



**Figure (II-10)** : chicane rectangulaire avec partie supérieure triangulaire inclinée



**Figure (II-11)** : chicane triangulaire

L'étude expérimentale a été menée par le biais d'un dispositif expérimental constitué d'un canal rectangulaire dont le plan d'écoulement d'eau est muni de plusieurs rangées de chicanes.

Le principe de cette étude expérimentale consiste à effectuer des prises de mesure des pertes de charge enregistrées entre l'amont et l'aval du canal pour différentes valeurs de débit volumique, et ceci pour diverses modes de dispositions et configurations de chicanes considérées.



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

### II-2-1-chicanes rectangulaires :

#### II-2-1-1- Chicanes alignées en rangées :

Nous avons étudié 100 cas de configurations de chicanes .Ces chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement alignées en rangées, voir figure – (II-12) (a), (II-12) (b).

<b>chicanes rectangulaires disposées en rangées</b>				
<b>paramètres géométriques</b>				
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29

**Tableau (II-1) :** configurations des chicanes rectangulaires alignées en rangées

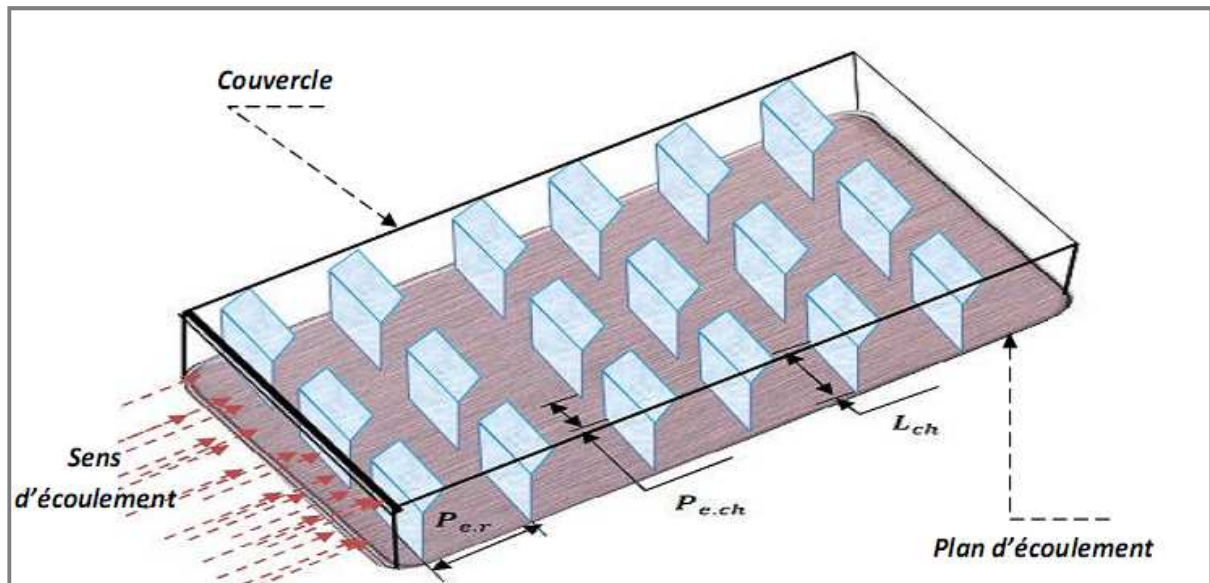


Figure - II-12 (a) : Disposition des chicanes sur le plan d'écoulement

dont la partie supérieure est inclinée de  $30^\circ$  ou  $60^\circ$

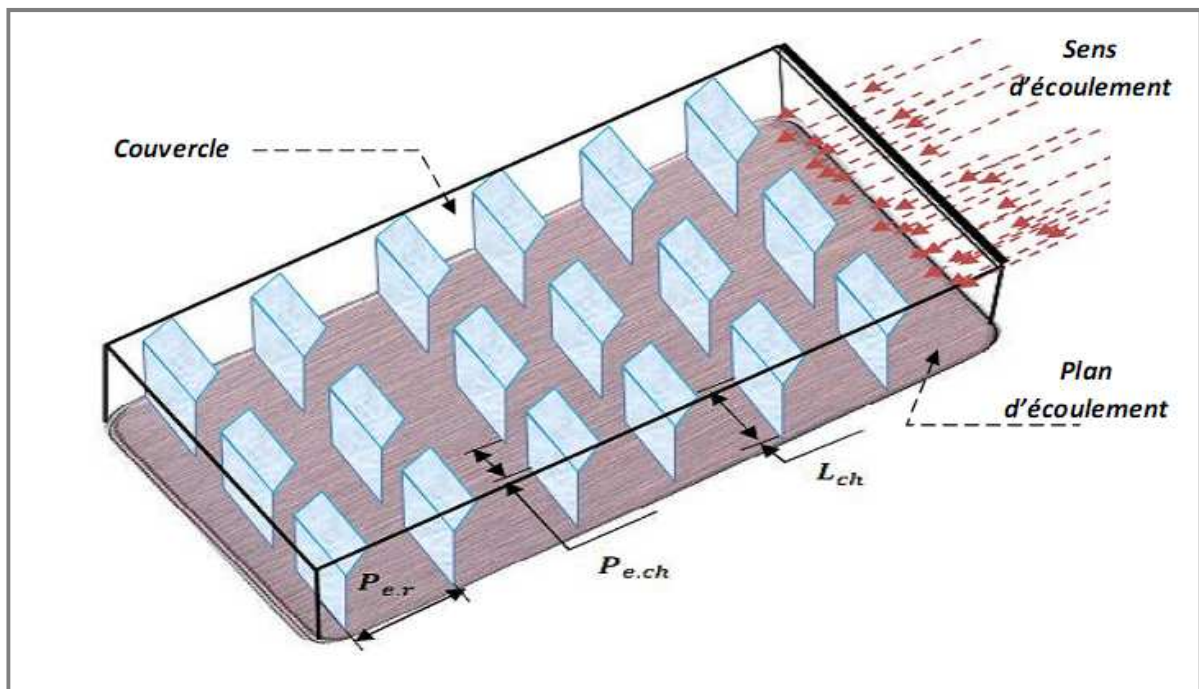
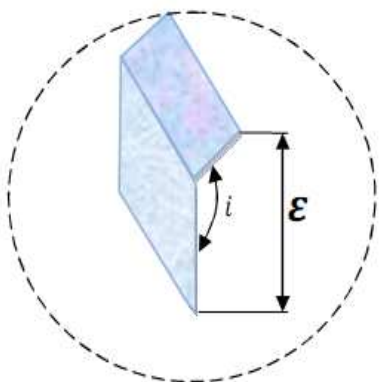
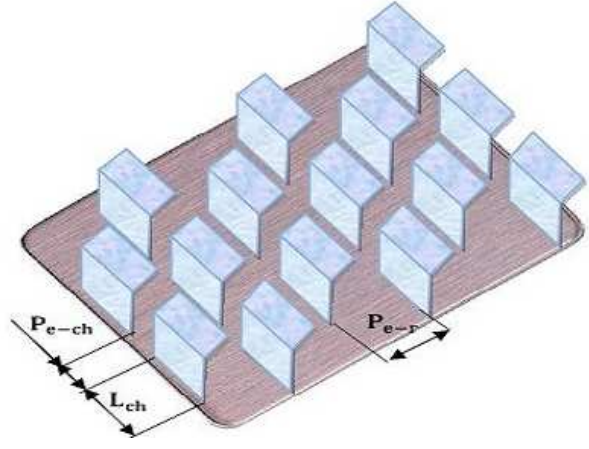


Figure –II-12 (b) : Disposition de chicanes sur le plan d'écoulement

### II-2-1-2- Chicanes alignées en quinconces:

Pour la disposition en quinconce, une centaine de configuration de chicanes est considérée, sont fixées sur le plan d'écoulement en quinconce figure (II-13) (a) et (II-13) (b).

<b>chicanes rectangulaires disposées en quinconces</b>				
				
<b>paramètres géométriques</b>				
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29

**Tableau (II-2) :** configurations des chicanes rectangulaires alignées en quinconces.



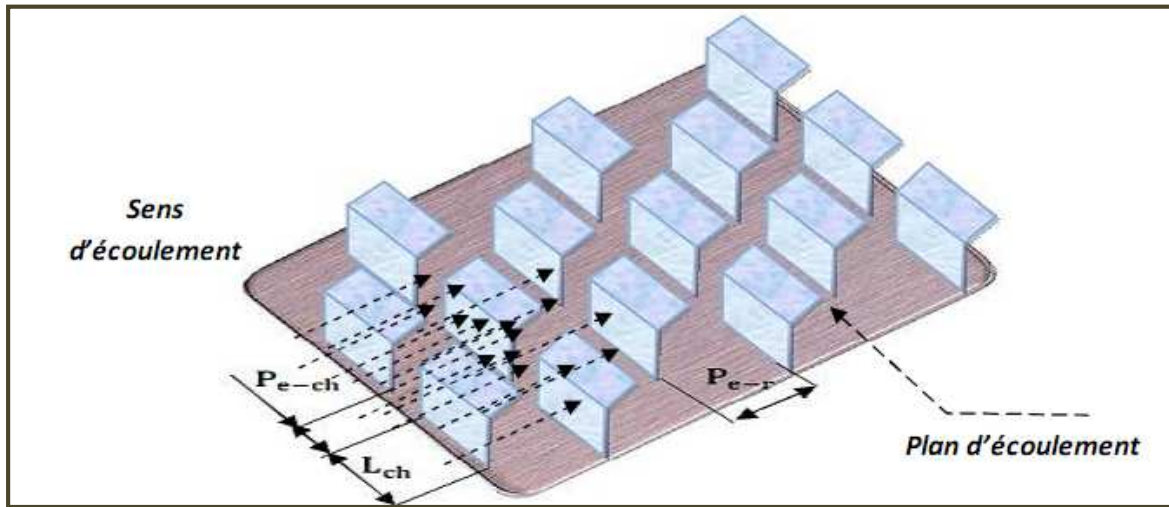


Figure (II-13) (a): Disposition des chicanes sur le plan d'écoulement, dont la partie supérieure est inclinée de  $30^\circ$  ou  $60^\circ$

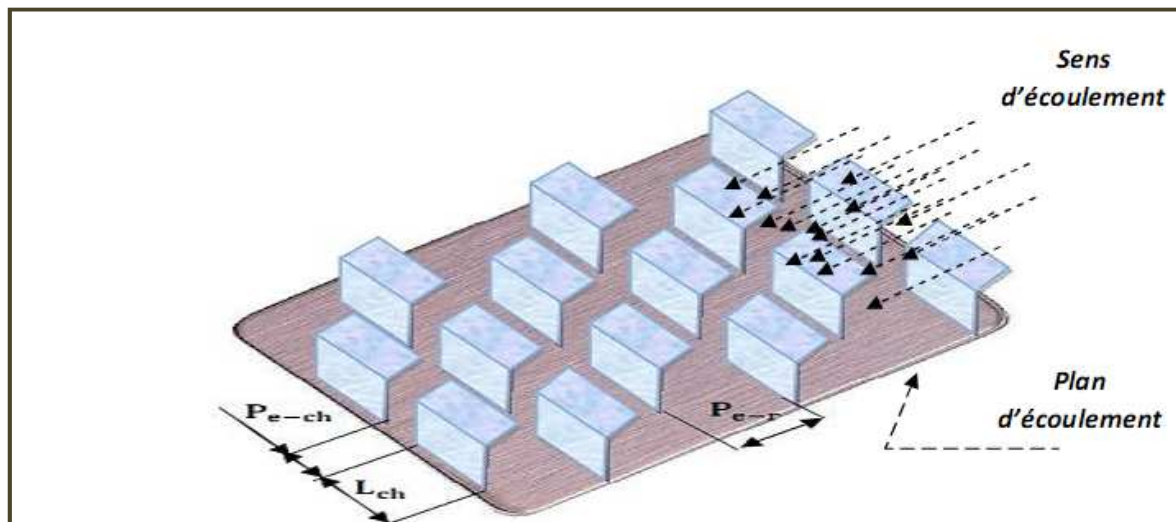
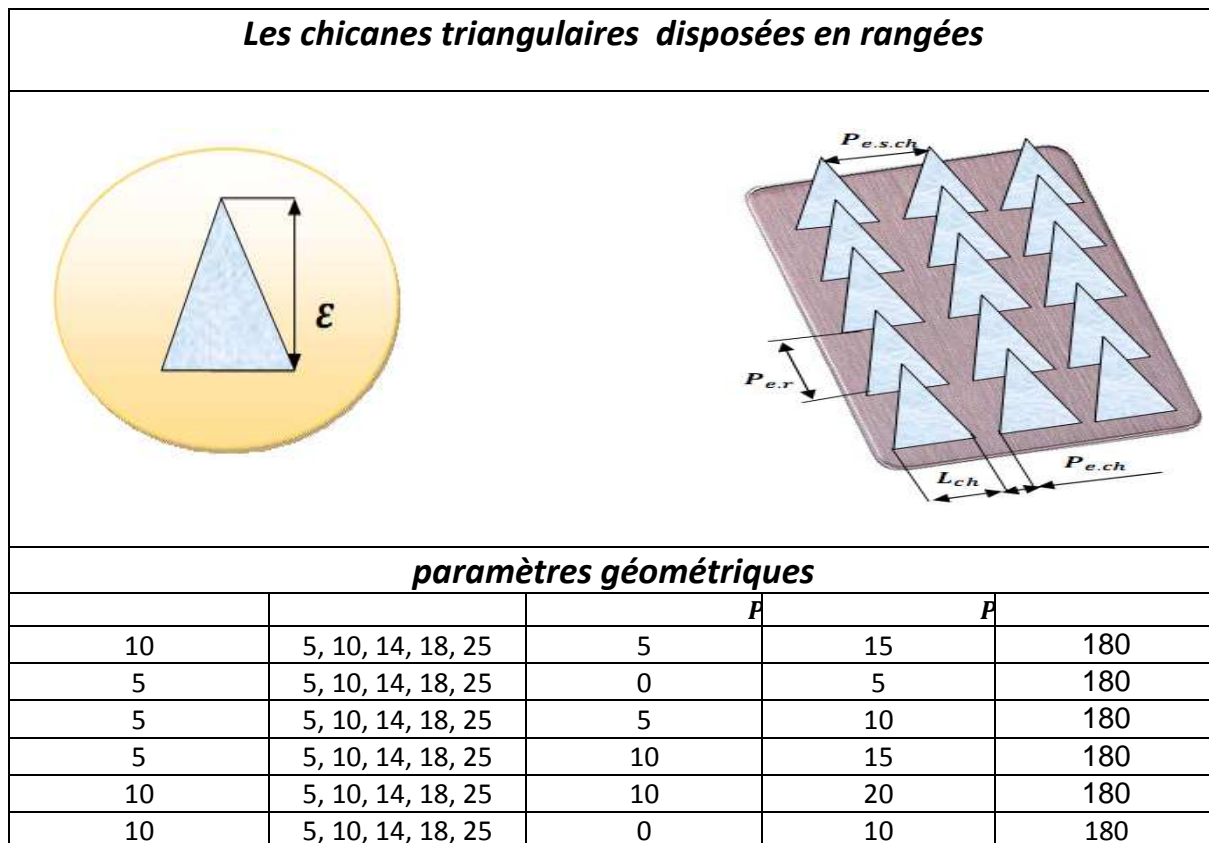


Figure (II-13)(b): Disposition des chicanes sur le plan d'écoulement dont la partie supérieure est inclinée de  $150^\circ$  ou  $120^\circ$

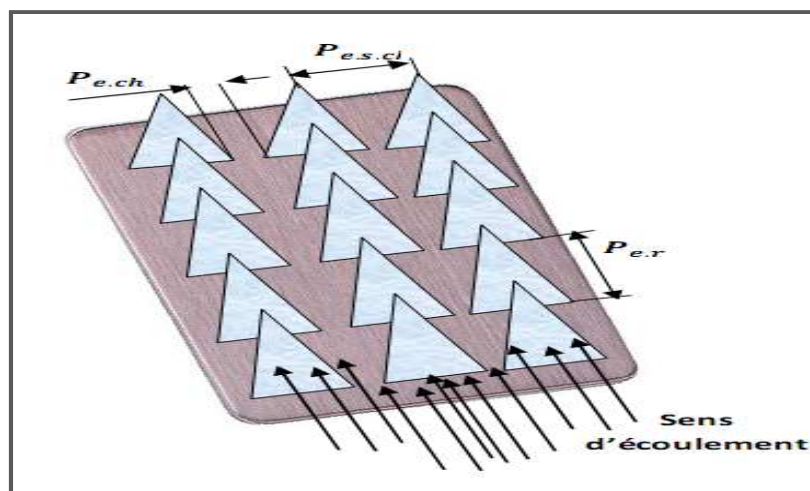
**II-3-2-Chicanes triangulaires:**

**II-3-2-1- Chicanes alignées en rangées:**

Pour cette configuration, nous avons étudié 30 cas de configurations de chicanes. Comme dans la configuration précédente, les chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement, alignées en rangées voir figure (II-14).



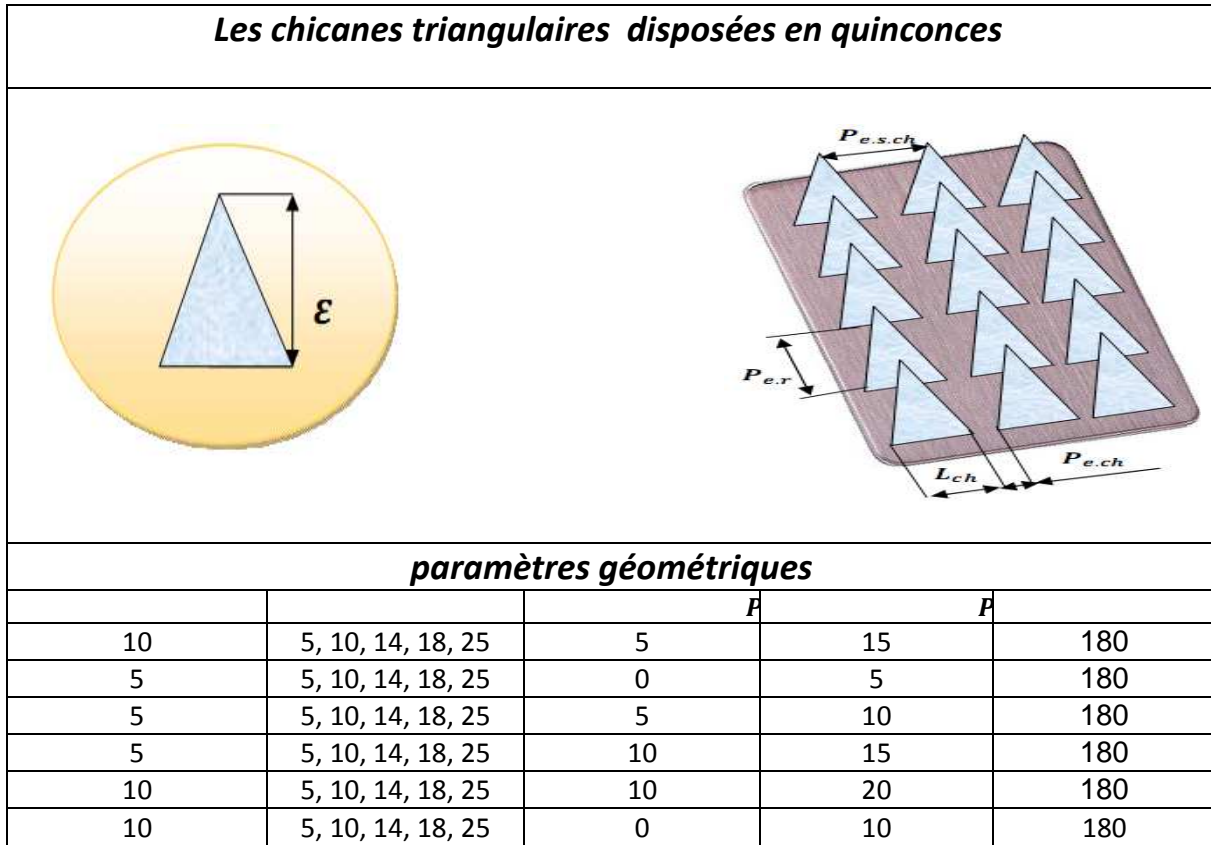
**Tableau (II-3) :** configurations des chicanes triangulaires alignées en rangées



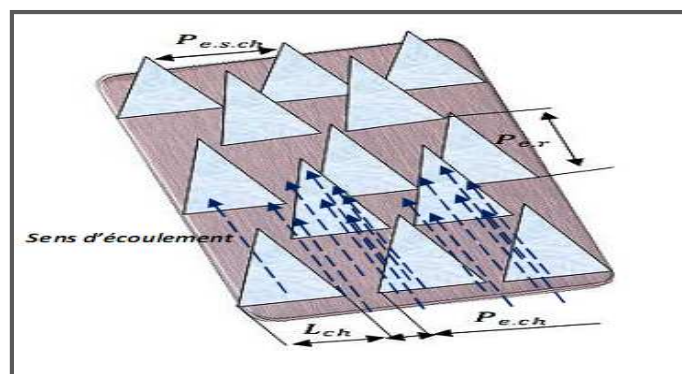
**Figure (II-15) :** chicanes disposées en quinconces

**II-3-2-2- Chicane en quinconces:**

Dans le cas de la disposition en quinconce, 30 cas de configurations de chicanes sont considérées, les chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement inférieur figure (II-15).



**Tableau (II-4) :** configurations des chicanes triangulaire alignées en quinconces

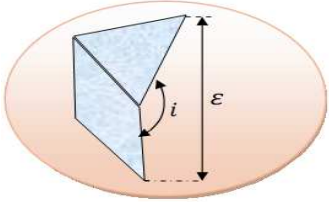
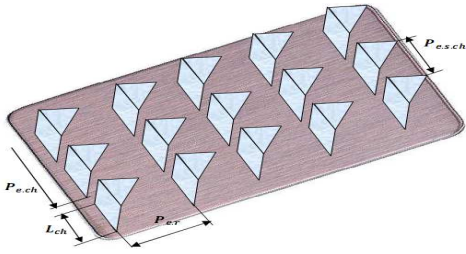


**Figure (II-15) :** chicanes disposées en quinconces

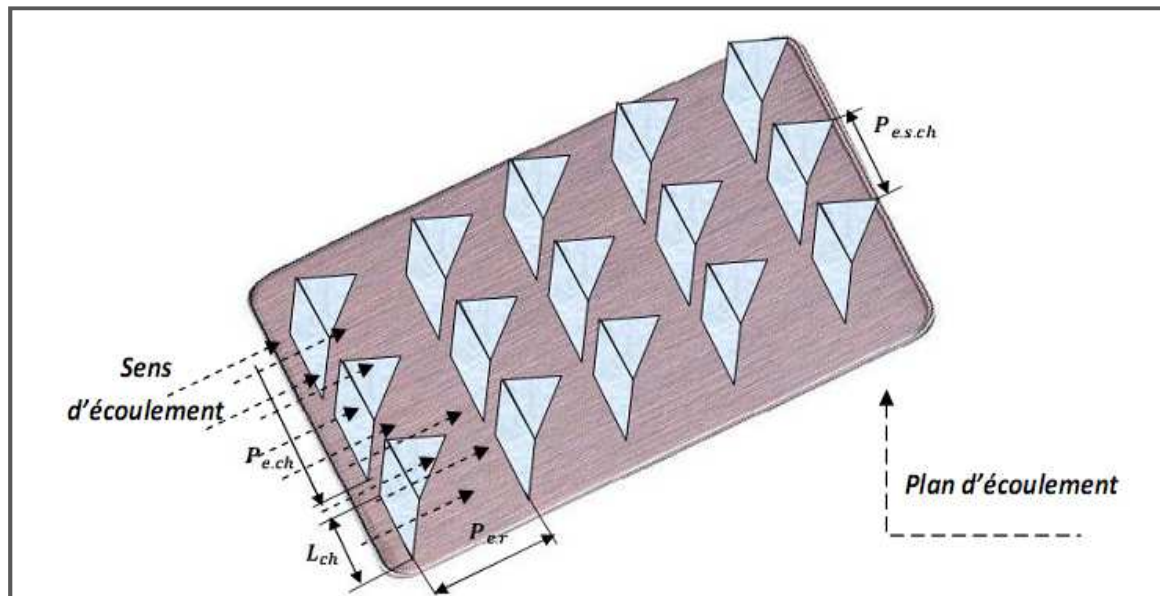
### II-3-3-Chicanes rectangulaires avec parties supérieures triangulaires inclinées:

**II-3-3-1-Chicanes alignées en rangées :** Pour cette variante de chicanes, une soixante de cas est considérée, les chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement inférieur disposées respectivement en rangées, dont les parties supérieures sont inclinées de 30° ou 60°

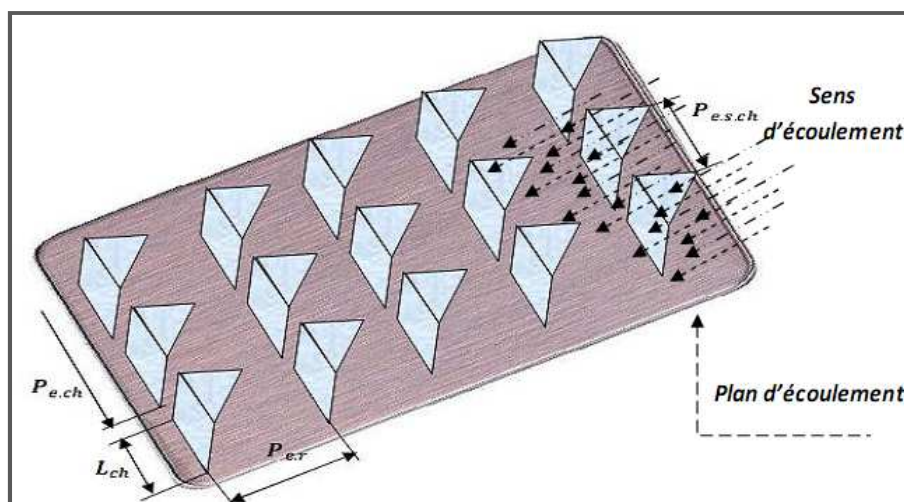
figure (II-16) et 150° ou 120° figure (II- 17).

<b>Chicanes rectangulaires – triangulaires – Disposition en rangées</b>				
				
<b>paramètres géométriques</b>				
		$F$	$F$	
5	5, 10, 14, 18, 25	5	10	30
5	5, 10, 14, 18, 25	5	10	150
5	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
5	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
10	5, 10, 14, 18, 25	5	15	30
10	5, 10, 14, 18, 25	5	15	150
10	5, 10, 14, 18, 25	5	15	60
10	5, 10, 14, 18, 25	5	15	120
5	5, 10, 14, 18, 25	10	15	30
5	5, 10, 14, 18, 25	10	15	150
5	5, 10, 14, 18, 25	10	15	60
5	5, 10, 14, 18, 25	10	15	120

**Tableau (II-5) :** configurations des chicanes rectangulo-triangulaires alignées en rangées.



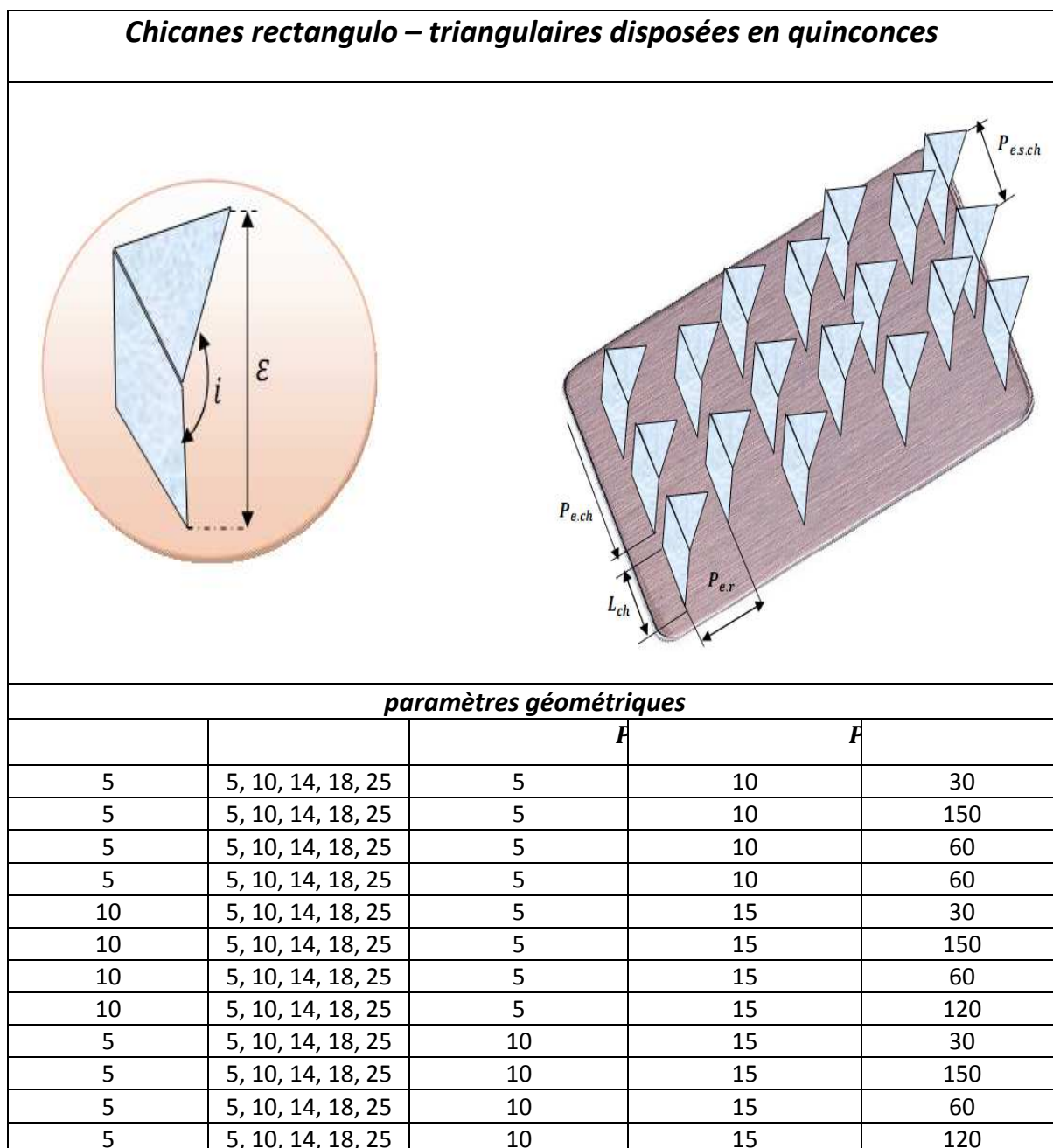
**Figure (II-16):** chicanes disposées en rangées dont la partie supérieure est inclinée de  $30^\circ$  ou  $60^\circ$



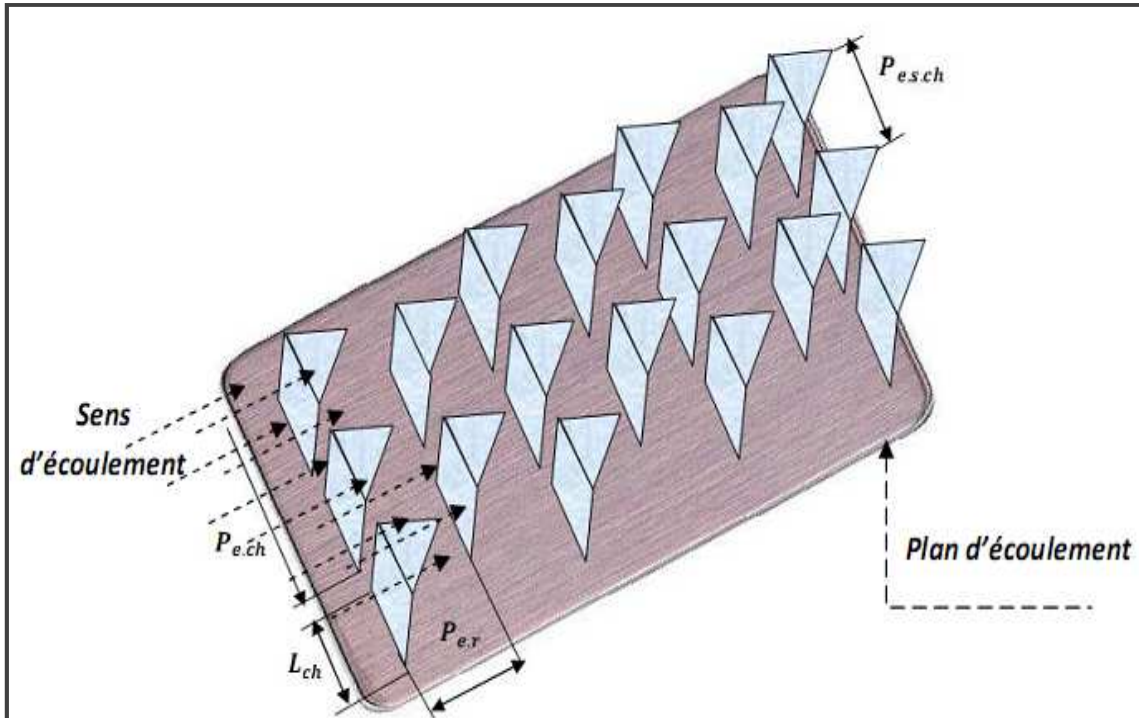
**Figure –II-17 :** chicanes disposées en rangées dont la partie supérieure est inclinée de  $120^\circ$  ou  $150^\circ$



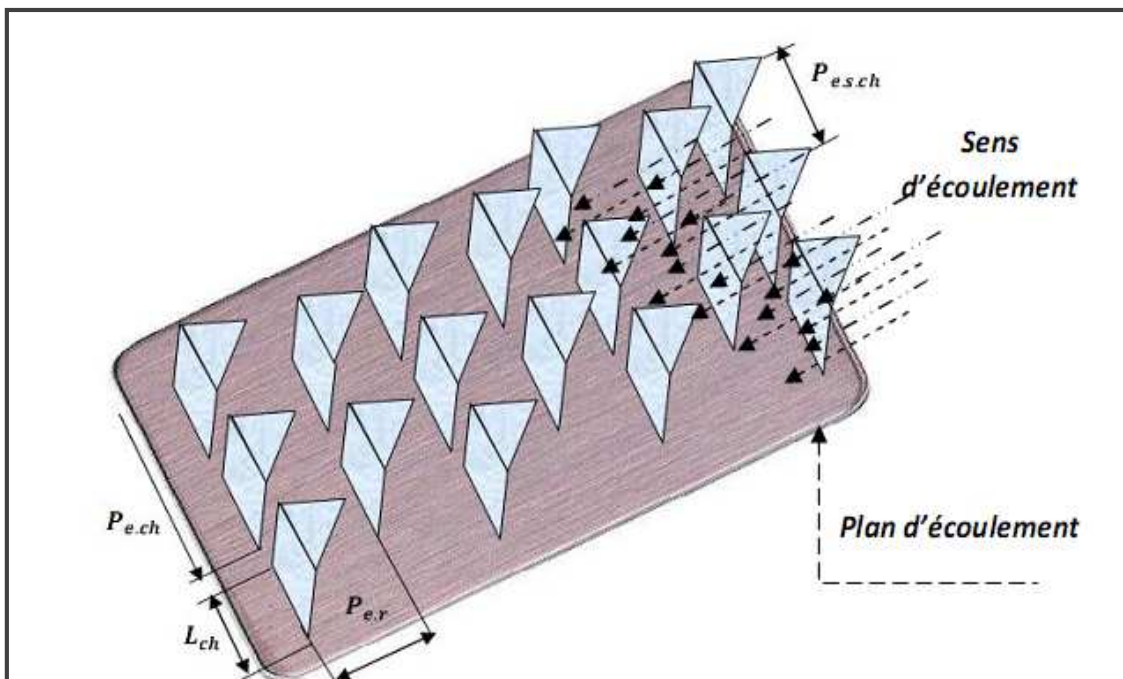
**II-3-3-2- Chicanes alignées en quinconces :** les chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement inférieur et disposées en quinconces, dont les parties supérieures sont inclinées de 30° ou 60 ° figure (II-18) et de 120° ou 150 ° figure (II-19).



**Tableau (II-6):** configurations des chicanes rectangulo-triangulaires alignées en quinconce



**Figure (II-18)** : chicanes disposées en quinconces dont la partie supérieure est inclinée de  $30^\circ$  ou  $60^\circ$

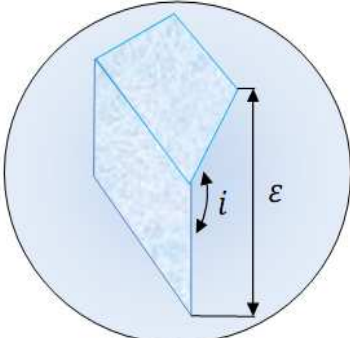
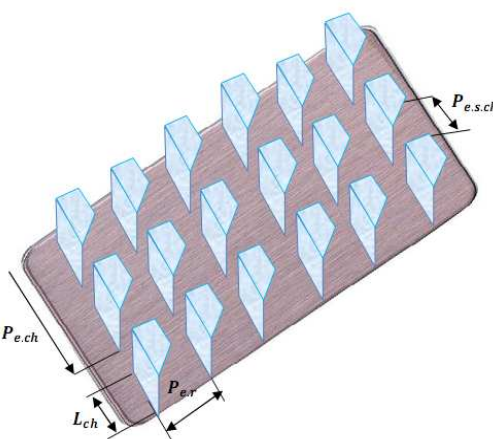


**Figure (II-19)** : chicanes disposées en quinconces dont la partie supérieure est inclinée de  $50^\circ$  à  $120^\circ$

### II-3- 4-Chicanes rectangulaires avec parties supérieures trapézoïdales inclinées:

#### II-3-4-1- Chicanes alignées en rangées:

Les chicanes sont fixées sur le plan inférieur du conduit utile, les configurations et les dispositions étudiées sont présentées d'après la figure (II- 20) pour l'alignement des ailettes en rangées et (figure (II-21)) pour celles alignées en quinconces. Pour aux dimensions et paramètres géométriques prises en considération pour cette variante de chicanes ils sont montrés d'après le tableau (II-7).

<b>chicanes rectangulo–trapézoïdales disposées en rangées</b>				
				
<b>paramètres géométriques</b>				
		$F$	$F$	
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	30
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	150
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	30
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	150
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	60
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	120
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	30
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	150
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	60
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	120

**Tableau (II-7):** configurations des chicanes rectangulo-trapézoïdales alignées en rangées



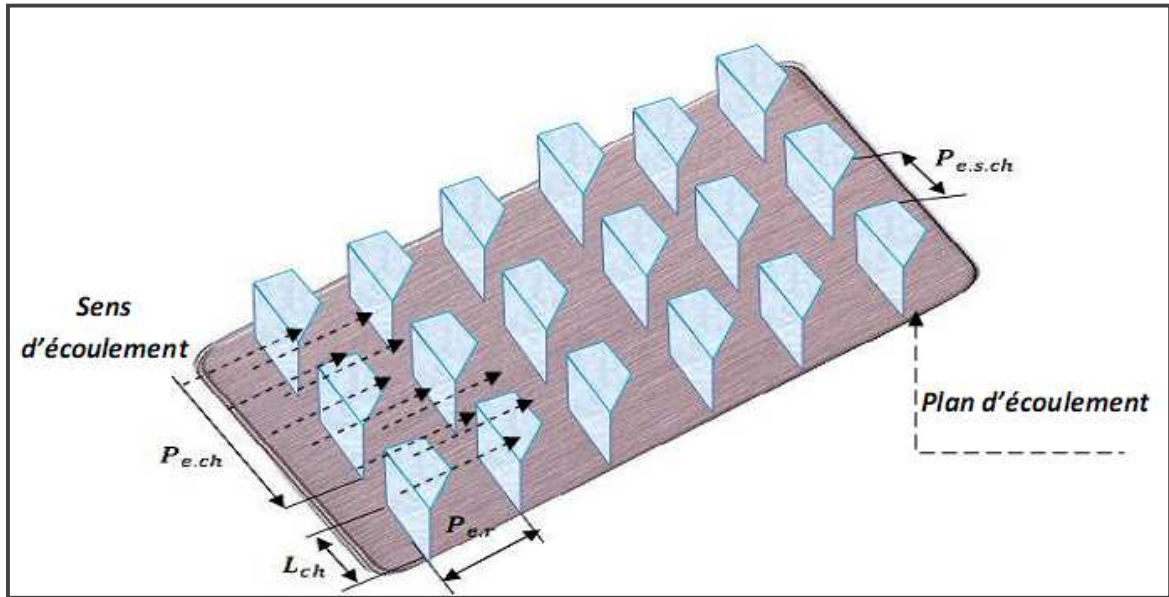


Figure (II-20) : chicanes disposées en rangées avec parties supérieures inclinées de  $30^\circ$  ou  $60^\circ$

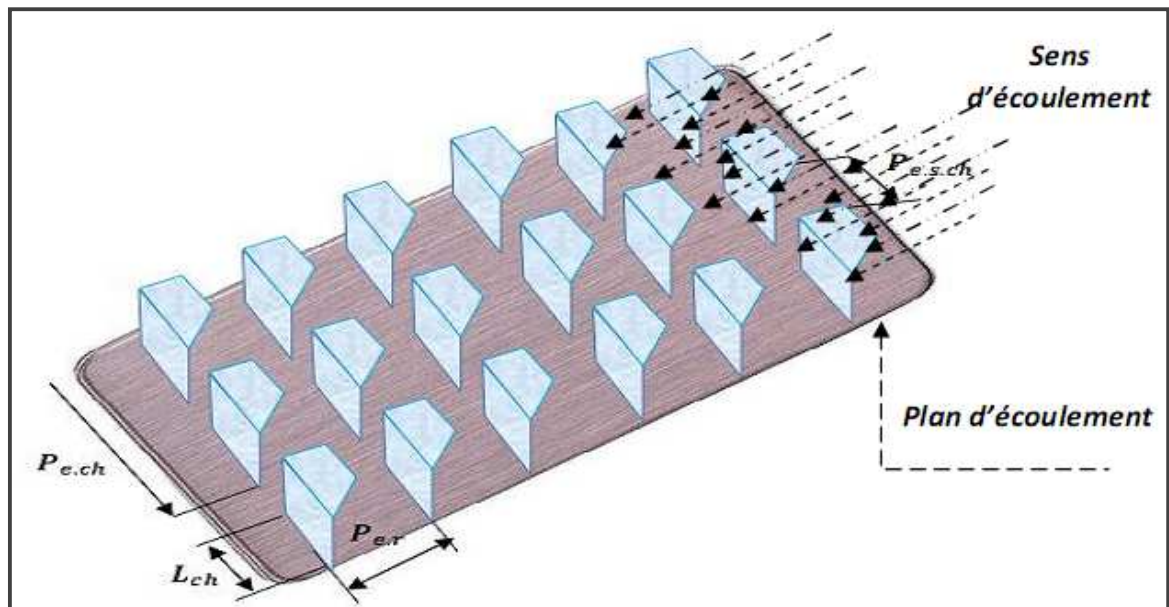
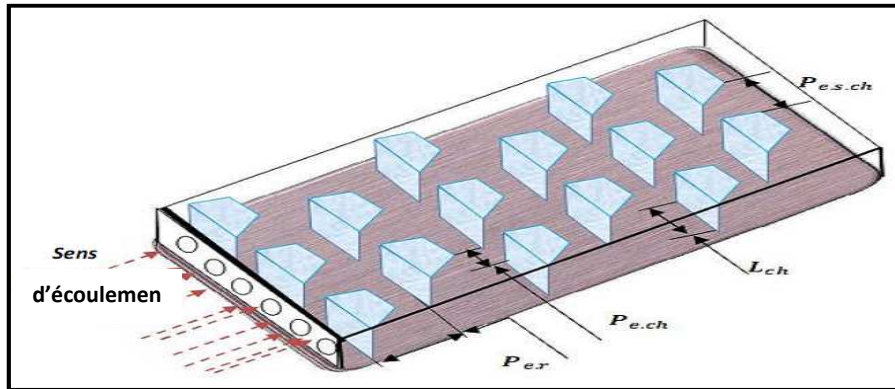


Figure (II-21) : chicanes disposées en quinconce avec parties supérieures  
 $50^\circ$   $120^\circ$  ou trapézoïdales inclinées de

**II-3- 4-2- Chicane disposées en quinconces:**

Ces chicanes sont fixées sur le plan d'écoulement disposées en quinconces (figure (II-22)) , dont les détails concernant les géométries de dispositions et les dimensions sont données d'après le tableau (II-8).



**Figure (II-22) :** chicanes disposées en quinconces avec parties supérieures Trapézoïdales inclinées de de 30° ou 60 °

<i>chicanes rectangulo–trapézoïdales disposées en quinconces</i>				
<i>paramètres géométriques</i>				
		$\bar{P}$	$\bar{P}$	
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	30
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	150
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
10	5, 10, 14, 18, 25	5	10	60
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	30
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	150
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	60
10	5, 10, 14, 18, 25	10	15	120
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	30
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	150
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	60
5	5, 10, 14, 18, 25	5	8	120

**Tableau (II-8) :** configurations des chicanes ractangulo-trapézoïdales alignées en quinconces.

$\Delta P$ [Pa]	$Q$	$Q$	$Q$
0	0,000	0	0
5	2,338	1,95680229	0,05197267
10	3,193	2,67168686	0,07096
15	3,825	3,20030134	0,085000
20	4,322	3,61613134	0,09604444
25	4,751	3,9750671	0,10557778
30	5,090	4,25870165	0,11311111
35	5,406	4,52309256	0,12013333
40	5,764	4,82272443	0,12809156
50	6,196	5,18482284	0,13770889
55	6,456	5,40220069	0,14348244
60	6,648	5,56224923	0,14773333
70	6,964	5,82730948	0,15477333
80	7,235	6,05338044	0,16077778

**Tableau (II – 9) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour un canal sans chicanes**

0	0,000	0	0
5	1,748	1,46316104	0,04982251
10	2,603	2,17804561	0,07416524
15	3,235	2,70666008	0,09216524
20	3,732	3,12249009	0,10632479
25	4,161	3,48142585	0,11854701
30	4,500	3,7650604	0,12820513
35	4,816	4,0294513	0,13720798
40	5,174	4,32908318	0,14741083
50	5,606	4,69118159	0,15974074
55	5,866	4,90855944	0,16714274
60	6,058	5,06860797	0,17259259
70	6,374	5,33366823	0,18161823
80	6,645	5,55973919	0,18931624

**Tableau (II – 10) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour un canal muni de 26rangées de chicanes définies par :**

$$C - R - T 5 (i = 30^\circ, P_{e-r} = 10\text{cm}, P_{e-ch} = 10\text{cm}, P_{e-s-ch} = 15\text{cm})$$

$\Delta P$ [Pa]			
0	0,000	0	0
5	1,131	0,94695452	0,03869402
10	2,119	1,77317611	0,0724547
15	2,751	2,30179059	0,0940547
20	3,248	2,71762059	0,11104615
25	3,677	3,07655635	0,12571282
30	4,016	3,3601909	0,13730256
35	4,332	3,62458181	0,14810598
40	4,690	3,92421368	0,1603494
50	5,123	4,28631209	0,1751453
55	5,382	4,50368994	0,18402769
60	5,574	4,66373848	0,19056752
70	5,890	4,92879873	0,20139829
80	6,1611	5,15486969	0,2106359

**Tableau (II – 11) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour un canal muni de 15rangées de chicanes définies par :**

$$C - R - 5(i = 30^\circ, P_{e,r} = 18\text{cm}, P_{e,ch} = 5\text{cm})$$

0	0,000	0	0
5	0,434	0,36320283	0,01321461
10	1,596	1,33559242	0,04859361
15	2,228	1,8642069	0,06782648
20	2,725	2,28003691	0,08295586
25	3,154	2,63897267	0,09601522
30	3,493	2,92260722	0,10633486
35	3,809	3,18699812	0,11595434
40	4,167	3,48663	0,12685601
50	4,600	3,84872841	0,14003044
55	4,859	4,06610626	0,14793942
60	5,051	4,22615479	0,15376256
70	5,367	4,49121504	0,16340639
80	5,638	4,717286	0,17163166

**Tableau (II – 12) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour un canal muni de 51rangées de chicanes définies par :**

$$C - R - Tr 10 (i = 150^\circ, P_{e,r} = 05\text{cm}, P_{e,ch} = 10\text{cm}, P_{e,s,ch} = 15\text{cm})$$

0	0,000	0	0
5	1,788	1,49662824	0,05096211
10	2,643	2,21151281	0,07530484
15	3,275	2,74012729	0,09330484
20	3,772	3,15595729	0,10746439
25	4,201	3,51489305	0,11968661
30	4,540	3,7985276	0,12934473
35	4,856	4,06291851	0,13834758
40	5,214	4,36255038	0,14855043
50	5,646	4,72464879	0,16088034
55	5,906	4,94202664	0,16828234
60	6,098	5,10207518	0,17373219
70	6,414	5,36713543	0,18275783
80	6,685	5,59320639	0,19045584

**Tableau (II – 13) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour un canal muni de 11rangées de chicanes définies par :**

**$C - R - T 5 (i = 30^\circ, P_{e-r} = 25\text{cm}, P_{e-ch} = 10\text{cm}, P_{e-s-ch} = 15\text{cm})$**

$\Delta P$ [Pa]			
0	0,000	0	0
5	1,586	1,32722562	0,04669021
10	2,502	2,09354092	0,07364827
15	3,134	2,6221554	0,0922443
20	3,631	3,0379854	0,1068727
25	4,060	3,39692116	0,11949963
30	4,399	3,68055571	0,12947756
35	4,715	3,94494662	0,13877851
40	5,073	4,24457849	0,14931921
50	5,506	4,6066769	0,1620574
55	5,766	4,82405475	0,16970449
60	5,957	4,98410328	0,17533481
70	6,274	5,24916354	0,18465931
80	6,544	5,4752345	0,19261221

**Tableau (II – 14) : Evolution des pertes de charge en fonction du débit pour**

**un canal muni de 15rangées de chicanes définies par :**

**$C - R - Tr 5 (i = 30^\circ, P_{e-r} = 18\text{cm}, P_{e-ch} = 5\text{cm}, P_{e-s-ch} = 08\text{cm})$**

**Conclusion:**

A partir des manipulations effectuées sur le banc d'essai expérimental réalisé dans le hall technologique, un nombre important de tableaux de mesures est obtenu pour toutes les configurations considérées, ce qui nous permettra par la suite par l'emploi du principe de l'analyse dimensionnelle d'obtenir des groupements adimensionnels, qui par confrontation à l'expérience aboutit à un système d'équations à résoudre afin d'aboutir à des relations empiriques mettant en relation un certain nombre de paramètres.

# Chapitre III

Etablissement des modèles  
de calcul des pertes de charge

## Introduction :

L'objectif principal de ce chapitre est d'illustrer la méthode et le mode de calcul qu'on a utilisée pour trouver les corrélations empiriques reliant les pertes de charge aux caractéristiques géométriques des quatre configurations des rugosités artificielles considérées, en fonction de la géométrie de disposition de celles-ci dans le conduit utile rectangulaire, en rangées puis en quinconce en régime d'écoulement laminaire et turbulent.

## III- Méthode du calcul

### III-1- Cas des chicanes rectangulaires:

Pour trouver la relation entre les caractéristiques géométriques des rugosités artificielles et les paramètres physiques, on a utilisé la méthode de l'analyse dimensionnelle, dont l'inventaire des dimensions caractéristiques des principaux paramètres intervenant permet d'établir une expression de la perte de charge regroupant 09 paramètres de la forme :

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

Avec:

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

$\rho$  : Masse volumique du fluide en écoulement (l'eau dans notre cas)  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

$V$  : vitesse de l'eau [m/s].

$\mu$  : La viscosité dynamique [ $kg/m.s$ ].

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

$L$  : Longueur du canal [ $m$ ].

$P_{e-ch}$  : Pas entre les chicanes [ $m$ ].

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

$L_{ch}$  : Longueur d'une chicane [ $m$ ].

D'après le théorème de  $\pi$  (de Vashy- Buckingham) on ne peut avoir que 6 groupements indépendants, en adoptant l'écriture suivante avec  $L = cste$ , on peut écrire alors:

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

Où  $\pi$  : Indique un produit.

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



$$M.L^{-2}.T^{-2} = k\pi(M.L^{-3})^\alpha.(L)^\beta.(L.T^{-1}).(M.L^{-1}.T^{-1})^x.(L)^y.(L)^z.(L)^w. \quad (\text{III-3})$$

Après le développement, on aura :

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

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

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

$$\begin{cases} \alpha = 1 - x & (4) \\ \gamma = 2 - x & (5) \end{cases}$$

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

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

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

$$\frac{\Delta P}{L} = \pi k \rho^{1-x} . D_H^{-1-x-y-z-t-w} . V^{2-x} . \mu^x . \varepsilon^y . P_{e-ch}^z . P_{e-r}^t . L_{ch}^w \quad (\text{III-5})$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{L} = \frac{1}{2} \frac{\rho V^2}{D_H} . \left[ \rho^{-x} . D_H^{-x-y-z-t-w} . V^{-x} . \mu^x . \varepsilon^y . P_{e-ch}^z . P_{e-r}^t . L_{ch}^w \right]$$

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

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

$$\Delta P = \frac{1}{2} . \frac{L}{D_H} . \rho \left[ \lambda \left( (R_e), \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right), \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right) \right) \right] V^2$$

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

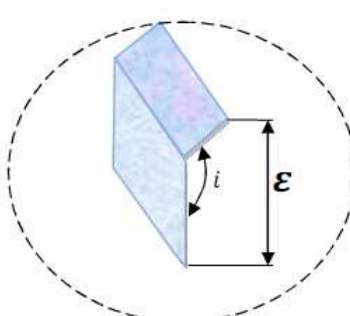
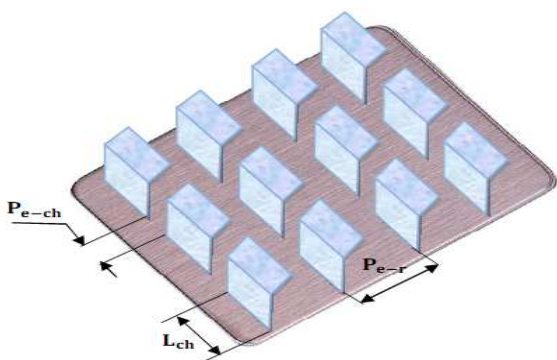
$$\lambda = \lambda \left( (R_e), \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right), \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right) \right) \quad (\text{III-7})$$

Pour déterminer les valeurs des exposants  $\alpha, \beta, \gamma, x, y, z, t$  et  $w$ , on a eu recours à l'expérimentation, un banc d'essai a été réalisé au département de génie mécanique. Quatre configurations de chicanes sont découpées en acier galvanisé d'épaisseur 0,5 mm, ce qui nous a permis d'effectuer une série de manipulations, qui consiste à mesurer la dépression occasionnée entre l'amont et l'aval du conduit rectangulaire, respectivement à surface lisse et muni de plusieurs rangées de chicanes disposées en rangées et en quiconce. Dans cette étude expérimentale, les pertes de charge enregistrées ont été réalisées pour diverses configurations et

différents régimes d'écoulement, et en fonction du pas entre deux rangées successives, le pas entre deux chicanes de la même rangée et de l'inclinaison de la partie supérieure inclinée pour les variantes rectangulaire, rectangulaire trapézoïdale et rectangulaire triangulaire.

**III-1-1-Premier cas: Chicanes alignées en rangées**

**III-1-1-1. Régime laminaire:** Cette analyse est basée sur les données suivantes:

<b>Chicanes rectangulaires disposées en rangées</b>							
							
<b>paramètres géométriques</b>						<b>paramètres physiques</b>	
$n$	$\epsilon$	$i$	$L_{ch}$	$\mu$	$\rho$	$\nu$	$\nu$
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75	3.2143	90	
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75	3.2143	90	
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	2.29	2.7679	79.02	
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29	2.7679	79.02	
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.7311	81.25	
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.7311	81.25	
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	2.1890	67.525	
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	2.1890	67.525	
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.5110	72.5	
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.5110	72.5	
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	1.8866	56.03	
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	1.8866	56.03	
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75	2.1430	63.75	
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75	2.1430	63.75	
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29	1.444	44.535	
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29	1.444	44.535	
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75	2.6332	76.00	
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75	2.6332	76.00	
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29	2.0414	60.628	
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29	2.0414	60.628	

**Tableau (III-1) :** Configurations considérées des chicanes rectangulaires disposées en rangées dans le cas du régime laminaire.

Pour la première catégorie des chicanes rectangulaires disposées en rangées, les mesures des



Sachant que :

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

$$\Rightarrow \frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2 \rho} = \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^y \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^z \cdot \left(\frac{P_t}{D_H}\right)^t \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^w \right]$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2 \rho}\right) = \ln \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^y \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^z \cdot \left(\frac{P_t}{D_H}\right)^t \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^w \right]$$

$$\ln\left(\frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2 \rho}\right) = -x \ln(R_e) + y \ln\left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right) + z \ln\left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right) + t \ln\left(\frac{P_t}{D_H}\right) + w \ln\left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right) \quad (III-8)$$

On remplaçant les données précédentes dans (III-8) on obtient la matrice suivante:

Il s'agit d'une matrice composée de  $n \geq 22$  lignes et de 5 colonnes qui peut être écrite sous la forme ci-après :

$$A_{i,j} \cdot x = B$$

$$i = 1, \dots, n \quad / n \geq 22$$

$$J = 1, \dots, 5$$

La matrice  $A_{i,j}$  n'est pas carrée, dont la résolution est faite par la méthode des moindres carrés, par conséquent on aura :

$$A_{i,j}^T \cdot A_{i,j} \cdot x = A_{i,j}^T \cdot B$$

$$i = 1, \dots, n \quad / n \geq 22$$

$$J = 1, \dots, 5$$

Avec  $A_{i,j}^T$  est la matrice transposée de  $A_{i,j}$ .

On obtient donc un système d'équations de la forme :

$$\begin{cases} C_{i,j} \cdot x = D & / C_{i,j} = A_{i,j}^T \cdot A_{i,j} \text{ et } D = A_{i,j}^T \cdot B \\ i = 1, \dots, 5 \\ j = 1, \dots, 5 \end{cases}$$

-6.75491796	-0.18561466	1.28449618	2.2007869	0.59135	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ t \\ w \end{bmatrix} =$	-2.175
-7.45527654	-0.60799382	1.3497549	2.05126622	0.44183		-3.1237
-7.43973949	-0.18561466	1.28449618	2.2007869	0.9135		-2.8480
-6.99231593	-0.44508867	0.60473345	2.21417137	0.60473345		-2.6872
-7.13435934	0.19769798	0.97466165	2.58409956	0.97466165		-3.3872
-7.28741698	-0.20259093	0.33640557	2.4566911	1.18370343		-3.3110
-6.18288506	0.46505721	0.73119525	2.85145878	1.57849311		-2.9794
-7.41680281	-0.40858405	0.97771031	2.25067599	0.97771031		-3.0397
-6.55086401	0.1188384	1.2322743	2.50523998	1.2322743		-3.6449
-7.38604217	-0.36106529	0.68875683	2.2981947	1.38190401		-3.0332
-6.49481013	0.19769798	0.97466165	2.58409956	1.66780883		-2.8012
-7.43217411	-0.60799382	1.13497549	1.72276215	0.4418283		-3.0774
-6.70874683	-0.18561466	1.28449618	1.87228285	0.591349		-2.0791
-6.27117105	-0.18561466	1.28449618	1.28449618	0.591349		-1.204
-4.48757585	-0.18561466	1.28449618	0.591349	0.591349		-3.0564
-6.73056708	-0.36106529	0.68875683	1.96969068	1.38190401		-7.0202
-7.16071561	-0.36106529	0.68875683	1.3819040	1.3819040		-2.5822
-6.69603481	-0.36106529	0.6887568	0.68875683	1.38190401		-1.6528
-6.49620559	0.1188384	1.2322743	2.17673591	1.2322743		-2.5674
-5.94915116	0.1188384	1.2322743	1.58894925	1.2322743		-1.4733
-6.45359736	0.1188584	1.2322743	0.89580207	1.2322743	-1.789	
-6.6124885	-0.20259093	0.3364055	2.12816504	1.18370343	-2.6543	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	

La résolution de ce système est obtenue par la méthode de Gauss, dont la solution permet d'obtenir le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} x = 0.2928 \\ y = 0.7984 \\ z = 2.2582 \\ t = -1.3196 \\ w = -0.2640 \end{cases}$$

Après substitution des solutions dans l'équation (III-6), on obtient la corrélation suivante qui peut être appliquée pour la disposition en rangée des chicanes en régime laminaire:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \left[ (R_e)^{-0.2928} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.7984} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{2.2582} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-1.3196} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.264} \right] \cdot V^2 \quad (\text{III-9})$$

Et dont l'expression du coefficient de pertes de charge est de la forme :

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-0.2928} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.7984} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{2.2582} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-1.3196} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.264} \right] \quad (\text{III-10})$$

III-1-1-2-Régime turbulent

De la même façon que dans le cas précédent, pour le régime turbulent on considère les données de départ suivantes:

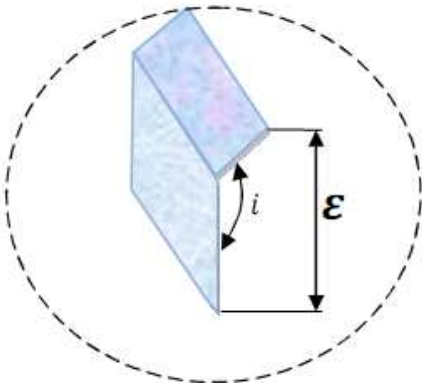
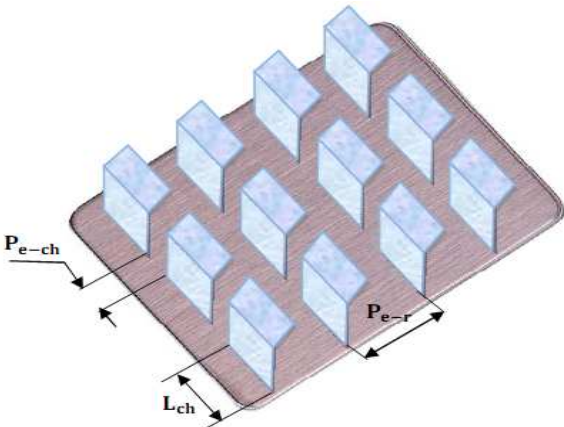
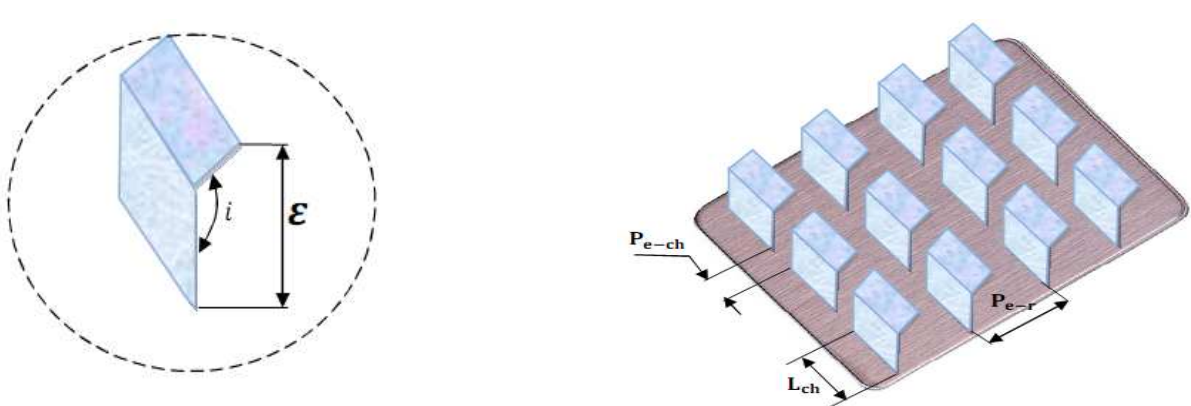
<b>chicanes rectangulaires disposées en rangées</b>								
								
<b>paramètres géométriques</b>						<b>paramètres physiques</b>		
$L$	$F$	$i$	$\epsilon$	$L$	$S$	$\rho$		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75	3.2143	90		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75	3.2143	90		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	<b>2.29</b>	2.7679	79.02		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29	2.7679	79.02		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.7311	81.25		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.7311	81.25		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	2.1890	67.525		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	2.1890	67.525		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.5110	72.5		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.5110	72.5		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	1.8866	56.03		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	1.8866	56.03		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75	2.1430	63.75		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75	2.1430	63.75		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29	1.444	44.535		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29	1.444	44.535		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75	2.6332	76.00		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75	2.6332	76.00		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29	2.0414	60.628		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29	2.0414	60.628		

Tableau (III-3): Configurations considérées des chicanes rectangulaires disposées en rangées dans le cas du régime turbulent.

Dont les relevés expérimentaux des pertes de charges pour les configurations correspondantes au tableau (III-3) a permis d’obtenir les données suivantes:

**chicanes rectangulaires disposées en rangées**



					$f$				
80	0.20389001	10	5	25	2.7679	60	2.29		
80	0.21506481	10	5	25	3.2143	30	1.75		
70	0.19439172	10	5	25	2.7679	60	2.29		
80	0.21200342	5	5	25	2.7311	30	1.75		
60	0.24471513	5	5	25	1.8866	60	2.29		
60	0.21908932	3	7	25	2.1430	30	1.75		
80	0.3257176	3	7	25	1.4440	60	2.29		
60	0.18976974	7	7	25	2.6332	30	1.75		
80	0.25492897	7	7	25	2.0414	60	2.29		
60	0.1969387	5	10	25	2.5110	30	1.75		
80	0.27381661	5	10	25	1.8866	60	2.29		
70	0.20549074	10	5	18	3.2143	30	1.75		
70	0.1929856	10	5	18	2.7679	60	2.29		
70	0.18243975	10	5	10	2.7679	60	2.29		
80	0.1743612	10	5	5	2.7679	60	2.29		
80	0.21789655	5	10	18	2.5110	30	1.75		
80	0.20640230	5	10	10	2.5110	30	1.75		
80	0.1872421	5	10	5	2.5110	30	1.75		
80	0.2530963	7	7	18	2.0414	60	2.29		
80	0.23935127	7	7	10	2.0414	60	2.29		
80	0.21644708	7	7	5	2.0414	60	2.29		
80	0.24288017	3	7	18	2.1430	30	1.75		

**Tableau (III-4):** Pertes de charge prélevées pour la variante des chicanes rectangulaires en rangées en régime turbulent



En remplaçant les données précédentes dans (III-8), on aura :

-6.86837069	-0.18561466	1.28449618	2.20078691	0.561349	$\times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ t \\ w \end{bmatrix} =$	-3.1556
-7.01789139	-0.60799382	1.13497549	2.05126622	0.44182831		-3.1128
-8.58556176	-0.18561466	1.28449618	2.20078691	0.591349		-3.1937
-8.65890442	-0.44508867	0.60473345	2.21417137	0.60473345		-3.247
-8.43246862	0.19769798	0.97466165	2.58409956	0.97466165		-4.1916
-8.44928377	-0.20259093	0.33640557	2.45666911	1.18370343		-3.8430
-8.45104534	0.46505721	0.73119525	2.85145878	1.57849311		-4.78432
-8.51160883	-0.40858405	0.97771031	2.25067599	0.97771031		-3.3496
-8.55221836	0.1188384	1.2322743	2.50523998	1.2322743		-3.9069
-8.50117114	-0.36106529	0.68875683	2.2981947	1.38190401		-3.4713
-8.54483239	0.19769798	0.97466165	2.58409956	1.66780883		-4.1287
-8.79060813	-0.60799382	1.13497549	1.72276215	0.44182831		-3.1553
-8.57830204	-0.18561466	1.28449618	1.87228285	0.591349		-3.1792
-8.52210644	-0.18561466	1.28449618	1.28449618	0.591349		-3.0668
-8.47681788	-0.18561466	0.591349	0.591349	0.591349		-2.8427
-8.60229904	-0.36106529	0.68875683	1.96969068	1.38190401		-3.3859
-8.54810581	-0.36106529	0.68875681	1.38190401	1.38190401		-3.2775
-8.45068106	-0.36106529	0.68875681	0.68875681	1.38190401		-3.0827
-8.54500345	0.1188384	1.2322743	2.17673591	1.2322743		-3.8924
-8.4891533	0.1188384	1.2322743	1.58894925	1.2322743		-3.7808
-8.38857948	0.1188384	1.2322743	0.89580207	1.2322743	-3.5796	
-8.5523724	-0.20259093	0.33640557	2.12816504	1.18370343	- 3.7615	
.....	.....	.....	.....	.....	....	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	

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

$$\begin{cases} x = 0.2985 \\ y = -0.7452 \\ z = -0.0299 \\ t = -0.3975 \\ w = -0.3246 \end{cases}$$

Ce qui nous permet d'obtenir l'expression suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \cdot \rho \left[ (R_e)^{-0.2985} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.7452} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-0.0299} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3975} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.3246} \right] \cdot V^2 \quad (\text{III-11})$$

Donc le coefficient des pertes de charge :

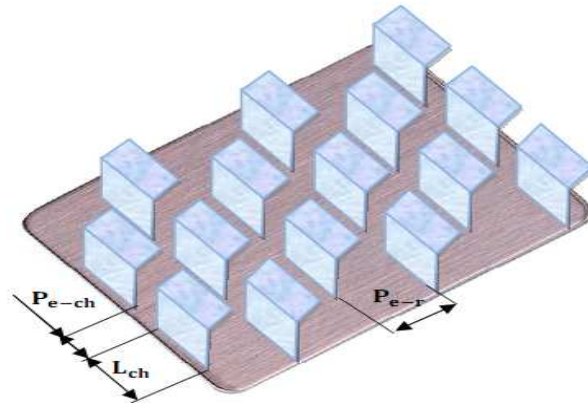
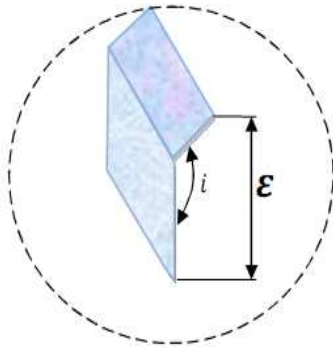
$$\lambda = \left[ (R_e)^{-0.2985} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.7452} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-0.0299} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3975} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.3246} \right] \quad (\text{III-12})$$

Cette expression est valable pour les chicanes disposées en rangées pour un régime d'écoulement turbulent.

### III-1-2- Deuxième cas : Chicanes en quinconces

#### III-1-2- 1-Régime laminaire :

Dans cette étude les configurations de chicanes prises en considérations (figure) d'après le tableau (III-5) qui correspondent à la disposition en quinconce, et où le régime d'écoulement est laminaire.

**chicanes rectangulaires disposées en quinconces**

paramètres géométriques							paramètres physiques	
$L$		$H$					$\rho$	
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75	3.2143	90		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75	3.2143	90		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	2.29	2.7679	79.02		
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29	2.7679	79.02		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.7311	81.25		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.7311	81.25		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	2.1890	67.525		
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	2.1890	67.525		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.5110	72.5		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.5110	72.5		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	1.8866	56.03		
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	1.8866	56.03		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75	2.1430	63.75		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75	2.1430	63.75		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29	1.444	44.535		
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29	1.444	44.535		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75	2.6332	76.00		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75	2.6332	76.00		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29	2.0414	60.628		
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29	2.0414	60.628		

**Tableau (III-5):** Configurations des chicanes rectangulaires disposées en quinconces dans le cas du régime laminaire.

En considérant les relevées des pertes de charge telles que montrées le tableau (III-6) suivant:

<b>chicanes rectangulaires disposées en quinconces</b>									
		$F$			$L$		$i$		
5	0.06297527	10	5	25	2.7679	60	2.29		
5	0.04479938	10	5	25	3.2143	30	1.75		
10	0.09301091	10	5	25	2.7679	60	2.29		
5	0.02980513	5	5	25	2.7311	30	1.75		
10	0.05851528	5	5	25	1.8866	60	2.29		
10	0.05543791	3	7	25	2.1430	30	1.75		
5	0.01500069	3	7	25	1.4440	60	2.29		
10	0.01788048	7	7	25	2.6332	30	1.75		
5	0.02070917	7	7	25	2.0414	60	2.29		
10	0.02856322	5	10	25	2.5110	30	1.75		
5	0.02032641	5	10	25	1.8866	60	2.29		
5	0.04047840	10	5	18	3.2143	30	1.75		
5	0.05805387	10	5	18	2.7679	60	2.29		
5	0.04750801	10	5	10	2.7679	60	2.29		
10	0.0545195	10	5	5	2.7679	60	2.29		
5	0.01819923	5	10	18	2.5110	30	1.75		
10	0.0670489	5	10	10	2.5110	30	1.75		
10	0.01322989	5	10	5	2.5110	30	1.75		
5	0.01429483	7	7	18	2.0414	60	2.29		
5	0.005498	7	7	10	2.0414	60	2.29		
10	0.00835239	7	7	5	2.0414	60	2.29		
5	0.01577342	3	7	18	2.1430	30	1.75		

**Tableau (III-6):** Pertes de charge prélevées pour la variante des chicanes rectangulaires en quinconces en régime laminaire.

Et comme dans les cas précédents, en remplaçant les données correspondantes dans l'équation (III-8), on aura la matrice suivante:

$$\begin{bmatrix}
 -7.45842857 & -0.18561466 & 1.28449618 & 2.20078691 & 0.591349 \\
 -7.26740146 & -0.60799382 & 1.13497549 & 2.05126622 & 0.44182831 \\
 -7.99792395 & -0.3351356 & 1.13497549 & 2.05126622 & 0.44182831 \\
 -6.3067314 & -0.44508867 & 0.60473345 & 2.21417137 & 0.60473345 \\
 -7.00166174 & 0.19769798 & 0.97466165 & 2.58409956 & 0.97466165 \\
 -7.07506722 & -0.20259093 & 0.33640557 & 2.45666911 & 1.18370343 \\
 -5.37311079 & 0.46505721 & 0.73119525 & 2.85145878 & 1.57849311 \\
 -6.149507 & -0.40858405 & 0.97771031 & 2.25067599 & 0.97771031 \\
 -6.04181 & 0.1188384 & 1.2322743 & 2.50523998 & 1.2322743 \\
 -6.37796565 & -0.36106529 & 0.68875683 & 2.29819474 & 1.38190401 \\
 -5.94429484 & 0.19769798 & 0.97466165 & 2.58409956 & 1.66780883 \\
 -7.16597565 & -0.60799382 & 1.13497549 & 1.72276215 & 0.44182831 \\
 -7.37705783 & -0.18561466 & 1.28449618 & 1.87228285 & 0.591349 \\
 -7.17658479 & -0.18561466 & 1.28449618 & 1.28449618 & 0.591349 \\
 -7.31483992 & -0.18561466 & 1.28449618 & 0.591349 & 0.591349 \\
 -6.11965792 & -0.36106529 & 0.68875683 & 1.96969068 & 1.38190401 \\
 -5.12111574 & -0.36106529 & 0.68875683 & 1.38190401 & 1.38190401 \\
 -5.8007573 & -0.36106529 & 0.68875683 & 0.68875683 & 1.38190401 \\
 -5.67113133 & 0.1188384 & 1.2322743 & 2.17673591 & 1.2322743 \\
 -2.4130327 & 0.1188384 & 1.2322743 & 1.58894925 & 1.2322743 \\
 -5.13378112 & 0.1188384 & 1.2322743 & 0.89580207 & 1.2322743 \\
 -5.81813051 & -0.20259093 & 0.3364055 & 2.12816504 & 1.18370343 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{bmatrix}
 \begin{matrix}
 \\ \\ \\ \\ x \\ \\ y \\ \\ \\ z \\ \\ t \\ \\ w
 \end{matrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 -3.57851586 \\
 -2.74789954 \\
 -3.5157936 \\
 -2.0977714 \\
 -3.12177293 \\
 -2.88629396 \\
 -1.35989591 \\
 -0.41719276 \\
 -1.65863789 \\
 -1.01666633 \\
 -1.70018633 \\
 -2.54504794 \\
 -3.41577438 \\
 -3.01482829 \\
 -2.59819137 \\
 -0.50005086 \\
 1.49703349 \\
 1.3775039 \\
 -0.91728057 \\
 5.59891617 \\
 0.85056703 \\
 -3.61253061 \\
 \dots \\
 \dots
 \end{bmatrix}$$

Dont la solution nous fournit les valeurs des exposants suivantes :

$$\begin{cases} x = 1.2697 \\ y = -3.8416 \\ z = 3.2451 \\ t = -0.3260 \\ w = -3.33346 \end{cases}$$

Ce qui permet d'obtenir l'expression empirique de la perte de charge et du coefficient de frottement ou de la perte de charge :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \cdot \rho \left[ (R_e)^{-1.2697} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-3.8416} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{3.2451} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3260} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-3.33346} \right] \cdot V^2 \quad (\text{III-13})$$

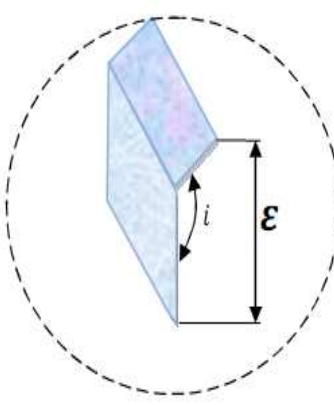
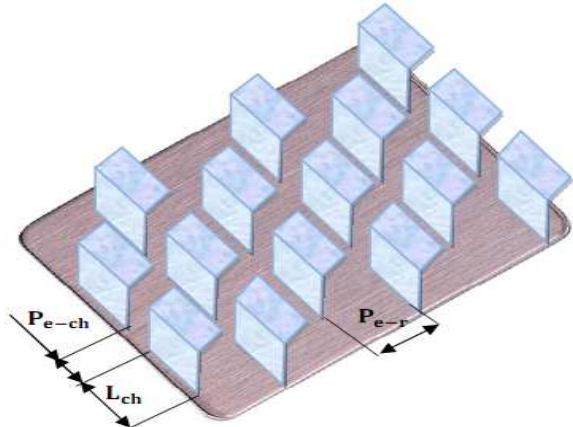
Donc le coefficient des pertes de charge:

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-1.2697} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-3.8416} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{3.2451} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3260} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-3.33346} \right] \quad (\text{III-14})$$

A savoir que ces dernières expressions ne sont valables que pour les chicanes disposées en quinconces et en régime d'écoulement laminaire.

**III-1-2- 2-Régime turbulent :**

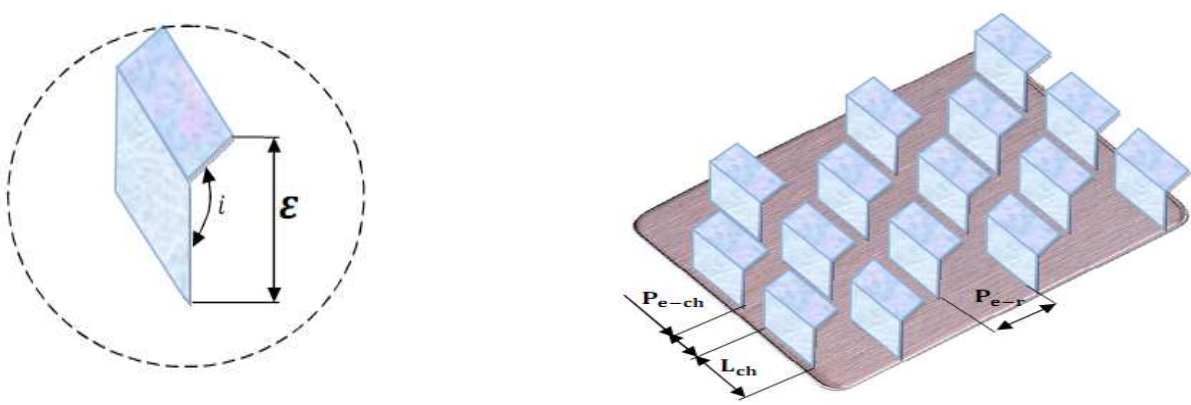
De la même façon que pour le régime laminaire, on considère les données de départ suivantes :

<b>chicanes rectangulaires disposées en quinconces</b>									
									
<b>paramètres géométriques</b>						<b>paramètres physiques</b>			
$L$			$H$						
5	25, 18, 14, 10, 5	10	30	1.75	3.2143	90			
5	25, 18, 14, 10, 5	10	150	1.75	3.2143	90			
5	25, 18, 14, 10, 5	10	60	<b>2.29</b>	2.7679	79.02			
5	25, 18, 14, 10, 5	10	120	2.29	2.7679	79.02			
5	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.7311	81.25			
5	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.7311	81.25			
5	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	2.1890	67.525			
5	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	2.1890	67.525			
10	25, 18, 14, 10, 5	05	30	1.75	2.5110	72.5			
10	25, 18, 14, 10, 5	05	150	1.75	2.5110	72.5			
10	25, 18, 14, 10, 5	05	60	2.29	1.8866	56.03			
10	25, 18, 14, 10, 5	05	120	2.29	1.8866	56.03			
7	25, 18, 14, 10, 5	03	30	1.75	2.1430	63.75			
7	25, 18, 14, 10, 5	03	150	1.75	2.1430	63.75			
7	25, 18, 14, 10, 5	03	60	2.29	1.444	44.535			
7	25, 18, 14, 10, 5	03	120	2.29	1.444	44.535			
7	25, 18, 14, 10, 5	7	30	1.75	2.6332	76.00			
7	25, 18, 14, 10, 5	7	150	1.75	2.6332	76.00			
7	25, 18, 14, 10, 5	7	60	2.29	2.0414	60.628			
7	25, 18, 14, 10, 5	7	120	2.29	2.0414	60.628			

**Tableau (III-7) :**Configurations des chicanes rectangulaires disposées en quinconces

D'autre part on a les données suivantes:

**Les chicanes rectangulaires disposées en quinconces**



80	0.23509168	10	5	25	2.7679	60	2.29		
80	0.20580556	10	5	25	3.2143	30	1.75		
70	0.22559338	10	5	25	2.7679	60	2.29		
80	0.20174701	5	5	25	2.7311	30	1.75		
60	0.25889404	5	5	25	1.8866	60	2.29		
60	0.21977778	3	7	25	2.1430	30	1.75		
80	0.30700573	3	7	25	1.4440	60	2.29		
60	0.2002595	7	7	25	2.6332	30	1.75		
80	0.22880426	7	7	25	2.0414	60	2.29		
60	0.20793487	5	10	25	2.5110	30	1.75		
80	0.24549844	5	10	25	1.8866	60	2.29		
70	0.19314506	10	5	18	3.2143	30	1.75		
70	0.23017028	10	5	18	2.7679	60	2.29		
70	0.21012613	10	5	10	2.7679	60	2.29		
80	0.19853272	10	5	5	2.7679	60	2.29		
80	0.20257088	5	10	18	2.5110	30	1.75		
80	0.19107663	5	10	10	2.5110	30	1.75		
80	0.16808812	5	10	5	2.5110	30	1.75		
80	0.2347696	7	7	18	2.0414	60	2.29		
80	0.20864489	7	7	10	2.0414	60	2.29		
80	0.19353425	7	7	5	2.0414	60	2.29		
80	0.22545098	3	7	18	2.1430	30	1.75		

**Tableau (III-8):** Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulaires disposées en quinconces en régime turbulent



Comme précédemment, en remplaçant les données dans (III-8) on obtient la matrice :

$$\begin{bmatrix}
 -8.77566203 & -0.18561466 & 1.28449618 & 2.20078691 & 0.591349 \\
 -8.792139 & -0.60799382 & 1.13497549 & 2.05126622 & 0.44182831 \\
 -8.88394133 & -0.3351356 & 1.13497549 & 2.05126622 & 0.44182831 \\
 -8.6093165 & -0.44508867 & 0.60473345 & 2.21417137 & 0.60473345 \\
 -8.48879268 & 0.19769798 & 0.97466165 & 2.58409956 & 0.97466165 \\
 -8.45242121 & -0.2025909 & 0.33640557 & 2.4566911 & 1.18370343 \\
 -8.39186421 & 0.46505721 & 0.73119525 & 2.85145878 & 1.57849311 \\
 -8.56541141 & -0.40858405 & 0.97771031 & 2.25067599 & 0.97771031 \\
 -8.44410028 & 0.1188384 & 1.2322743 & 2.50523998 & 1.2322743 \\
 -8.55550354 & -0.36106529 & 0.68875683 & 2.29819474 & 1.38110401 \\
 -8.43566441 & 0.19769798 & 0.97466165 & 2.58409956 & 1.66780883 \\
 -8.72864867 & -0.60799382 & 1.13497549 & 1.72276215 & 0.44182831 \\
 -8.75450584 & -0.18561466 & 1.28449618 & 1.87228285 & 0.591349 \\
 -8.66339443 & -0.18561466 & 1.28449618 & 0.591349 & 0.591349 \\
 -8.60664038 & -0.18561466 & 1.28449618 & 0.591349 & 0.591349 \\
 -8.52936848 & -0.36106529 & 0.6887568 & 1.96969068 & 1.38190401 \\
 -8.47095318 & -0.36106529 & 0.6887568 & 1.8190401 & 1.38190401 \\
 -8.342767 & -0.36106529 & 0.6887568 & 0.68875683 & 1.38190401 \\
 -8.46983801 & 0.1188384 & 1.2322743 & 2.17673591 & 1.2322743 \\
 -8.35186711 & 0.1188384 & 1.2322743 & 1.58894925 & 1.2322743 \\
 -8.2766879 & 0.1188384 & 1.2322743 & 0.89580207 & 1.2322743 \\
 -8.47790702 & -0.22259093 & 0.33640557 & 2.12816504 & 1.18370343 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{bmatrix}
 x \\
 y \\
 z \\
 t \\
 w
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 -3.44039405 \\
 -3.0247859 \\
 -3.34192196 \\
 -3.14785634 \\
 -4.01659329 \\
 -3.69509039 \\
 -4.62481401 \\
 -3.16956004 \\
 -3.82416113 \\
 -3.39230055 \\
 -4.04386813 \\
 -3.03133664 \\
 -3.39808168 \\
 -3.34939025 \\
 -3.10235076 \\
 -3.7356184 \\
 -3.12319985 \\
 -2.86682747 \\
 -3.74210519 \\
 -3.63969948 \\
 -3.35580498 \\
 -3.61253061 \\
 \dots \\
 \dots
 \end{bmatrix}$$

Dont la résolution de ce système est obtenue par la méthode dite pseudo- inverse, tel que :

$$x = \text{pinv}(a) * b$$

La solution de ce système d'équation permet d'obtenir :

$$\begin{cases} x = 0.4150 \\ y = -1.2540 \\ z = 0.2820 \\ t = -0.1972 \\ w = -0.0415 \end{cases}$$

L'expression de la perte de charge correspondante est de la forme :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \cdot \rho \left[ (R_e)^{-0.4150} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-1.2540} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.2820} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1972} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.0415} \right] \cdot V^2 \quad \text{(III-15)}$$

A avoir le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-0.4150} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-1.2540} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.2820} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1972} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-0.0415} \right] \quad \text{(III-16)}$$

Cette expression est valable pour les chicanes rectangulaires disposées en quinconces en régime d'écoulement turbulent.

### III-2- Cas des chicanes rectangulaires – triangulaire , triangulaires et rectangulaires - trapézoïdales :

Pour trouver la relation entre les caractéristiques géométriques des rugosités artificielles et les paramètres physiques , on s'est servi de la méthode de l'analyse dimensionnelle.

Pour résoudre se système.

On a :

$$\Delta P = \Delta P(\rho, D_H, V, \mu, \varepsilon, L, P_{e-ch}, P_{e-r}, L_{ch}, P_{e-s-ch},) \quad \text{(III-17)}$$

Avec :

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

$\rho$  : Masse volumique de l'eau en  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

$V$  : La vitesse de l'eau n [m/s].

$\mu$  : La viscosité dynamique en  $[kg/m.s]$ .

$\varepsilon$  : La rugosité absolue en  $[m]$ .

$L$  : Longueur du canal en  $[m]$ .

$P_{e-ch}$  : Pas entre les chicanes [m].

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

$L_{ch}$  : Longueur d'une chicane [m].

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

D'après le théorème de  $\pi$  (de Vashy- Buckingham), on ne peut avoir que 7 groupements indépendants, et en adoptant l'écriture suivante, avec  $L = cste$ , on peut écrire donc :

$$\frac{\Delta P}{L} = \pi k \rho^\alpha \cdot D_H^\beta \cdot V^\gamma \cdot \mu^x \cdot \varepsilon^y \cdot P_{e-ch}^z \cdot P_{e-r}^t \cdot L_{ch}^w \cdot (P_{e-s-ch})^n \quad (\text{III-18})$$

Avec,  $\pi$  Indique un produit.

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

$$\begin{aligned} M \cdot L^{-2} \cdot T^{-2} &= k \pi (M \cdot L^{-3})^\alpha \cdot (L)^\beta \cdot (L \cdot T^{-1})^\gamma \\ &\times (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1})^x \cdot (L)^y \cdot (L)^z \cdot (L)^t \cdot (L)^w \cdot (L)^n \end{aligned} \quad (\text{III-19})$$

Après le développement on a :

$$M \cdot L^{-2} \cdot T^{-2} = k \pi (M)^{\alpha+x} \cdot (T)^{-\gamma-x} \cdot (L)^{-3\alpha+\beta+\gamma-x+y+z+t+w+n}. \quad (\text{III-20})$$

Après identification, on obtient un système de 3 équations.

$$\begin{cases} \alpha + x = 1 & (7) \\ \gamma - x = -2 & (8) \\ -3\alpha + \beta + \gamma - x + y + z + t + w + n = -2 & (9) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha = 1 - x & (10) \\ \gamma = 2 - x & (11) \end{cases}$$

Remplaçant (10) et (11) dans (9) on obtient :

$$\beta = -1 - x - y - z - t - w - n \quad (12)$$

Et en remplaçant (10), (11) et (12) dans (III-18) on obtient:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{L} &= \pi k \rho^{1-x} \cdot D_H^{-1-x-y-z-t-w-n} \cdot V^{2-x} \cdot \mu^x \cdot \varepsilon^y \cdot P_{e-r}^t \cdot P_{e-ch}^z \cdot L_{ch}^w \cdot P_{e-s-ch}^n \\ \Rightarrow \frac{\Delta P}{L} &= \frac{1}{2} \frac{\rho V^2}{D_H} \cdot \left[ \rho^{-x} \cdot D_H^{-x-y-z-t-w-n} \cdot V^{-x} \cdot \mu^x \cdot \varepsilon^y \cdot P_{e-r}^t \cdot P_{e-ch}^z \cdot L_{ch}^w \cdot P_{e-s-ch}^n \right] \\ \Rightarrow \Delta P &= \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left[ \left( \frac{\rho \cdot V \cdot D_H}{\mu} \right)^{-x} \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^z \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^t \times \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \cdot \left( \frac{P_{e-s-ch}}{D_H} \right)^n \right] \end{aligned}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \rho \cdot \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-x} \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right)^y \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^z \\ \times \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^t \cdot \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^w \cdot (P_{e-s-ch})^n \end{array} \right] \cdot V^2 \quad (\text{III-21})$$

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

Compte tenu de cette dernière relation le coefficient de frottement prend l'expression suivante:

$$\lambda = \lambda \left( (R_e), \left( \frac{\varepsilon}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right), \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right), \left( \frac{P_{e-s-ch}}{D_H} \right) \right) \quad (\text{III-22})$$

III-2- 1- Cas des chicanes rectangulaires – triangulaires

III-2-1-1- Première cas: Chicanes en files alignées (en rangées):

III-2-1-1-1-Régime laminaire

On considère les données de départ suivantes:

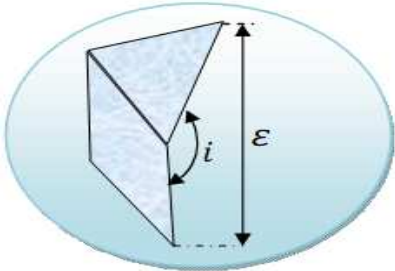
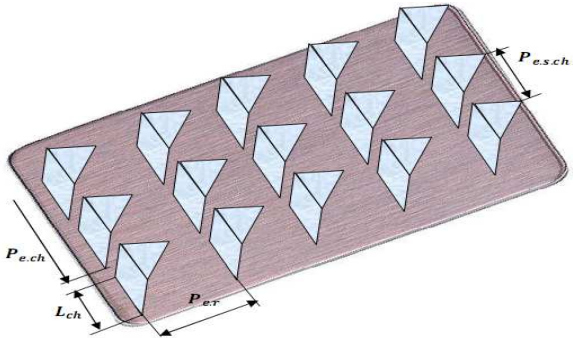
<b>Chicanes rectangulo –triangulaires disposées en rangées</b>										
										
$\rho$	$\mu$	$F$	$L$	$F$	$F$	$L$	$i$	$\rho$		
5	0.05368766	5	5	25	10	3.1770	30	1.75		
5	0.04119144	5	5	25	10	2.8841	60	2.29		
10	0.08994023	5	5	25	10	3.1770	30	1.75		
10	0.08160199	5	10	25	15	3.0089	30	1.75		
5	0.02898247	5	10	25	15	2.6971	60	2.29		
5	0.05950912	10	5	25	15	3.5493	30	1.75		
5	0.05151312	10	5	25	15	3.2997	60	2.29		
10	0.08871418	5	5	18	10	3.1770	30	1.75		
5	0.03986493	5	5	18	10	2.8841	60	2.29		
5	0.04902488	5	10	18	15	3.0089	30	1.75		
10	0.06129393	5	10	18	15	2.6971	60	2.29		
5	0.05836952	10	5	18	15	3.5493	30	1.75		
5	0.05030552	10	5	18	15	3.2997	60	2.29		
5	0.04326621	5	5	10	10	3.1770	30	1.75		
5	0.02991611	5	5	10	10	2.8841	60	2.29		
5	0.03907463	5	10	10	15	3.0089	30	1.75		
10	0.05025859	5	10	10	15	2.6971	60	2.29		
5	0.04982251	10	5	10	15	3.5493	30	1.75		
5	0.04124854	10	5	10	15	3.2997	60	2.29		
5	0.02794054	5	5	5	10	3.1770	30	1.75		
5	0.0133347	5	5	5	10	2.8841	60	2.29		
5	0.02249088	5	10	5	15	3.0089	30	1.75		
10	0.03186637	5	10	5	15	2.6971	60	2.29		
5	0.03557749	10	5	5	15	3.5493	30	1.75		
5	0.02615356	10	5	5	15	3.2997	60	2.29		$1.005 \cdot 10^{-6}$

Tableau (III-9): Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulaire-triangulaire disposées en rangées en régime laminaire

Sachant que :

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

$$\Rightarrow \frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2\rho} = \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^y \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^z \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^t \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^w \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^n \right]$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2\rho}\right) = \ln \left[ (R_e)^{-x} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^y \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^z \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^t \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^w \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^n \right]$$

$$\ln\left(\frac{2\Delta P \cdot D_H}{LV^2\rho}\right) = -x\ln(R_e) + y\ln\left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right) + z \cdot \ln\left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right) + t \cdot \ln\left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)$$

$$+ w \cdot \ln\left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right) + \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^n \quad (III-23)$$

De la même sorte et en remplaçant les données correspondantes aux pertes de charge tableau (III-9) précédentes dans (III-23) on obtient

-7.43671809	-0.59632157	0.45350056	2.06293847	0.45350056	1.14664774		-3.12154955
-7.07504091	-0.22673865	0.55022502	2.15966293	0.55022502	1.2433722		-2.68836859
-7.95268025	-0.59632157	0.45350056	2.06293847	0.45350056	1.14664774	x	-3.46032669
-7.80102576	-0.54195878	0.50786335	2.11730126	1.20101053	1.60647564		-3.3201061
-6.65646584	-0.15970288	0.61726079	2.2266987	1.31040797	1.71587308		-2.05232575
-7.65047753	-0.70713461	1.03583469	1.95212542	0.34268751	1.4412998	y	-3.2166293
-7.3326564	-0.36135731	1.10875354	2.02504427	0.41560636	1.5142865		-3.00096206
-7.93895465	-0.59632157	0.45350056	1.7344344	0.45350056	1.14664774		-3.43287549
-7.04230743	-0.22673865	0.55022502	1.83115887	0.55022502	1.2433722	z	-2.62290163
-7.29150004	-0.54195878	0.50786335	1.78879710	1.20101053	1.60647564		-2.99420183
-7.40545549	-0.15970288	0.61726079	1.89819464	1.311040797	1.71587308	x =	-2.85715788
-7.63114179	-0.70713461	1.03583469	1.62362136	0.34268751	1.4412998	t	-3.17795782
-7.40933176	-0.3640036	1.1089657	1.69675237	0.41581852	1.51443081		-2.95373078
-7.22090687	-0.59632157	0.45350056	1.14664774	0.45350056	1.14664774		-2.68992711
-6.75520758	-0.226673865	0.55022502	1.2433722	0.55022502	1.2433722	w	-2.04870192
-7.06464552	-0.54195878	0.50786335	1.20101053	1.20101053	1.60647564		-2.5404928
-7.20695615	-0.15970288	0.61726079	1.89819464	1.31040797	1.71587308		-2.4601592
-7.47281484	-0.70713461	1.03583469	1.03583469	0.34268751	1.4412998	n	-2.86130392
-7.21083266	-0.6340036	1.1089657	1.1089657	0.41581852	1.51443081		-2.55673259
-6.78361359	-0.59632157	0.45350056	0.45350056	0.45350056	1.14664774		-1.81534055
-5.9471831	-0.22673865	0.55022502	0.55022502	0.55022502	1.2433722		-0.43265297
-6.51228201	-0.54195878	0.50786335	0.50786335	1.20101053	1.60647564		-1.43576577
-6.75132589	-0.15970288	0.61726079	0.61726079	1.31040797	1.71587308		-1.54889869
-7.13606109	-0.70713461	1.03583469	0.34268751	0.342687751	1.4412998		-2.18779641
-6.75520226	-0.6340036	1.1089657	1.1089657	0.41581852	1.51443081		-1.64547179
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....

IL s'agit d'une matrice composée de  $n \geq 25$  lignes et de 6 colonnes qui peut être écrite sous la forme:

$$A_{i,j} \cdot x = B$$

$$i = 1, \dots, n \quad / n \geq 25$$

$$J = 1, \dots, 6$$

La matrice  $A_{i,j}$  n'est pas carrée, la résolution est faite par la méthode des moindres carrés, par conséquent on aura:

$$A_{i,j}^T \cdot A_{i,j} \cdot x = A_{i,j}^T \cdot B$$

$$i = 1, \dots, n \quad / n \geq 25$$

$$J = 1, \dots, 6$$

Avec  $A_{i,j}^T$  étant la matrice transposée de  $A_{i,j}$ , on obtient un système d'équations de la forme :

$$\begin{cases} C_{i,j} \cdot x = D & / C_{i,j} = A_{i,j}^T \cdot A_{i,j} \text{ et } D = A_{i,j}^T \cdot B \\ i = 1, \dots, 6 \\ j = 1, \dots, 6 \end{cases}$$

Comme précédemment la résolution de ce système est obtenue par la méthode de Gauss, ce qui permet d'obtenir le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} x = 1.1972 \\ y = 0.7207 \\ z = -6.7089 \\ t = -0.3428 \\ w = -6.3749 \\ m = 11.2249 \end{cases}$$

Après substitution des solutions dans l'équation (III-21), on obtient la corrélation suivante qui peut être appliquée pour des chicanes triangulaire disposées en rangées en régime laminaire :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-1.1972} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.7207} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-6.7089} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3428} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-6.3749} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{11.2249} \end{array} \right] V^2 \quad (\text{III-24})$$

Dont le coefficient de frottement prend l'expression suivante :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-1.1972} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.7207} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-6.7089} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3428} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-6.3749} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{11.2249} \end{array} \right] \quad (\text{III-25})$$



**III-2-1-1-2-Régime turbulent**

Pour le régime turbulent, de la même façon que précédemment et en considérant les données des pertes de charge en présence de la variante des chicanes triangulaires disposées en rangées (tableau (III-10)), on a établi la relation de perte de charge empirique suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ (R_e)^{-1.2060} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.0043} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-7.1129} \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.0949} \right. \\ \left. \times \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-7.2345} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{12.3519} \right] V^2 \quad (III-26)$$

Dont le coefficient des pertes de charge correspondant est:

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-1.2060} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.0043} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-7.1129} \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.0949} \right. \\ \left. \times \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-7.2345} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{12.3519} \right] \quad (III-27)$$

**Chicanes rectangulaires – triangulaires disposées en rangées**

		$F$	$L$	$F$	$F$	$D$			
		[	[	[	[				
80	0.21382682	5	5	25	10	3.1770	30	1.75	
80	0.21731878	5	5	25	10	2.8841	60	2.29	
70	0.20554483	5	5	25	10	3.1770	30	1.75	
70	0.20669665	5	10	25	15	3.0089	30	1.75	
80	0.2114407	5	10	25	15	2.6971	60	2.29	
80	0.19900285	10	5	25	15	3.5493	30	1.75	
80	0.21078929	10	5	25	15	3.2997	60	2.29	
70	0.20431877	5	5	18	10	3.1770	30	1.75	
80	0.21599227	5	5	18	10	2.8841	60	2.29	
80	0.21433107	5	10	18	15	3.0089	30	1.75	
70	0.20003016	5	10	18	15	2.6971	60	2.29	
80	0.1976325	10	5	18	15	3.5493	30	1.75	
80	0.20958169	10	5	18	15	3.2997	60	2.29	
80	0.20340536	5	5	10	10	3.1770	30	1.75	
80	0.20604345	5	5	10	10	2.8841	60	2.29	
80	0.20438143	5	10	10	15	3.0089	30	1.75	
70	0.18899483	5	10	10	15	2.6971	60	2.29	
80	0.18931624	10	5	10	15	3.5493	30	1.75	
80	0.2005247	10	5	10	15	3.2997	60	2.29	
80	0.18807969	5	5	5	10	3.1770	30	1.75	
80	0.18946207	5	5	5	10	2.8841	60	2.29	
80	0.18779768	5	10	5	15	3.0089	30	1.75	
80	0.18054176	5	10	5	15	2.6971	60	2.29	
80	0.17507123	10	5	5	15	3.5493	30	1.75	
80	0.18542972	10	5	5	15	3.2997	60	2.29	

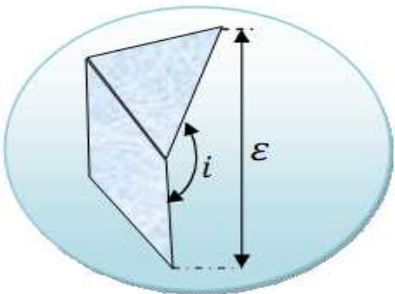
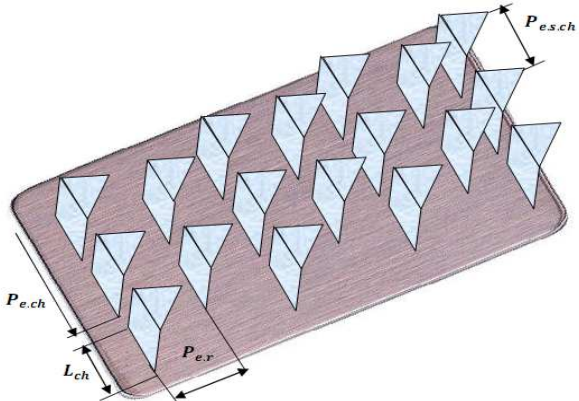
**Tableau (III-10) :** Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulaire-triangulaire disposées en rangées en régime turbulent

Pour les autres configurations, on ne présentera que les détails des configurations étudiées et les relations empiriques des pertes de charge correspondantes.

**III-2-1-2-Deuxième cas : Chicane disposées en quinconces**

**III-2-1-2-1- Régime laminaire:**

Les études de cas sur les quels nous nous sommes basés sont:

<b>Chicanes rectangulo – triangulaires disposées en quinconces</b>										
										
$\epsilon$	$i$	$F$	$L$	$F$	$F$	$D$	$L_{ch}$	$P_{e,ex}$	$P_{e,ex}$	$\lambda$
5	0.04449226	5	5	25	10	3.1770	30	1.75		
5	0.03124262	5	5	25	10	2.8841	60	2.29		
10	0.08074483	5	5	25	10	3.1770	30	1.75		
10	0.07165174	5	10	25	15	3.0089	30	1.75		
5	0.01794713	5	10	25	15	2.6971	60	2.29		
5	0.05096211	10	5	25	15	3.5493	30	1.75		
5	0.04245613	10	5	25	15	3.2997	60	2.29		
10	0.04020107	5	5	18	10	3.1770	30	1.75		
5	0.02659984	5	5	18	10	2.8841	60	2.29		
5	0.03575788	5	10	18	15	3.0089	30	1.75		
10	0.01279731	5	10	18	15	2.6971	60	2.29		
5	0.03822954	10	5	18	15	3.5493	30	1.75		
5	0.0469735	10	5	18	15	3.2997	60	2.29		
5	0.03100567	5	5	10	10	3.1770	30	1.75		
5	0.01665101	5	5	10	10	2.8841	60	2.29		
5	0.02580763	5	10	10	15	3.0089	30	1.75		
10	0.03554481	5	10	10	15	2.6971	60	2.29		
5	0.02917255	10	5	10	15	3.5493	30	1.75		
5	0.384265	10	5	10	15	3.2997	60	2.29		
5	0.01261487	5	5	5	10	3.1770	30	1.75		
10	0.03884352	5	5	5	10	2.8841	60	2.29		
5	0.00590713	5	10	5	15	3.0089	30	1.75		
10	0.01347414	5	10	5	15	2.6971	60	2.29		
5	0.02133248	10	5	5	15	3.5493	30	1.75		
5	0.01105858	10	5	5	15	3.2997	60	2.29		

**Tableau (III-11) :** Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulaire-triangulaire disposées en quinconce en régime laminaire

Après résolution des équations, on obtient l'expression empirique de la perte de charge suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-1.6915} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.6319} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-9.6765} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1881} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-9.2643} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{16.4783} \end{array} \right] V^2 \quad (\text{III-28})$$

Dont le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-1.6915} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.6319} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-9.6765} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1881} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-9.2643} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{16.4783} \end{array} \right] \quad (\text{III-29})$$

III-2- 1-2-2-Régime turbulent :

**Chicanes rectangulo – triangulaires disposées en quinconces**

		$F$	$L$	$F$	$F$	$L$		
		[	[	[	[			
80	0.20463142	5	5	25	10	3.1770	30	1.75
80	0.20736996	5	5	25	10	2.8841	60	2.29
70	0.19634943	5	5	25	10	3.1770	30	1.75
70	0.19674627	5	10	25	15	3.0089	30	1.75
80	0.20040536	5	10	25	15	2.6971	60	2.29
80	0.19045584	10	5	25	15	3.5493	30	1.75
80	0.2017323	10	5	25	15	3.2997	60	2.29
30	0.20034023	5	5	18	10	3.1770	30	1.75
80	0.20272717	5	5	18	10	2.8841	60	2.29
80	0.20106468	5	10	18	15	3.0089	30	1.75
70	0.19525554	5	10	18	15	2.6971	60	2.29
80	0.18646727	10	5	18	15	3.5493	30	1.75
80	0.19750571	10	5	18	15	3.2997	60	2.29
80	0.19114483	5	5	10	10	3.1770	30	1.75
80	0.19277835	5	5	10	10	2.8841	60	2.29
80	0.19111443	5	10	10	15	3.0089	30	1.75
70	0.18422021	5	10	10	15	2.6971	60	2.29
80	0.18844872	10	5	10	15	3.5493	30	1.75
80	0.17792023	10	5	10	15	3.2997	60	2.29
80	0.17275402	5	5	5	10	3.1770	30	1.75
70	0.1728807	5	5	5	10	2.8841	60	2.29
80	0.17121393	5	10	5	15	3.0089	30	1.75
80	0.16214954	5	10	5	15	2.6971	60	2.29
80	0.16082621	10	5	5	15	3.5493	30	1.75
80	0.17033475	10	5	5	15	3.2997	60	2.29

**Tableau (III-12) :** Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulo-triangulaire disposées en quinconce en régime turbulent

Pour cette configuration de chicanes, la corrélation empirique des pertes de charge est :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{aligned} & (R_e)^{-1.3921} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.0244} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-8.7666} \\ & \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{0.0805} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-8.8184} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{15.0836} \end{aligned} \right] V^2 \quad (III-30)$$

Le coefficient des pertes de charge correspondant est :

$$\lambda = \left[ \begin{aligned} & (R_e)^{-1.3921} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.0244} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-8.7666} \\ & \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{0.0805} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-8.8184} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{15.0836} \end{aligned} \right] \quad (III-31)$$

### III-2- 2- Chicane triangulaire

#### III-2- 2-1- Premières cas : Chicane disposées en rangées :

##### III-2- 2-1-1-Régime Laminaire :

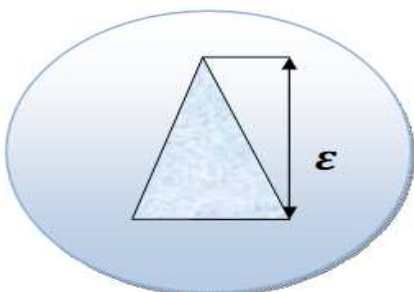
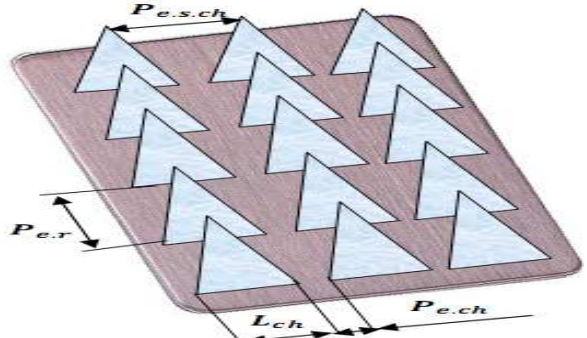
<i>chicanes triangulaires disposées en rangées</i>										
										
		$P_{e-r}$	$L_{ch}$	$P_{e-s-ch}$	$P_{e-ch}$				$\rho$	
5	0.03475556	0	10	25	10	2.2543	180	2.5		
10	0.06899111	0	5	25	5	1.990	180	2.5		
5	0.05437683	5	10	25	15	3.225	180	2.5		
5	0.05591111	5	5	25	10	3.2510	180	2.5		
5	0.05809639	10	5	25	15	3.5311	180	2.5		
5	0.0329778	0	10	18	10	2.2543	180	2.5		
10	0.06721333	0	5	18	5	1.990	180	2.5		
5	0.05310698	5	10	18	15	3.225	180	2.5		
10	0.08181905	5	10	10	15	3.225	180	2.5		
5	0.02771016	5	10	5	15	3.225	180	2.5		
5	0.05472593	5	5	18	10	3.2510	180	2.5		
5	0.04583704	5	5	10	10	3.2510	180	2.5		
5	0.03102222	5	5	5	10	3.2510	180	2.5		
5	0.05698528	10	5	18	15	3.5311	180	2.5		
5	0.04865194	10	5	10	15	3.5311	180	2.5		
5	0.03476306	10	5	5	15	3.5311	180	2.5		

Tableau (III-13) : Pertes de charge correspondantes aux chicanes triangulaire disposées en rangées en régime laminaire

Ce qui nous permis d’obtenir l’expression suivante :

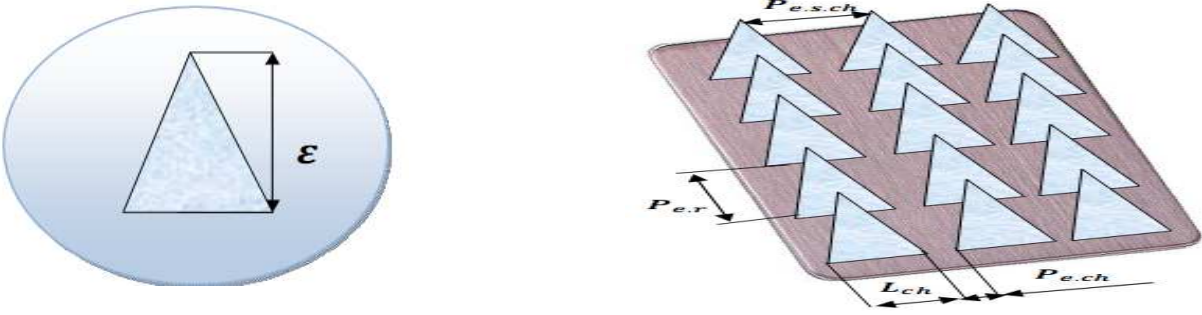
$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{D_H} \rho \left[ (R_e)^{-1.1467} \left( \frac{\epsilon}{D_H} \right)^{-5.5799} \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^{-2.9986} \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^{-0.3370} \right. \\ \left. \times \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^{4.9329} \cdot (P_{e-s-ch})^{0.2758} \right] V^2 \quad (III-32)$$

Dont le coefficient de frottement prend l’expression suivante :

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-1.1467} \left( \frac{\epsilon}{D_H} \right)^{-5.5799} \left( \frac{P_{e-ch}}{D_H} \right)^{-2.9986} \cdot \left( \frac{P_{e-r}}{D_H} \right)^{-0.3370} \right. \\ \left. \times \left( \frac{L_{ch}}{D_H} \right)^{4.9329} \cdot (P_{e-s-ch})^{0.2758} \right] \quad (III-33)$$

**III-2- 2-1-2-Régime turbulent :**

**chicanes triangulaires disposées en rangées**



		$\frac{P}{D_H}$	$\frac{L}{D_H}$	$\frac{P}{D_H}$	$\frac{P}{D_H}$				
80	0.24862667	0	10	25	10	2.2543	180	2.5	
70	0.23661778	0	5	25	5	1.990	180	2.5	
80	0.22092381	5	10	25	15	3.225	180	2.5	
80	0.2687704	5	5	25	10	3.2510	180	2.5	
80	0.19410278	10	5	25	15	3.5311	180	2.5	
80	0.24684889	0	10	18	10	2.2543	180	2.5	
70	0.23484	0	5	18	5	1.990	180	2.5	
80	0.21965397	5	10	18	15	3.225	180	2.5	
70	0.20155238	5	10	10	15	3.225	180	2.5	
80	0.19425714	5	10	5	15	3.225	180	2.5	
80	0.20569185	5	5	18	10	3.2510	180	2.5	
80	0.19680296	5	5	10	10	3.2510	180	2.5	
80	0.18198815	5	5	5	10	3.2510	180	2.5	
80	0.19299167	10	5	18	15	3.5311	180	2.5	
80	0.18465833	10	5	10	15	3.5311	180	2.5	
80	0.17076944	10	5	5	15	3.5311	180	2.5	

**Tableau (III-14) :** Pertes de charge correspondantes aux chicanes triangulaire disposées en rangées en régime turbulent

Pour cette configuration de chicanes, la corrélation empirique des pertes de charge est :



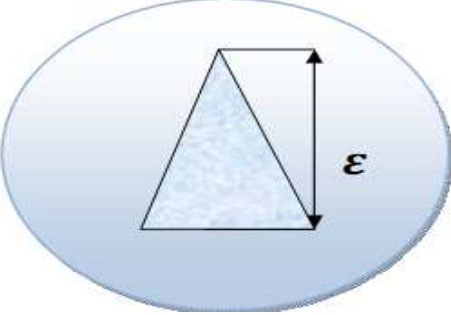
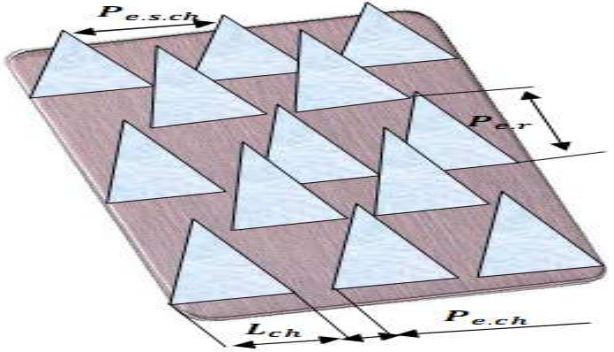
$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ (R_e)^{-0.2378} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.0496} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-1.4725} \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1446} \right. \\ \left. \times \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{0.3576} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.3689} \right] V^2 \quad (III-34)$$

Dont le coefficient des pertes de charge correspondant est:

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-0.2378} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.0496} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-1.4725} \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1446} \right. \\ \left. \times \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{0.3576} \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.3689} \right] \quad (III-35)$$

**III-2-2-2-Deuxième cas : Chicanes disposées en quinconces**

**III-2-2-2-1- Régime laminaire :**

<i>chicanes triangulaires disposées en quinconces</i>										
										
		$F$	$L$	$F$	$F$					
5	0.04485302	5	10	25	15	3.2250	180	2.5		
5	0.04702222	5	5	25	10	3.2510	180	2.5		
10	0.07864444	5	10	18	15	3.2250	180	2.5		
10	0.06912063	5	10	10	15	3.2250	180	2.5		
5	0.01183714	5	10	5	15	3.2250	180	2.5		
5	0.04976306	10	5	25	15	3.5311	180	2.5		
5	0.04287404	5	5	18	10	3.2510	180	2.5		
5	0.03398519	5	5	10	10	3.2510	180	2.5		
5	0.01620741	5	5	10	10	3.2510	180	2.5		
5	0.04587414	10	5	18	10	3.5311	180	2.5		
5	0.03754083	10	5	10	15	3.5311	180	2.5		
5	0.02087417	10	5	5	15	3.5311	180	2.5		

**Tableau (III-15):** Pertes de charge correspondantes aux chicanes triangulaire disposées en quinconces en régime laminaire



L'expression de perte de charge établie est de la forme :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ (R_e)^{-1.9598} \cdot \left(\frac{\epsilon}{D_H}\right)^{-0.89259} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{8.6893} \right. \\ \left. \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.58804} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{0.30883} \right] V^2 \quad (III-36)$$

Donc le coefficient des pertes de charge  $\lambda$  est:

$$\lambda = \left[ (R_e)^{-1.9598} \cdot \left(\frac{\epsilon}{D_H}\right)^{-0.89259} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{8.6893} \cdot \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.58804} \right. \\ \left. \times \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{7.4395} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{0.30883} \right] \quad (III-37)$$

**III-2-2-2- Régime turbulent**

**Les chicanes triangulaires –Disposition en quinconces**

		$F$	$F$	$F$						
80	0.2114	5	10	25	15	3.2250	180	2.5		
80	0.19798815	5	5	25	10	3.2510	180	2.5		
80	0.20695556	5	10	18	15	3.2250	180	2.5		
70	0.18885397	5	10	10	15	3.2250	180	2.5		
80	0.17838413	5	10	5	15	3.2250	180	2.5		
80	0.18576944	10	5	25	15	3.5311	180	2.5		
80	0.19384	5	5	18	10	3.2510	180	2.5		
80	0.18495111	5	5	10	10	3.2510	180	2.5		
80	0.16717333	5	5	10	10	3.2510	180	2.5		
80	0.18188056	10	5	18	10	3.5311	180	2.5		
80	0.17354722	10	5	10	15	3.5311	180	2.5		
80	0.15688056	10	5	5	15	3.5311	180	2.5		

quinconces en regime turbulent

Ce qui nous permis d'obtenir l'expression suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.90603} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.56980} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{2.89080} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.24040} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{2.58700} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{0.002617} \end{array} \right] V^2 \quad (\text{III-38})$$

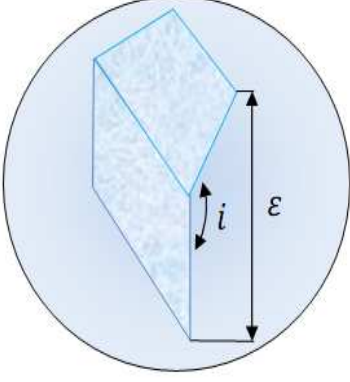
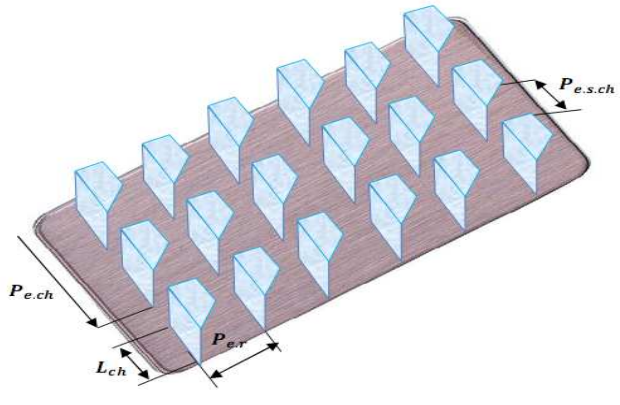
Donc le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.90603} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.56980} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{2.89080} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.24040} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{2.58700} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{0.002617} \end{array} \right] \quad (\text{III-39})$$

III-2- 3- Chicane rectangulaires – trapézoïdales

III-2- 3-1- Premières cas : Chicane disposées en rangées : Page -88-

III-2- 3-1-1-Régime Laminaire:

Chicanes rectangulo-trapézoïdale disposées en rangée										
				$F$	$L$	$F$	$F$			$\rho$
5	0.05584149	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
5	0.05564418	5	10	25	10	3.0205	60	2.29		
10	0.09085625	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
5	0.04500609	10	10	25	15	3.3352	30	1.75		
5	0.05391629	10	10	25	15	3.2105	60	2.29		
5	0.05964091	5	5	25	8	3.289	30	1.75		
10	0.08961305	5	10	18	10	3.2070	30	1.75		
10	0.09358251	5	10	18	10	3.0205	60	2.29		
5	0.05278843	10	10	18	15	3.3352	30	1.75		
5	0.05266087	10	10	18	15	3.2105	60	2.29		
10	0.08542163	5	5	18	8	3.2105	30	1.75		
5	0.05128655	5	5	18	8	3.0634	60	2.29		
5	0.04365601	10	10	10	15	3.3352	30	1.75		
10	0.0838082	5	10	10	10	3.0205	60	2.29		
5	0.0432452	10	10	10	15	3.2105	60	2.29		
10	0.07072607	5	5	10	8	3.0634	60	2.29		
5	0.04963355	5	5	10	8	3.2890	30	1.75		
10	0.06474903	5	10	5	10	3.2070	30	1.75		
10	0.06751768	5	10	5	10	3.0205	60	2.29		
10	0.06384475	10	10	5	15	3.3352	30	1.75		
10	0.06536412	10	10	5	15	3.2105	60	2.29		
5	0.03491685	5	5	5	8	3.289	30	1.75		
5	0.02666359	5	5	5	8	3.0634	60	2.29		
5	0.0525177	5	5	25	8	3.0634	60	2.29		
5	0.04527428	5	10	10	10	3.2070	30	1.75		

disposées en rangée en régime laminaire

Ce qui nous permis d'obtenir l'expression suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.9494} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.4095} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-4.7993} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3016} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-2.7847} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{8.4554} \end{array} \right] V^2 \quad \text{Page -89-} \quad \text{(III-40)}$$

Donc le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.9494} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.4095} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-4.7993} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.3016} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-2.7847} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{8.4554} \end{array} \right] \quad \text{(III-41)}$$

### III-2- 3-1-2-Régime turbulent :

Pour le régime turbulent, de la même façon que précédemment et en considérant les données des pertes de charge en présence de la variante des chicanes rectangulo-trapézoïdales disposées en rangées tableau (III-18), on a établi la relation de perte de charge empirique suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.7902} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.4748} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-4.0636} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.0787} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-2.5227} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{7.3355} \end{array} \right] V^2 \quad \text{(III-42)}$$

Donc le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.7902} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.4748} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{-4.0636} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.0787} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-2.5227} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{7.3355} \end{array} \right] \quad \text{(III-43)}$$

**Chicanes rectangulaires – trapézoïdales – Disposition en rangées**

		$F$	$L$	$F$	$F$				$\rho$	$v$ $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
80	0.2164755	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
80	0.22657179	5	10	25	10	3.0205	60	2.29		
70	0.20804770	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
80	0.21245358	10	10	25	15	3.3352	30	1.75		
80	0.21857208	10	10	25	15	3.2105	60	2.29		
80	0.20356291	5	5	25	8	3.289	30	1.75		
70	0.2068345	5	10	18	10	3.2070	30	1.75		
80	0.2256855	5	10	18	10	3.0205	60	2.29		
80	0.21123592	10	10	18	15	3.3352	30	1.75		
80	0.21731666	10	10	18	15	3.2105	60	2.29		
80	0.20438558	5	5	18	8	3.2105	30	1.75		
80	0.21336103	5	5	18	8	3.0634	60	2.29		
80	0.2021035	10	10	10	15	3.3352	30	1.75		
70	0.20669484	5	10	10	10	3.0205	60	2.29		
80	0.207901	10	10	10	15	3.2105	60	2.29		
80	0.20412742	5	5	10	8	3.0634	60	2.29		
70	0.1955556	5	5	10	8	3.2890	30	1.75		
70	0.18197047	5	10	5	10	3.2070	30	1.75		
80	0.19920372	5	10	5	10	3.0205	60	2.29		
80	0.1868828	10	10	5	15	3.3352	30	1.75		
80	0.19220822	10	10	5	15	3.2105	60	2.29		
80	0.18083885	5	5	5	8	3.289	30	1.75		
80	0.18873807	5	5	5	8	3.0634	60	2.29		
80	0.21459218	5	5	25	8	3.0634	60	2.29		
80	0.20590831	5	10	10	10	3.2070	30	1.75		

Tableau (III-18) : Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulo-trapézoïdale

III-2- 3-2-Deuxième cas : Chicanes disposées en quinconce :

III-2- 3-2-1-Régime laminaire :

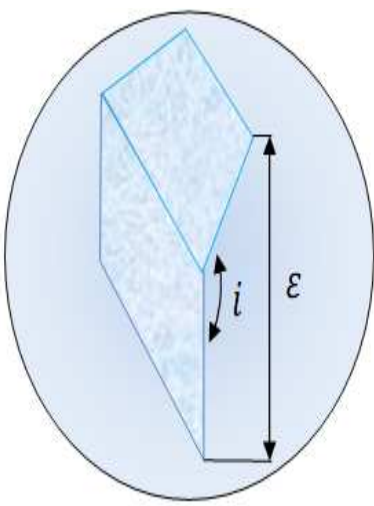
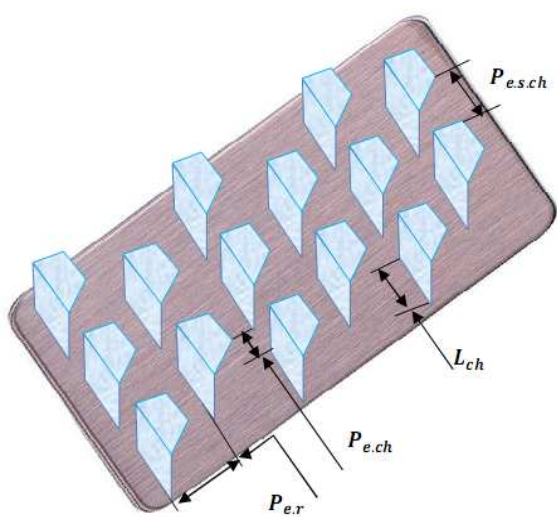
<b>Chicanes rectangulaires – trapézoïdales disposées en quinconce</b>										
										
$\epsilon$	$i$	$F$	$L$	$F$	$F$	$L$	$\rho$			
5	0.04651748	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
5	0.04586986	5	10	25	10	3.0205	60	2.29		
10	0.08153225	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
5	0.04487367	10	10	25	15	3.3352	30	1.75		
5	0.04450062	10	10	25	15	3.2105	60	2.29		
5	0.05081089	5	5	25	8	3.289	30	1.75		
10	0.07718104	5	10	18	10	3.2070	30	1.75		
10	0.0805501	5	10	18	10	3.0205	60	2.29		
5	0.04061187	10	10	18	15	3.3352	30	1.75		
5	0.04010665	10	10	18	15	3.2105	60	2.29		
10	0.04669021	5	5	18	8	3.2105	30	1.75		
5	0.03897507	5	5	18	8	3.0634	60	2.29		
5	0.03147945	10	10	10	15	3.3352	30	1.75		
10	0.07077579	5	10	10	10	3.0205	60	2.29		
5	0.03069098	10	10	10	15	3.2105	60	2.29		
10	0.06741459	5	5	10	8	3.0634	60	2.29		
5	0.03786019	5	5	10	8	3.2890	30	1.75		
10	0.04920901	5	10	5	10	3.2070	30	1.75		
10	0.05122716	5	10	5	10	3.0205	60	2.29		
10	0.04862405	10	10	5	15	3.3352	30	1.75		
10	0.04966135	10	10	5	15	3.2105	60	2.29		
5	0.02020015	5	5	5	8	3.289	30	1.75		
5	0.01127424	5	5	5	8	3.0634	60	2.29		

Tableau (III-19) : Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulo-trapézoïdale disposées en quinconce en régime laminaire

La solution a permis d'obtenir l'expression de perte de charge :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.0048} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.6724} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.4630} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.7872} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-1.0012} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.2933} \end{array} \right] V^2 \quad (\text{III-44})$$

Donc le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.0048} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{0.6724} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.4630} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.7872} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{-1.0012} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.2933} \end{array} \right] \quad (\text{III-45})$$

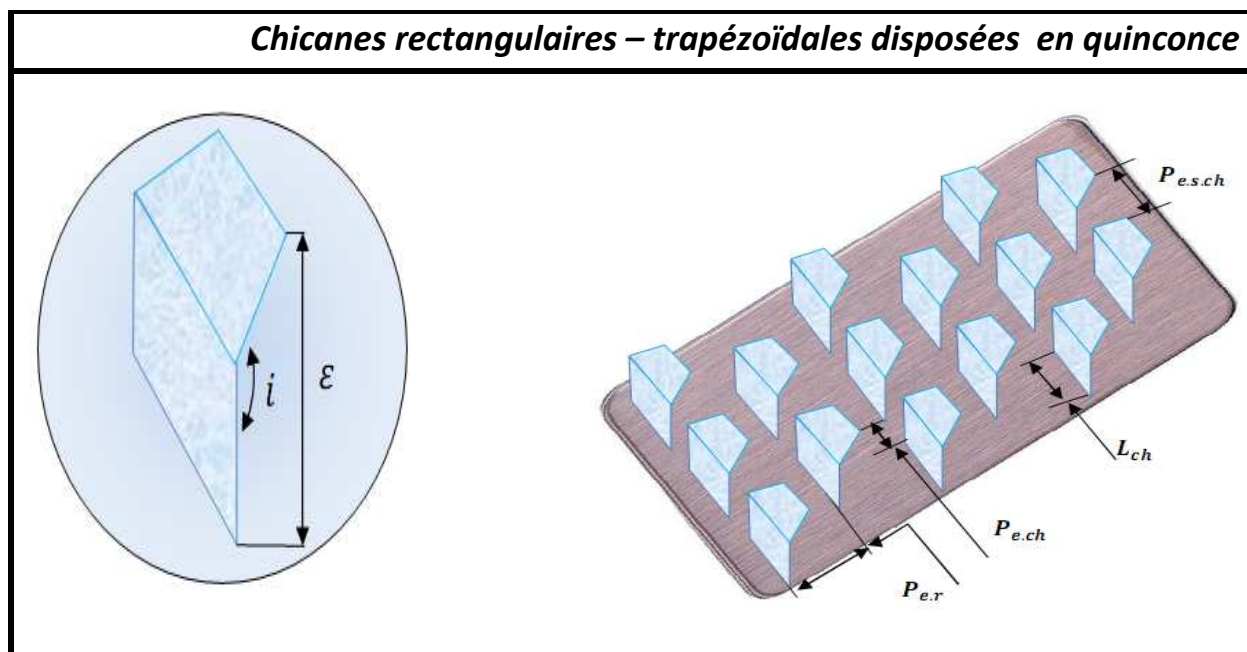
### III-2- 3-2-2-Régime turbulent :

Pour le régime turbulent, de la même façon que précédemment et en considérant les données des pertes de charge en présence de la variante des chicanes rectangulo-trapézoïdales disposées en quinconces tableau (III-20), on a établi la relation de perte de charge empirique suivante :

$$\Delta P = \frac{L}{2D_H} \rho \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.2819} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.3563} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.5277} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1789} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{0.0295} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.6415} \end{array} \right] V^2 \quad (\text{III-46})$$

Donc le coefficient des pertes de charge :

$$\lambda = \left[ \begin{array}{l} (R_e)^{-0.2819} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_H}\right)^{-0.3563} \cdot \left(\frac{P_{e-ch}}{D_H}\right)^{0.5277} \\ \times \left(\frac{P_{e-r}}{D_H}\right)^{-0.1789} \cdot \left(\frac{L_{ch}}{D_H}\right)^{0.0295} \cdot \left(\frac{P_{e-s-ch}}{D_H}\right)^{-0.6415} \end{array} \right] \quad (\text{III-47})$$



		$F$	$L$	$F$	$F$	$L$				$\rho$
80	0.20715152	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
80	0.21679748	5	10	25	10	3.0205	60	2.29		
70	0.19875369	5	10	25	10	3.2070	30	1.75		
80	0.20332116	10	10	25	15	3.3352	30	1.75		
80	0.20915642	10	10	25	15	3.2105	60	2.29		
80	0.19673289	5	5	25	8	3.289	30	1.75		
70	0.19440249	5	10	18	10	3.2070	30	1.75		
80	0.21223613	5	10	18	10	3.0205	60	2.29		
80	0.19905936	10	10	18	15	3.3352	30	1.75		
80	0.20476244	10	10	18	15	3.2105	60	2.29		
80	0.19261221	5	5	18	8	3.2105	30	1.75		
80	0.20104955	5	5	18	8	3.0634	60	2.29		
80	0.18992694	10	10	10	15	3.3352	30	1.75		
70	0.19365843	5	10	10	10	3.0205	60	2.29		
80	0.19534678	10	10	10	15	3.2105	60	2.29		
80	0.19181594	5	5	10	8	3.0634	60	2.29		
70	0.17582929	5	5	10	8	3.2890	30	1.75		
70	0.16643046	5	10	5	10	3.2070	30	1.75		
80	0.1829132	5	10	5	10	3.0205	60	2.29		
80	0.1716621	10	10	5	15	3.3352	30	1.75		
80	0.17651545	10	10	5	15	3.2105	60	2.29		
80	0.16612215	5	5	5	8	3.289	30	1.75		
80	0.17334872	5	5	5	8	3.0634	60	2.29		
80	0.20535857	5	5	25	8	3.0634	60	2.29		
80	0.1934763	5	10	10	10	3.2070	30	1.75		

**Tableau (III-20):** Pertes de charge correspondantes aux chicanes rectangulo-trapézoïdale disposées en quinconce en régime turbulent



**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes qu'on a suivies pour aboutir à l'établissement des relations empiriques, par l'emploi de la méthode de l'analyse dimensionnelle, dite aussi méthode ou théorème de *Vaschy-Buckingham*. Ce dernier permet de définir le nombre de groupement sans dimensions indépendants, qui peuvent être construits dans un problème physique et qui implique toutes les variables dans une seule relation.

Par la méthode de l'analyse dimensionnelle, nous avons pu obtenir des systèmes d'équations, dont la résolution numérique a été effectuée par la méthode de Gauss et également la méthode d'interpolation des moindres carrés.

# Chapitre IV

Résultats graphiques  
Discussions et interprétations

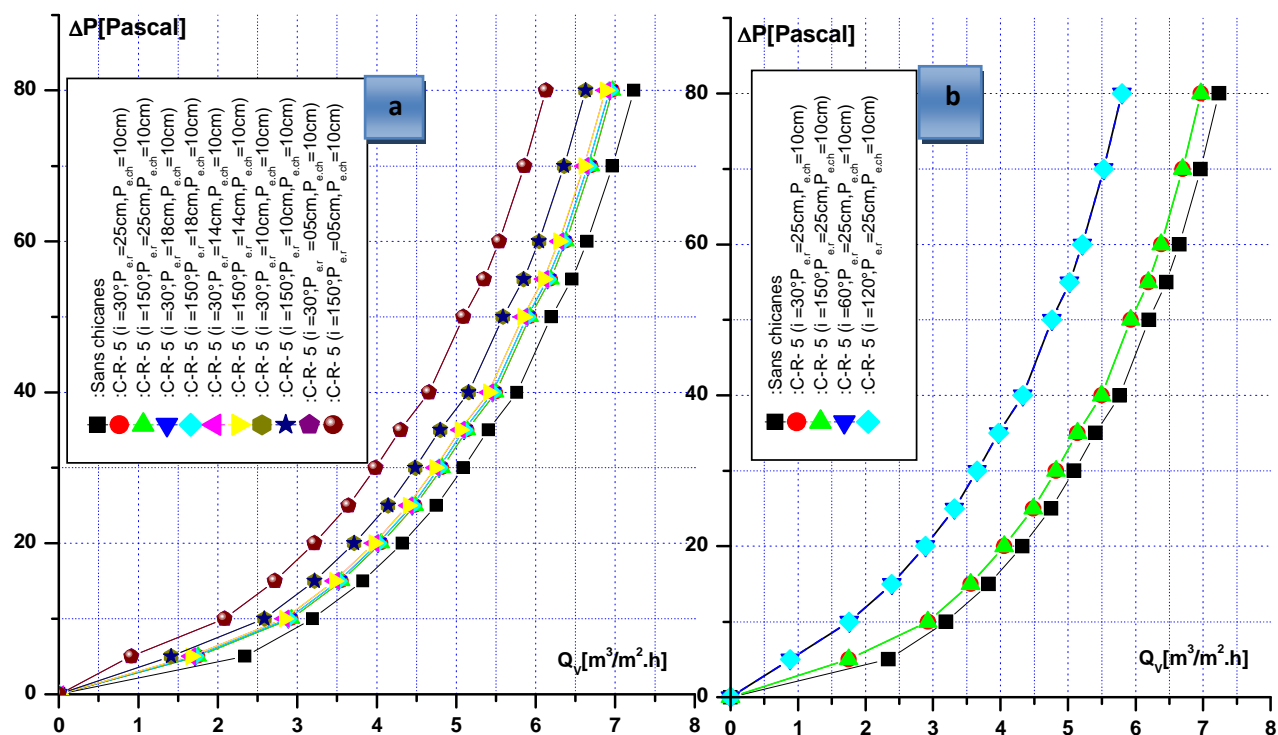
**Introduction :**

Dns ce chapitre on représente un extrait des principaux résultats graphiques obtenus, sous forme de courbes qui montrent l'évolution des pertes de charge en fonction du débit, où on essayera en premier lieu d'interpréter les résultats pour les différentes configurations de disposition, en vue de faire ressortir l'effet des paramètres géométriques considérés, principalement le pas entre les rangées des chicanes, le pas entre deux chicanes d'une même rangée et l'incidente de la partie supérieure inclinée.

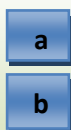
**IV-1- Pertes de charge en fonction du débit**

**IV-1- 1- Cas de la disposition des chicanes en rangées**

Il s'agit de montrer graphiquement l'évolution des pertes de charge en fonction du débit pour le premier type de configuration étudié des chicanes voir figures ci-après.



**Figure (IV-1):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.



Pour les quatre configurations des chicanes étudiées (chicanes rectangulaires, chicanes rectangulaires, chicanes triangulaires et les chicanes rectangulaires trapézoïdales), l'évolution des pertes de charge figures (VI.1 - VI.20) montrent que pour un débit volumique commun, la chute de pression est plus importante en présence des chicanes rectangulaires, que celles triangulaires, rectangulo-triangulaires puis en dernier lieu de formes rectangulo-trapézoïdale.

Pour mettre en évidence l'effet des paramètres géométriques sur l'évolution des pertes de charge en fonction de débit volumique, on a construit les tableaux ci-dessous, à partir des courbes de  $\Delta P = f(Q_V)$  et ceci pour un débit commun égal à  $5m^3/h.m^2$ .

L'analyse de l'évolution des pertes de charge pour une longueur et un pas entre deux chicanes de 05 cm, un pas entre les sommet  $P_{e-s-ch} = 10\text{ cm}$ , un pas entre rangée  $P_{e-r} = 25\text{ cm}$  relativement pour un débit volumique commun égale  $5m^3/h.m^2$ , montre que la rugosité absolue n'a pas d'effet significatif en présence de la disposition en rangée, mais qui commence à se sentir lorsque le pas entre deux rangée successives devient minimal (voir Tableaux (VI.1) et (VI.2)). Cependant l'écart devient sensible en présence de la disposition en quinconce (Tableau (VI.2)). D'autre par, la chute de pression devient plus importante lorsque le pas entre de rangée devient serrée, qui augmente de 33,15 [Pa] pour un  $P_{e-r} = 25\text{ cm}$  à 49,23 [Pa] pour  $P_{e-r} = 05\text{ cm}$  voir Tableau (VI.2)

Types de chicanes	Disposition des chicanes	$i [^\circ]$	$L_{ch}$ [cm]	$P_{e-ch}$ [cm]	$P_{e-r}$ [cm]	$P_{e-s-ch}$ [cm]	$Q_V$ [ $\frac{m^3}{h.m^2}$ ]	$\Delta P$ [Pa]
Sans chicanes							5	29.19
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	25	10	5	33.15
$C - R - T$	En rangées	150°	5	5	25	10	5	33.48
$C - R - T$	En rangées	60°	5	5	25	10	5	36.14
$C - R - T$	En rangées	120°	5	5	25	10	5	36.47
$C - R - T$	En quinconce	30°	5	5	25	10	5	37.93
$C - R - T$	En quinconce	150°	5	5	25	10	5	38.59
$C - R - T$	En quinconce	60°	5	5	25	10	5	46.19
$C - R - T$	En quinconce	120°	5	5	25	10	5	46.52

**Tableau (IV.1):** Pertes de charge en fonction de la rugosité absolue pour un débit commun de  $5m^3/h.m^2$

Concernant l'effet de la géométrie de la disposition, les pertes de charge sont plus importantes en présence de la disposition en quinconce et de la rugosité formée par la partie supérieure inclinée, on notera que pour une inclinaison de 30°, la chute de pression passe de 33,15 [Pa] pour des chicanes en rangées à 37,93 Pa pour les mêmes conditions, alors que pour des chicanes en quinconce, l'écart devient important lorsque l'inclinaison de la partie supérieure est de 60°, qui augmente de 36,14 Pa à 46,19 Pa voir Tableau (VI.1).

Types de chicanes	Disposition des chicanes	$i [^\circ]$	$L_{ch}$ [cm]	$P_{e-ch}$ [cm]	$P_{e-r}$ [cm]	$P_{e-s-ch}$ [cm]	$Q_V$ [ $\frac{m^3}{h.m^2}$ ]	$\Delta P$ [Pa]
Sans chicanes							5	29.19
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	25	10	5	33.15
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	18	10	5	34.70
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	14	10	5	36.36
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	10	10	5	38.66
$C - R - T$	En rangées	30°	5	5	5	10	5	49.23

**Tableau (IV-2) :** Pertes de charge en fonction du pas entre deux rangées successives pour un débit commun de  $5m^3 / h . m^2$

Types de chicanes	Disposition des chicanes	$i [^\circ]$	$L_{ch}$ [cm]	$P_{e-ch}$ [cm]	$P_{e-r}$ [cm]	$P_{e-s-ch}$ [cm]	$Q_V$ [ $\frac{m^3}{h.m^2}$ ]	$\Delta P$ [Pa]
Sans chicanes							5	29.19
$C - R - T$	En rangées	30°	5	10	25	15	5	33.15
$C - R - T$	En quinconces	30°	5	10	25	15	5	36.33
$C - R - T$	En rangées	60°	5	10	25	15	5	34.14
$C - R - T$	En quinconces	60°	5	10	25	15	5	37.27

**Tableau (IV -3) :** Pertes de charge en fonction de la disposition et de la rugosité relative des chicanes pour un débit commun de  $5m^3 / h . m^2$

Quant à l'effet du pas entre chicanes, les résultats montrent que les pertes de charge augmentent, lorsque le pas séparant deux chicanes d'une même rangée se réduit, particulièrement en présence de la disposition en quinconce et pour les fortes valeurs des rugosités qui correspondent aux incidences de 60 ° et 120 ° de la partie supérieure inclinée tableau (VI.3) et (VI-4).

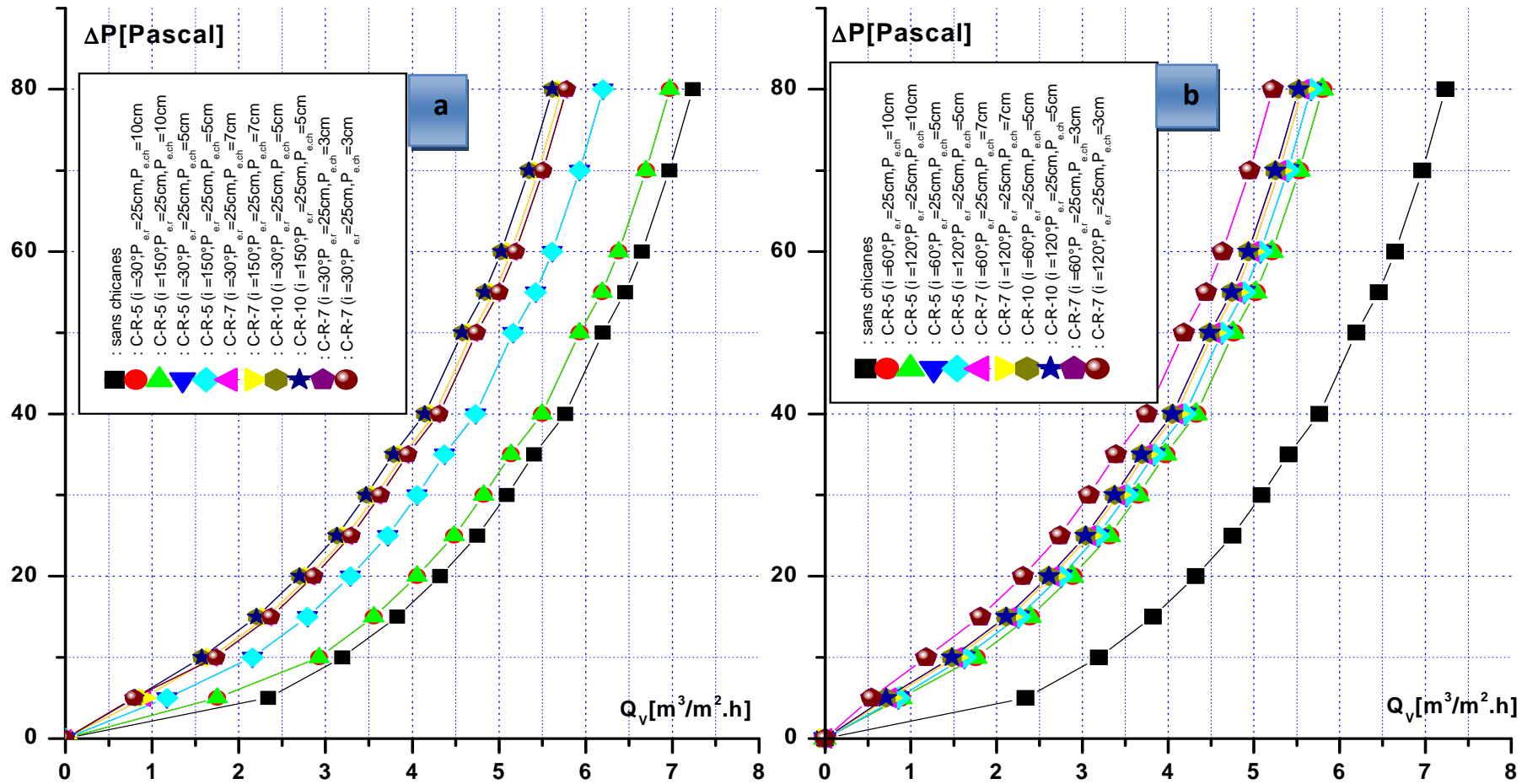
Types de chicanes	Disposition des chicanes	$i [^\circ]$	$L_{ch}$ [cm]	$P_{e-ch}$ [cm]	$P_{e-r}$ [cm]	$Q_V$ [ $\frac{m^3}{h.m^2}$ ]	$\Delta P$ [Pa]
Sans chicanes						5	29.19
$C - R$	En rangées	30°	5	5	25	5	47.13
$C - R$	En rangées	30°	5	10	25	5	34.90
$C - R$	En rangées	60°	5	5	25	5	58.11
$C - R$	En rangées	60°	5	10	25	5	53.82
$C - R$	En quinconce	30°	5	5	25	5	53.12
$C - R$	En quinconce	30°	5	10	25	5	38.13
$C - R$	En quinconce	60°	5	5	25	5	68..33
$C - R$	En quinconce	60°	5	10	25	5	63.25

**Tableau (IV-4) :** Pertes de charge en fonction du pas entre les chicanes pour un débit commun de  $5m^3 / h . m^2$

La comparaison entre les valeurs des chutes de pression occasionnées pour les mêmes conditions de mesures pour un débit volumique commun de  $5m^3 /h . m^2$ , on remarque que se sont les chicanes de formes rectangulaires qui engendrent le plus des pertes de charge particulièrement en présence de la disposition en quinconce et pour les plus fortes incidences de la partie supérieure inclinée de  $60^\circ$  tableau (VI.5).

Types de chicanes	Disposition des chicanes	$i [^\circ]$	$L_{ch}$ [cm]	$P_{e-ch}$ [cm]	$P_{e-r}$ [cm]	$P_{e-s-ch}$ [cm]	$Q_v$ [ $\frac{m^3}{h.m^2}$ ]	$\Delta P$ [Pa]
Sans chicanes							5	29.19
$C - T$	En rangées	$180^\circ$	10	5	25	15	5	33.085
$C - R$	En rangées	$60^\circ$	10	5	25		5	62.021
$C - R - T_r$	En rangées	$60^\circ$	10	5	25	10	5	33.086
$C - R - T$	En rangées	$30^\circ$	10	5	25	15	5	37.870
$C - T$	En quinconce	$180^\circ$	10	5	25	15	5	37.440
$C - R$	En quinconce	$60^\circ$	10	5	25		5	75.268
$C - R - T_r$	En quinconce	$30^\circ$	10	5	25	10	5	36.377
$C - R - T$	En quinconce	$30^\circ$	10	5	25	15	5	44.651

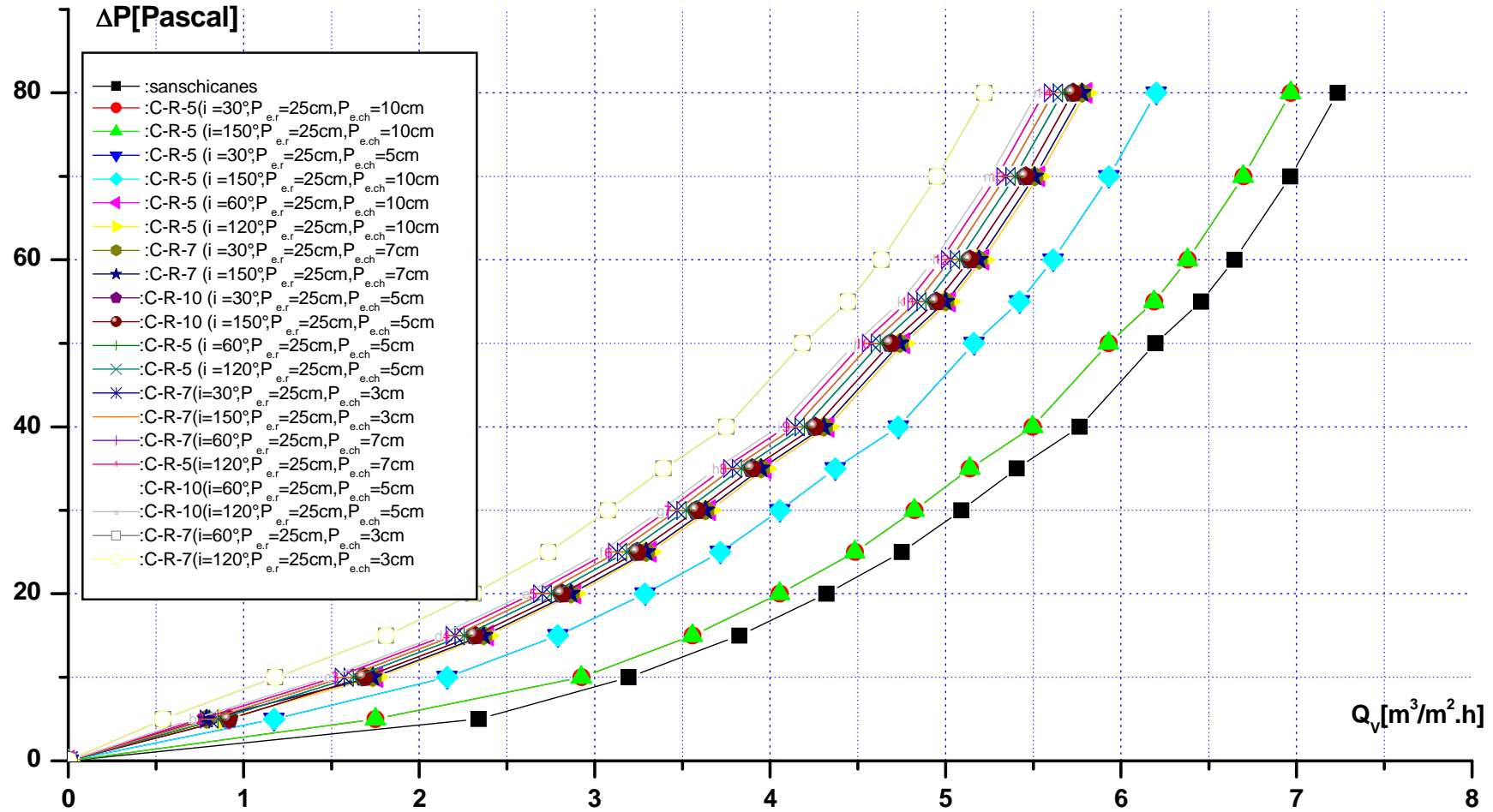
**Tableau (IV-5) :** Pertes de charge enregistrées en présence des quatre configurations étudiées en fonction de la disposition et de l'incidence de la partie inclinée des chicanes pour un débit commun de  $5m^3 /h . m^2$



**Figure (IV- 2):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires avec parties supérieures inclinées, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

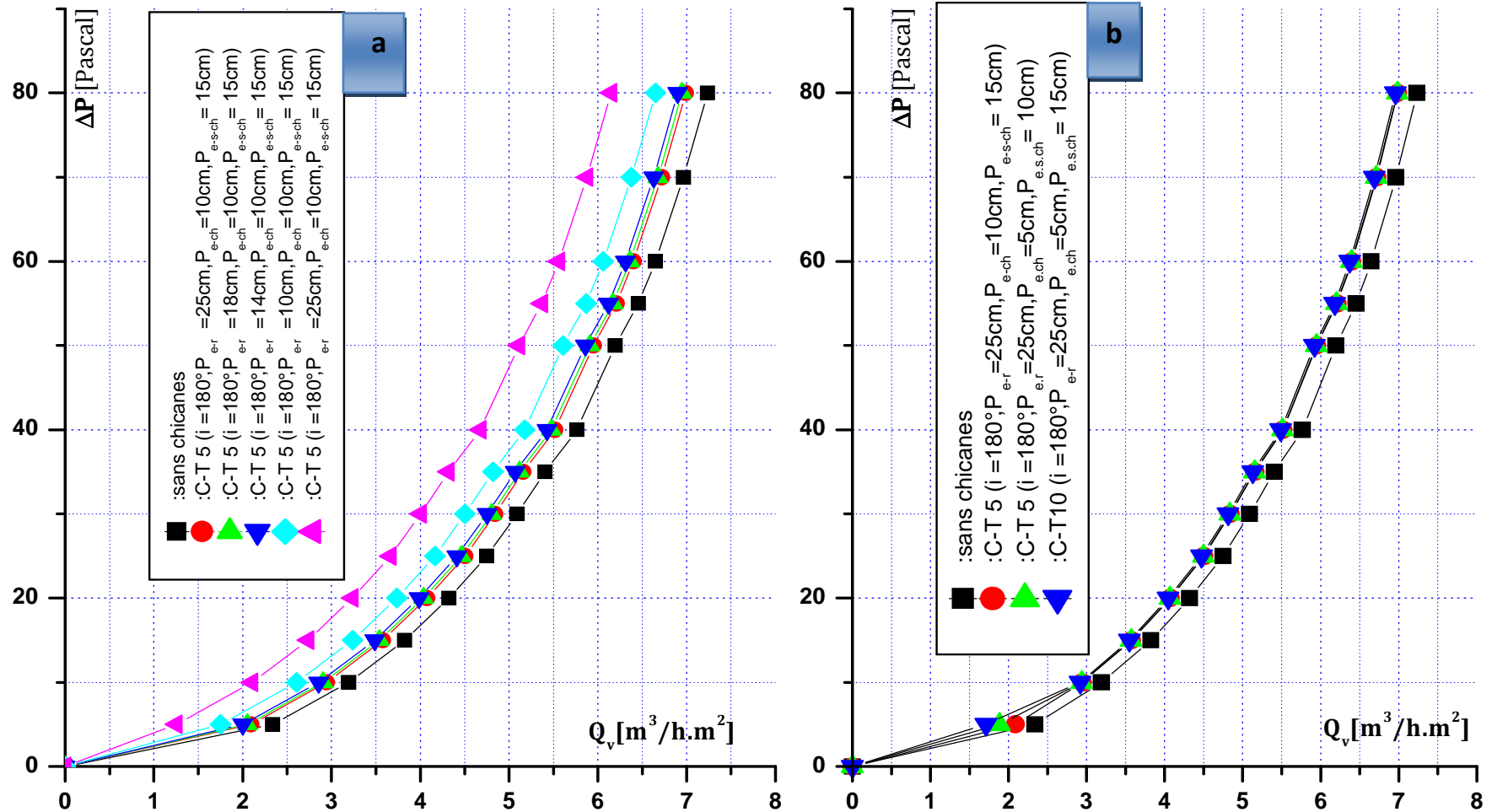
**a** : (  $L_{ch} = 5 \text{ et } 7 \text{ cm}$  ,  $\varepsilon = 1.75 \text{ cm}$  ,  $P_{e,ch} = 10, 5, 7, 3 \text{ cm}$  ,  $P_{e,r} = 25 \text{ cm}$  )

**b**



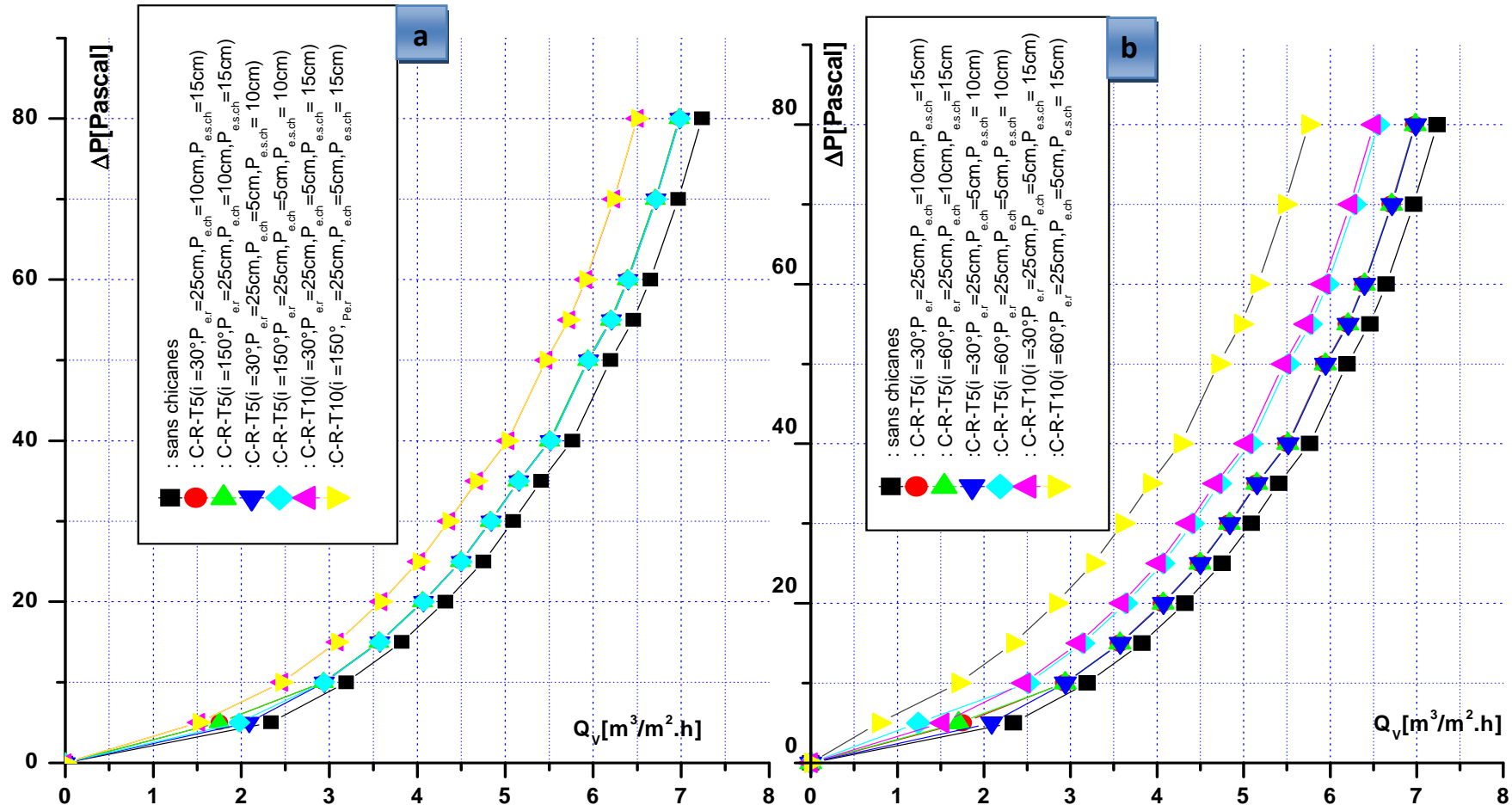
**Figure (IV- 3):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.





**Figure (IV- 4) :** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes triangulaires, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

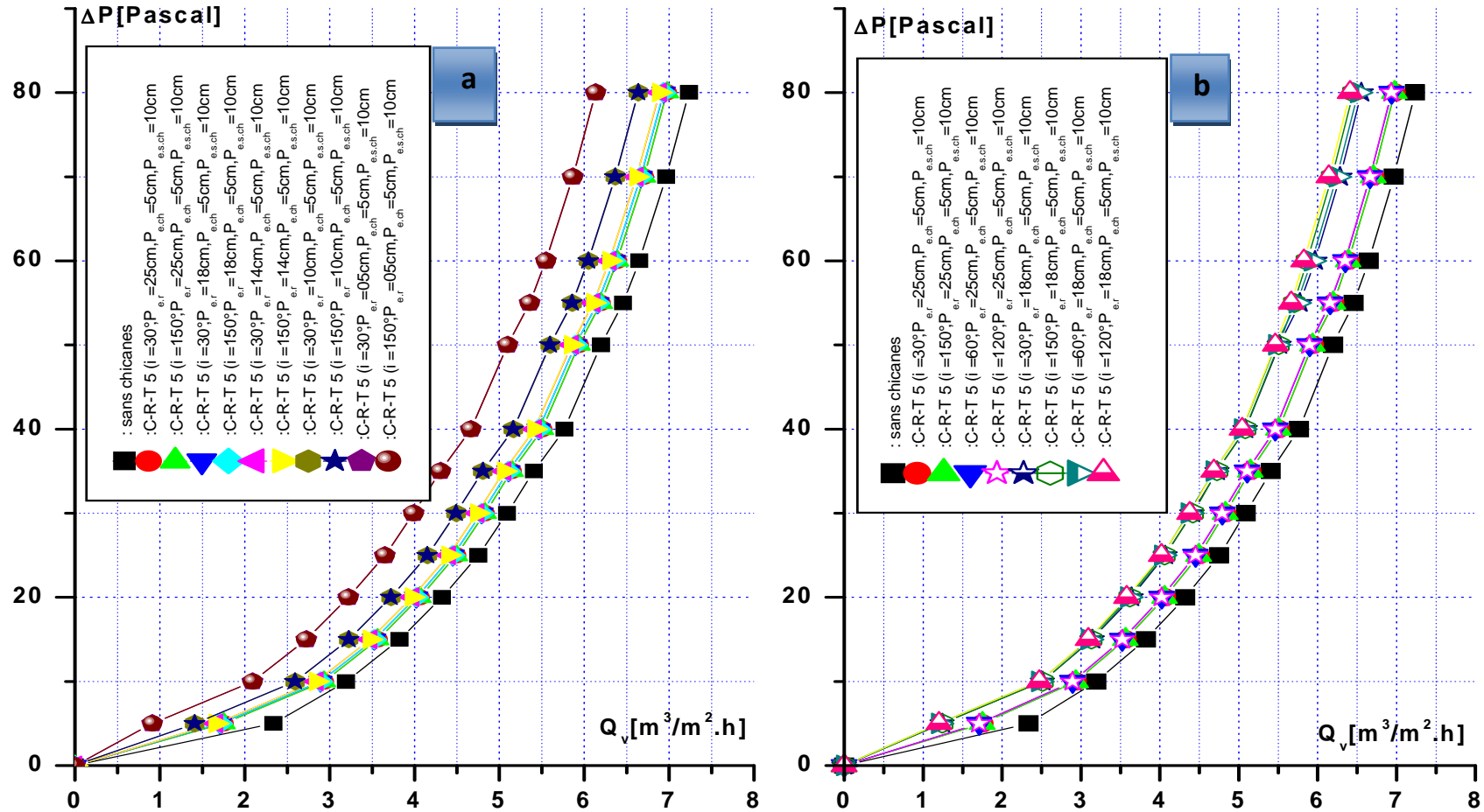
a



**Figure (IV- 5):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-triangulaires avec parties supérieures triangulaires inclinées, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

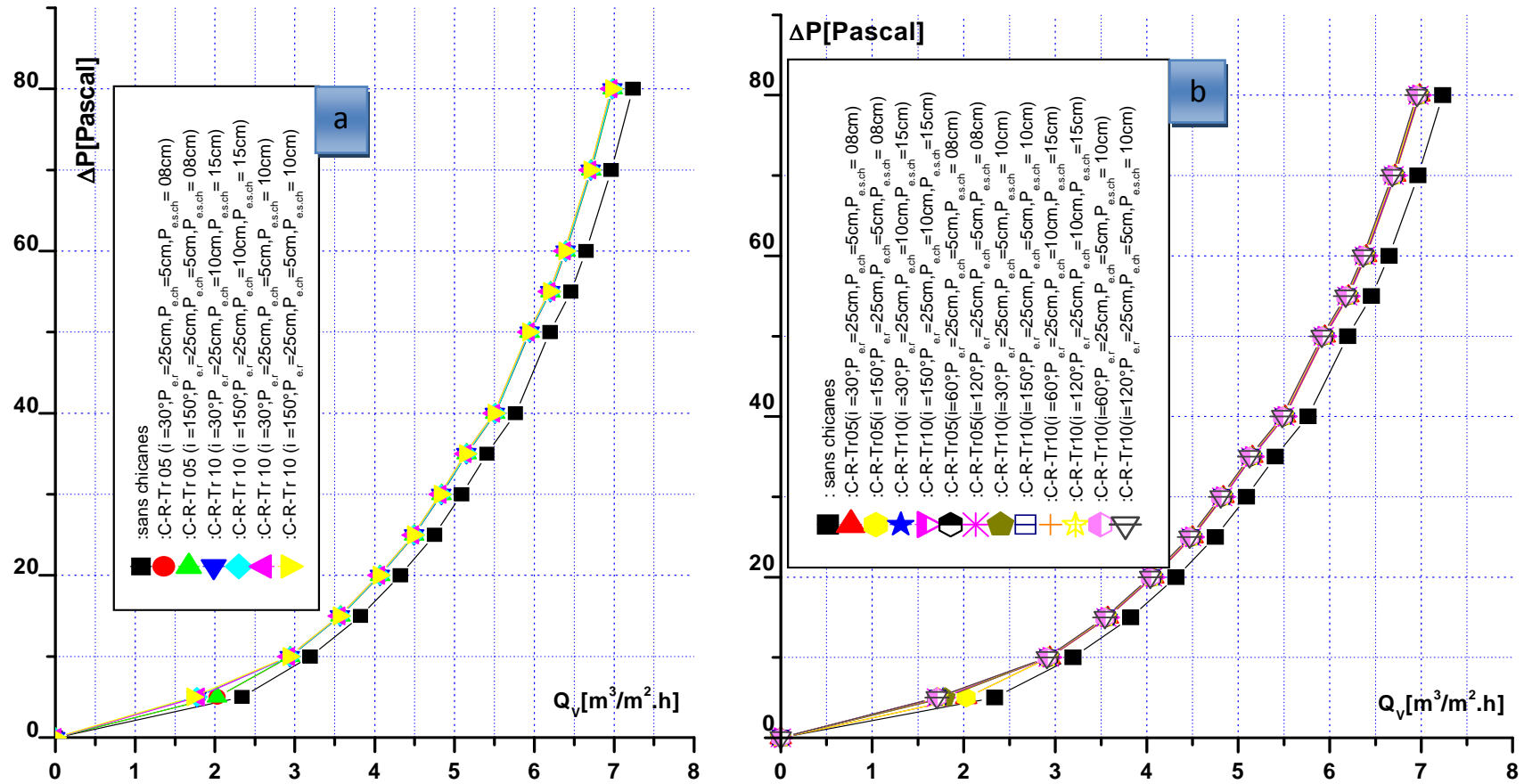
**a** : ( $L_{ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75$ ,  $P_{ech} = 10, 5 \text{ cm}$ ,  $P_{es.ch} = 15, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{er} = 25 \text{ cm}$ )

**b** : ( $L_{ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29$ ,  $P_{ech} = 10, 5 \text{ cm}$ ,  $P_{es.ch} = 15, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{er} = 25 \text{ cm}$ )



**Figure (IV- 6):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-triangulaires avec parties supérieures triangulaires inclinées, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

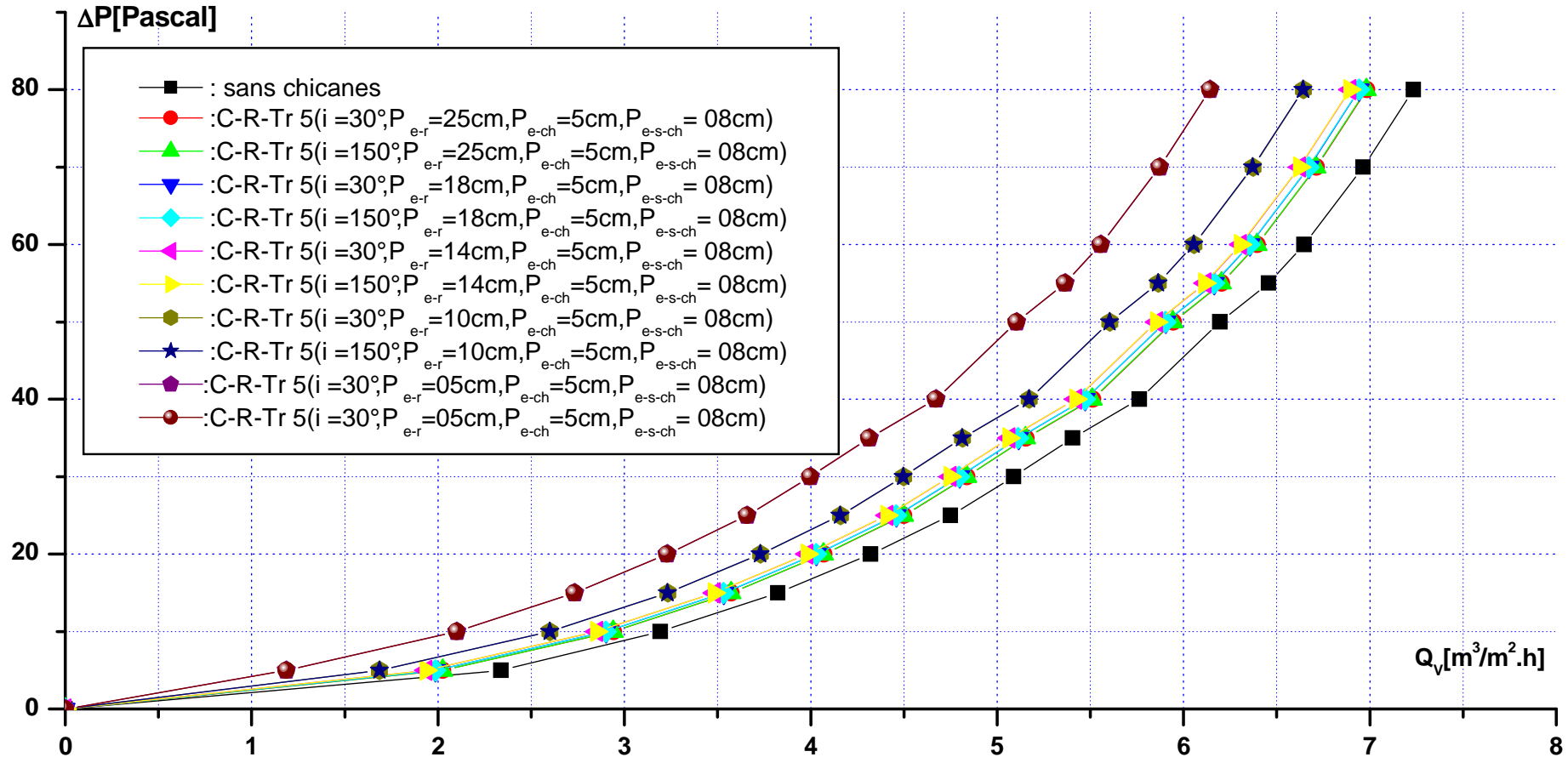
- a** : ( $L_{ch} = 5\text{ cm}$  ,  $\varepsilon = 1.75$  ,  $P_{ech} = 5\text{ cm}$  ,  $P_{es, ch} = 10\text{ cm}$  ,  $P_{er} = 25, 18, 14, 10, 5\text{ cm}$  )
- b** : ( $L_{ch} = 5\text{ cm}$  ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29$  ,  $P_{ech} = 5\text{ cm}$  ,  $P_{es, ch} = 10\text{ cm}$  ,  $P_{er} = 25, 18\text{ cm}$  )



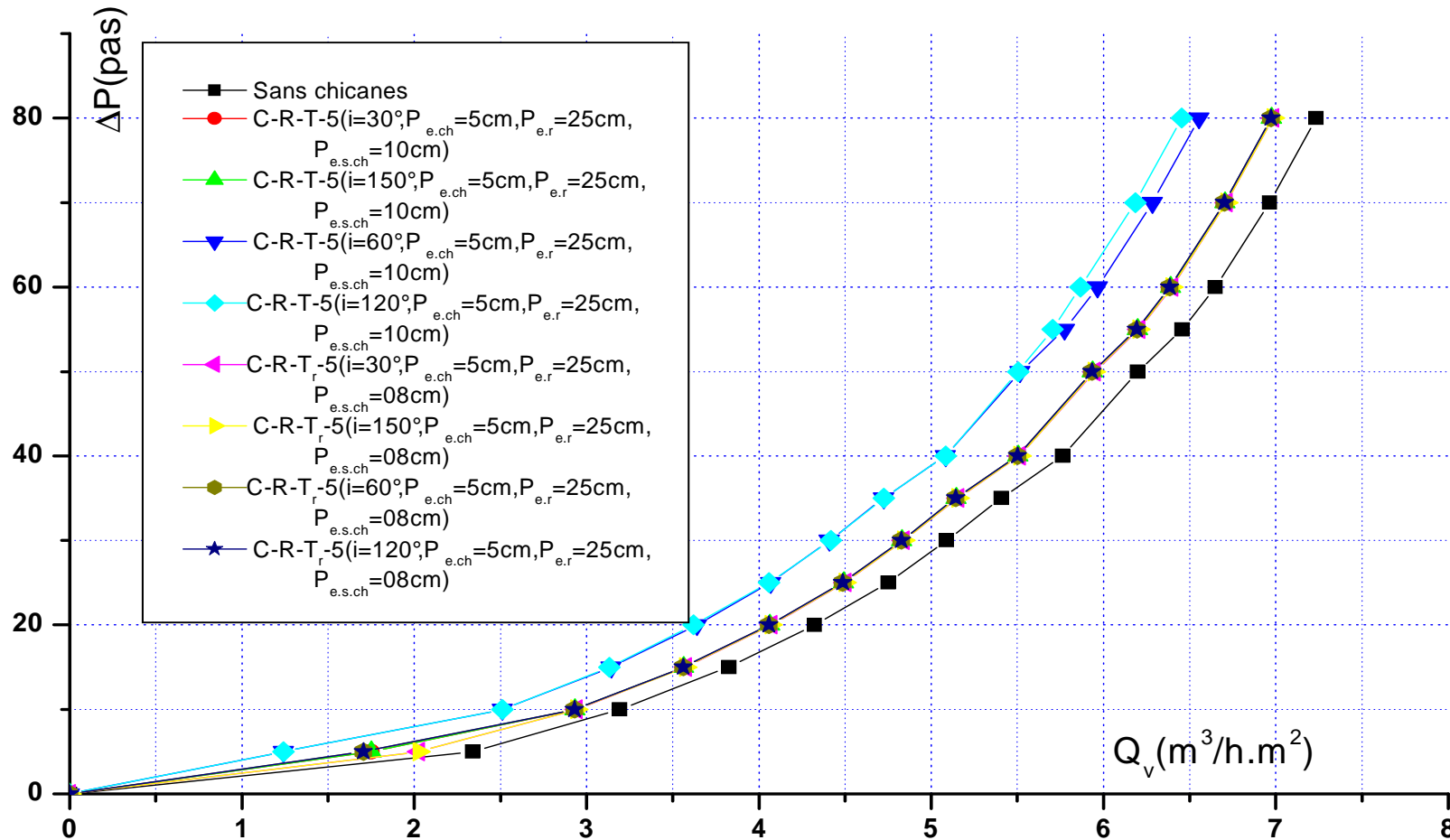
**Figure (IV- 7):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicane rectangulaires-trapézoïdales avec parties supérieures trapézoïdales inclinées, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

**a** : ( $L_{ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75$ ,  $P_{e, ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{e, s, ch} = 8, 15, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{e, r} = 25 \text{ cm}$ )

**b** : ( $L_{ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29$ ,  $P_{e, ch} = 5, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{e, s, ch} = 8, 15, 10 \text{ cm}$ ,  $P_{e, r} = 25 \text{ cm}$ )

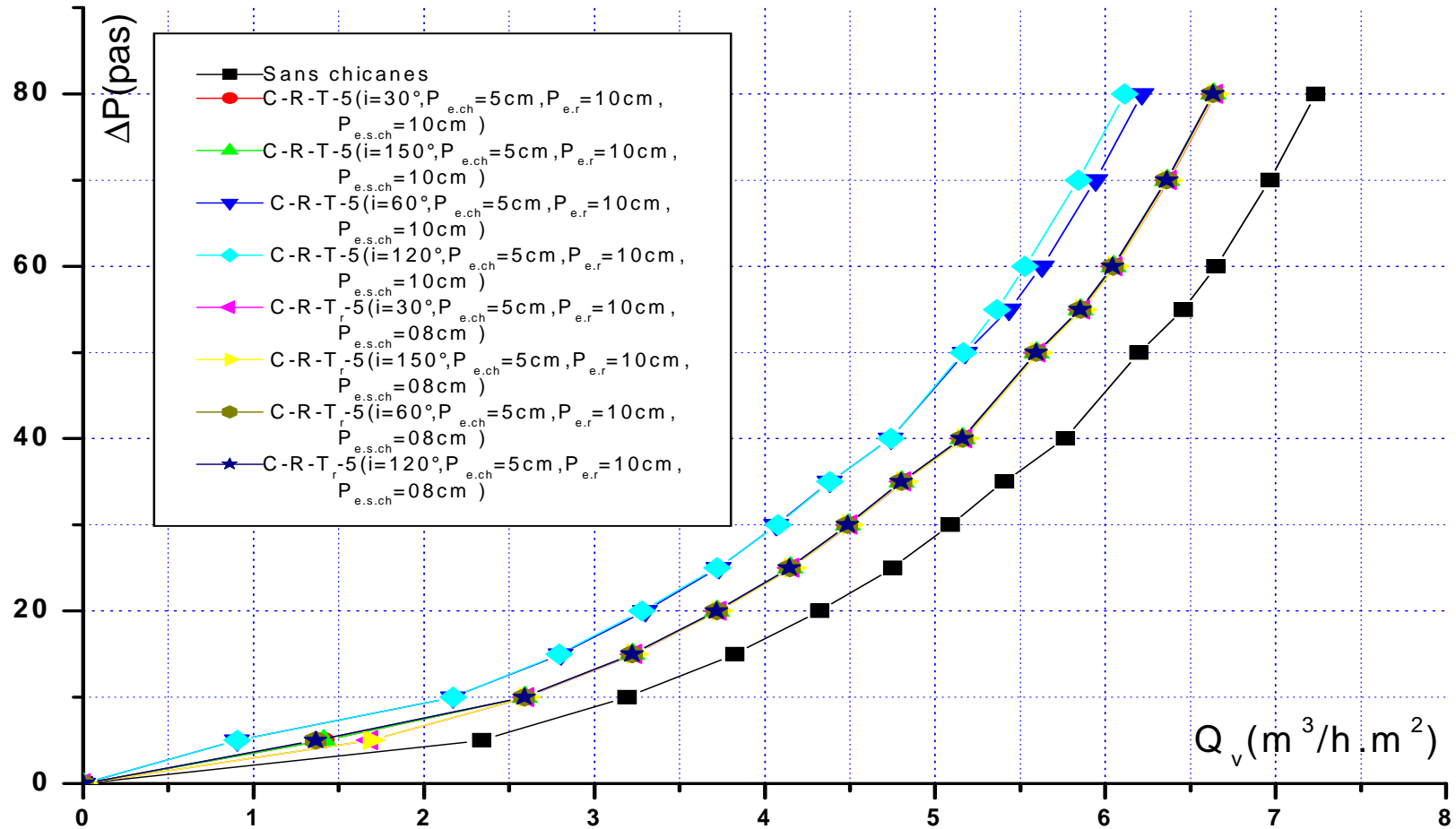


**Figure (IV- 8):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales avec parties supérieures trapézoïdales inclinées, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.  
*Cas: ( $L_{ch} = 5\text{cm}, \varepsilon = 1.75, P_{e.ch} = 5, P_{e.s.ch} = 8\text{cm}, P_{e.r} = 25, 18, 14, 10, 5\text{cm}$ )*



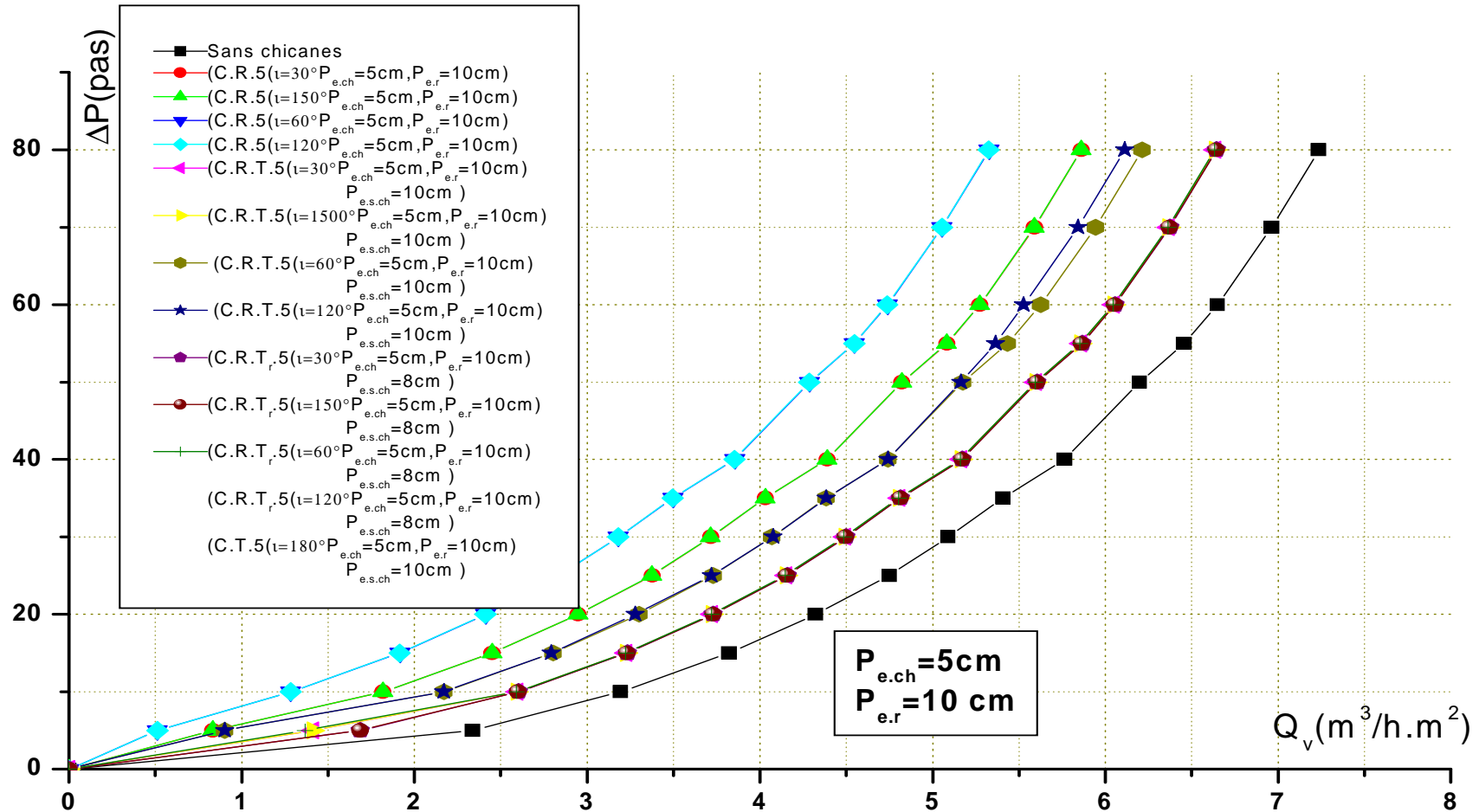
**Figure (IV- 9):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales et rectangulaires – triangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

*Cas :* ( $L_{ch} = 5\text{cm} , \varepsilon = 1.75, 2.29 \text{ cm} , P_{e, ch} = 5 , P_{e, s, ch} = 8 , 10\text{cm} , P_{e, r} = 25\text{cm}$ )



**Figure (IV- 10):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales et rectangulaires – triangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

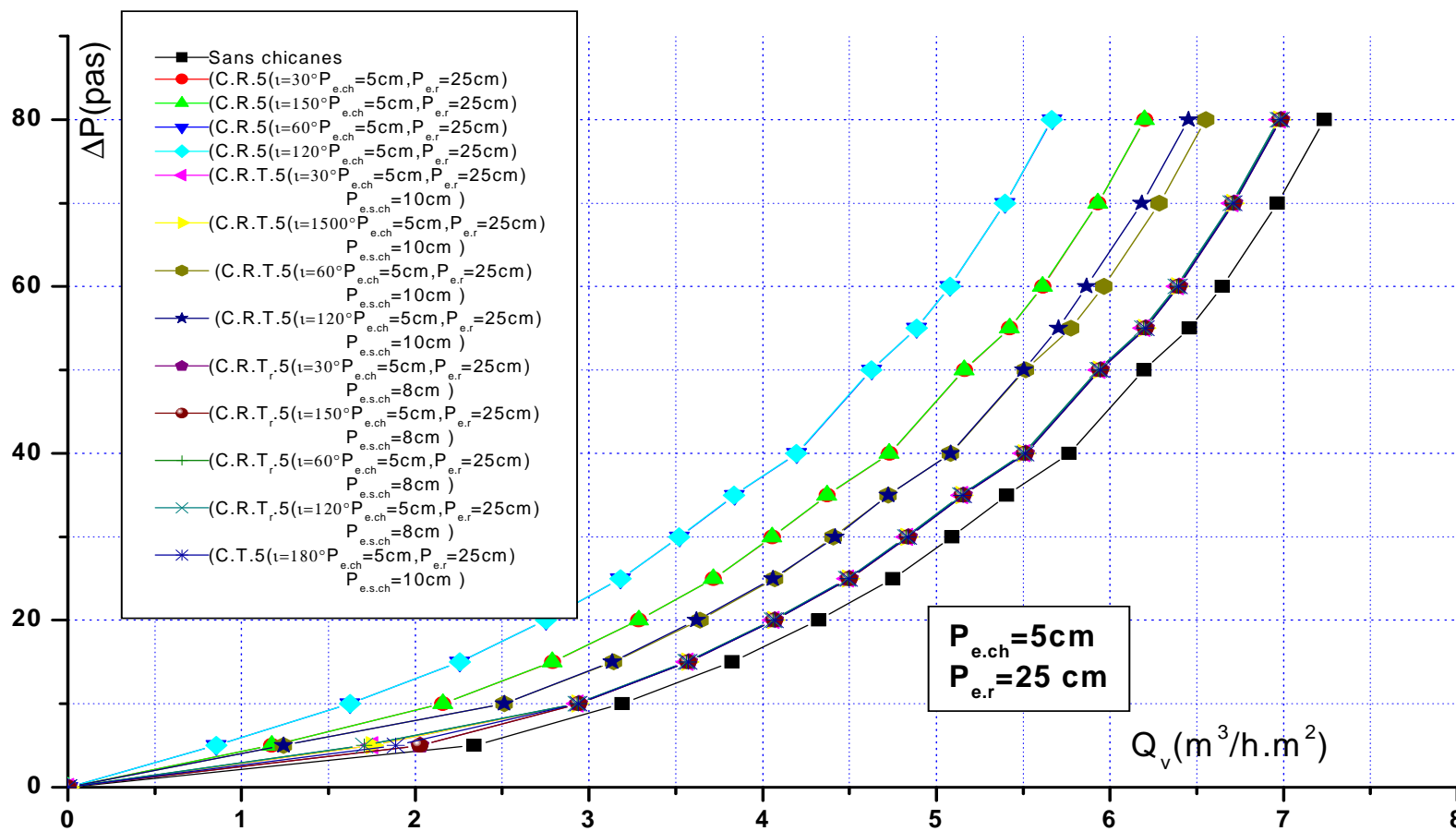
Cas: ( $L_{ch} = 5cm, \varepsilon = 1.75, 2.29 cm, P_{e.ch} = 5, P_{e.s.ch} = 8, 10cm, P_{e.r} = 10 cm$ )



**Figure (IV- 11):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales, rectangulaires – triangulaires et triangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

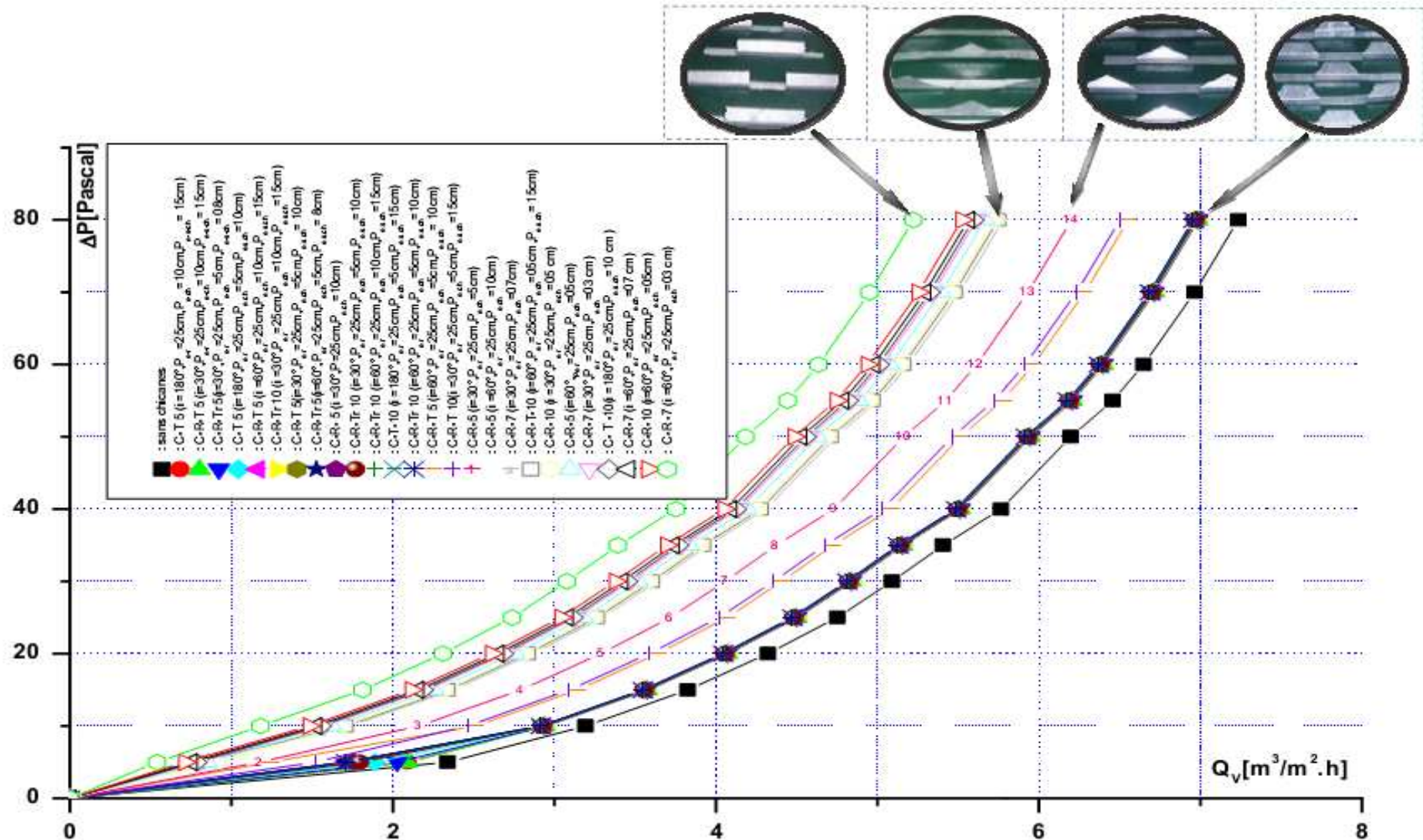
*Cas:* ( $L_{ch} = 5\text{cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29\text{ cm}$ ,  $P_{e.ch} = 5$ ,  $P_{e.s.ch} = 8, 10\text{cm}$ ,  $P_{e.r} = 10\text{cm}$ )





**Figure (IV- 12):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales, rectangulaires – triangulaires et rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

**Cas:** ( $L_{ch} = 5cm$ ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29 cm$ ,  $P_{e.ch} = 5$ ,  $P_{e.s.ch} = 8, 10cm$ ,  $P_{e.r} = 25 cm$ )



**Figure (IV- 13):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires-trapézoïdales, rectangulaires – triangulaires, triangulaires et rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en rangées comparativement à un conduit lisse.

IV-1-2- Cas de la disposition des chicanes en quinconces

De la même façon que pour le premier cas de configuration des chicanes, on montre l'évolution des pertes de charges en fonction du débit (voir figures suivantes).

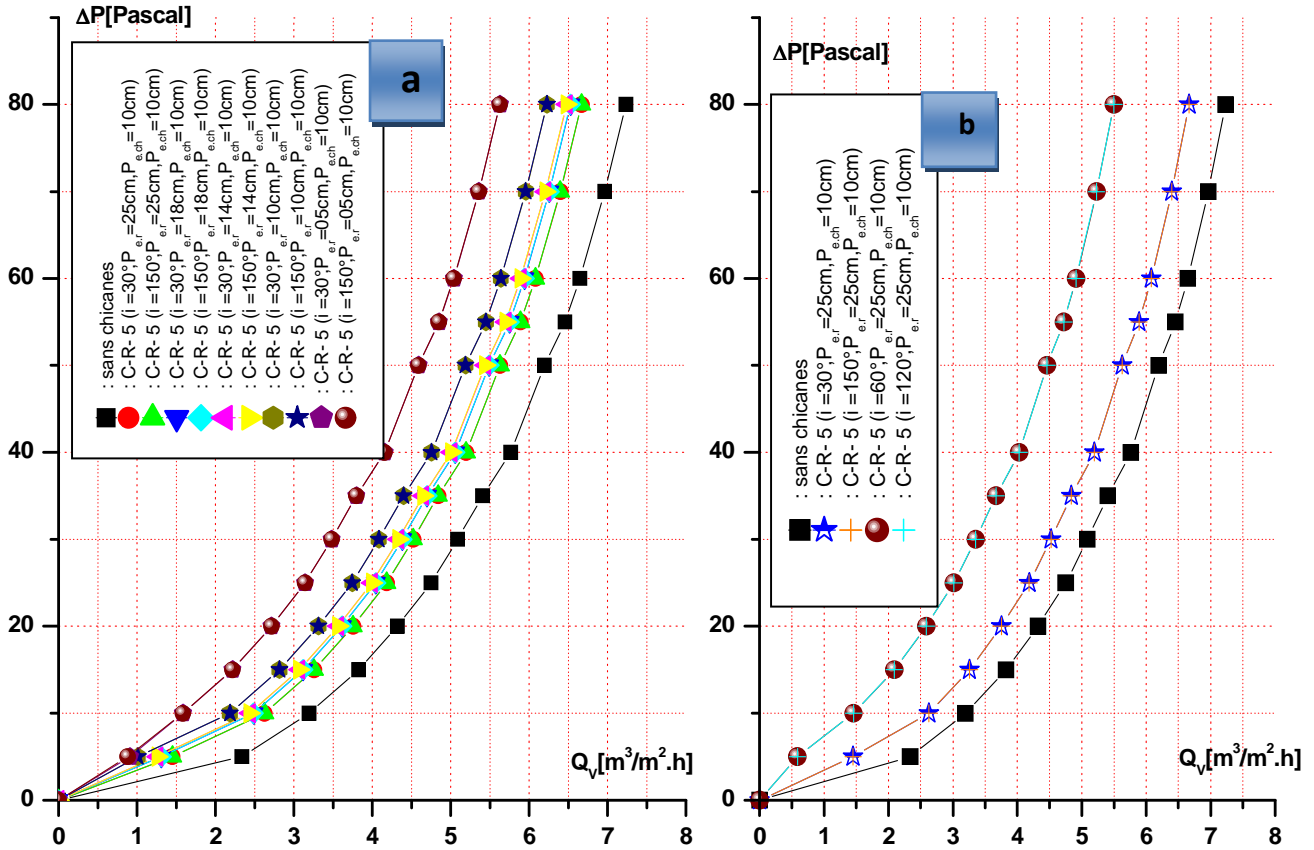
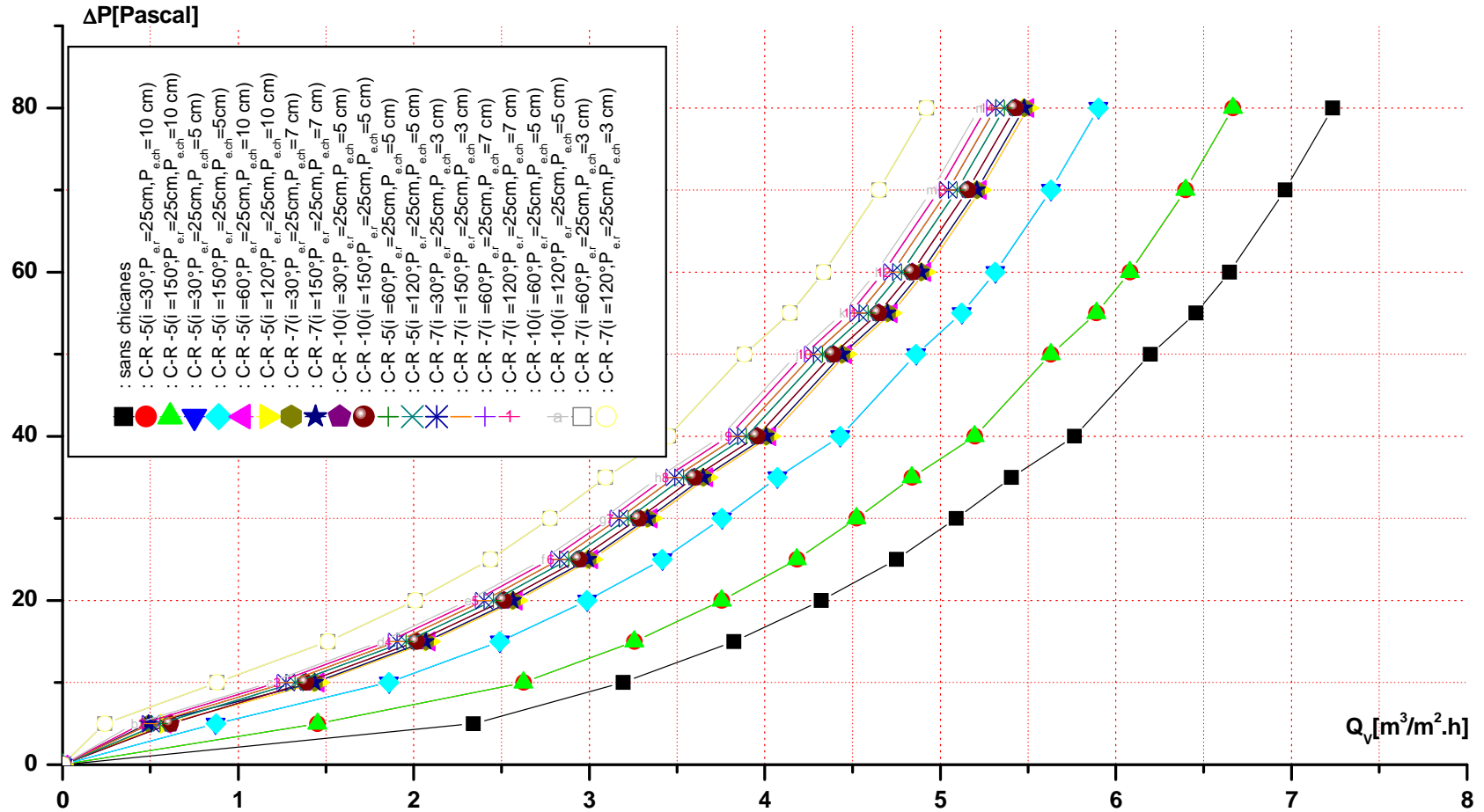
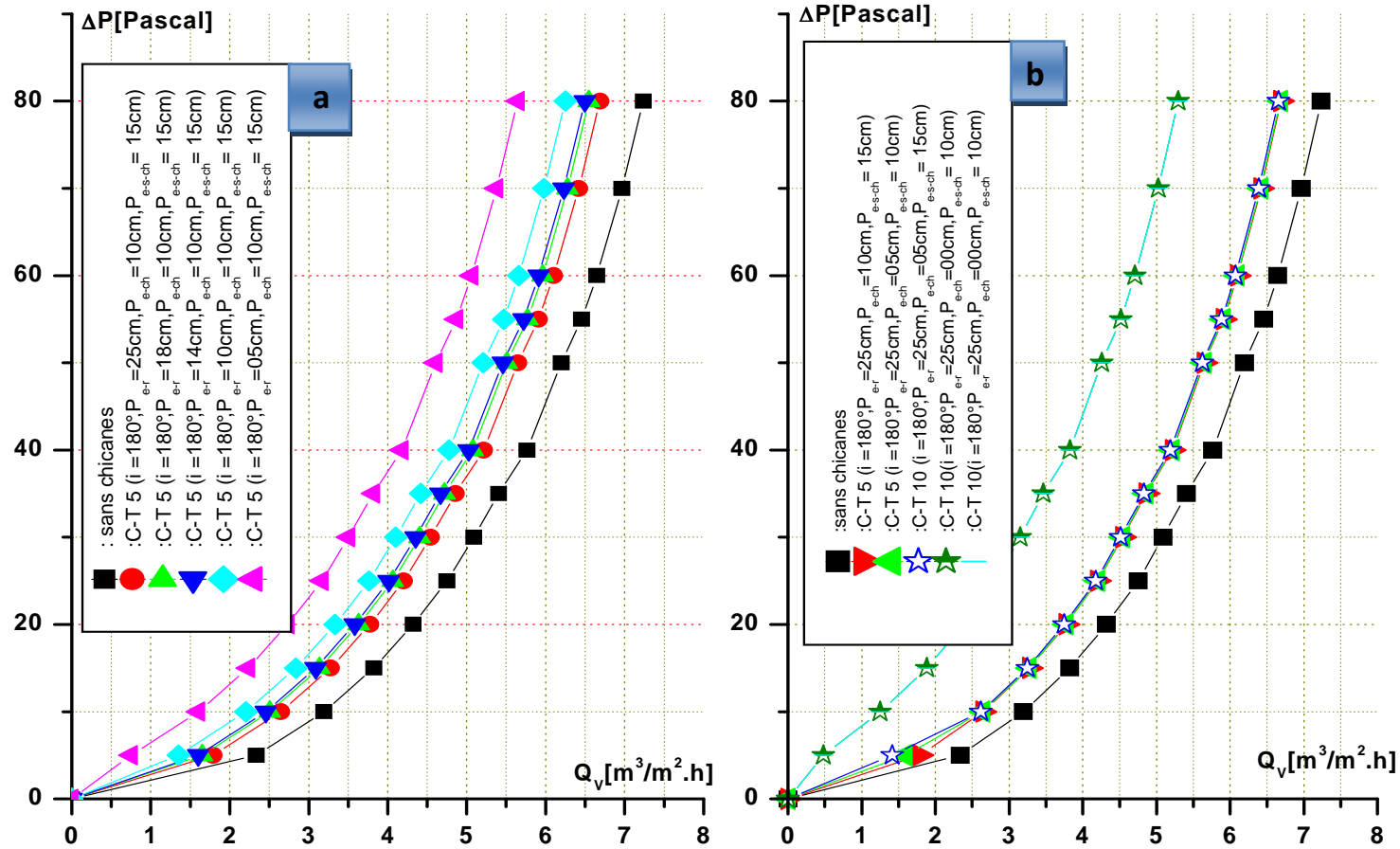


Figure (IV- 14): Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.

a  
b : ( $L_{ch} = 5\text{cm}$ ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29\text{ cm}$ ,  $P_{e.ch} = 10$ ,  $P_{e.r} = 25\text{ cm}$ )

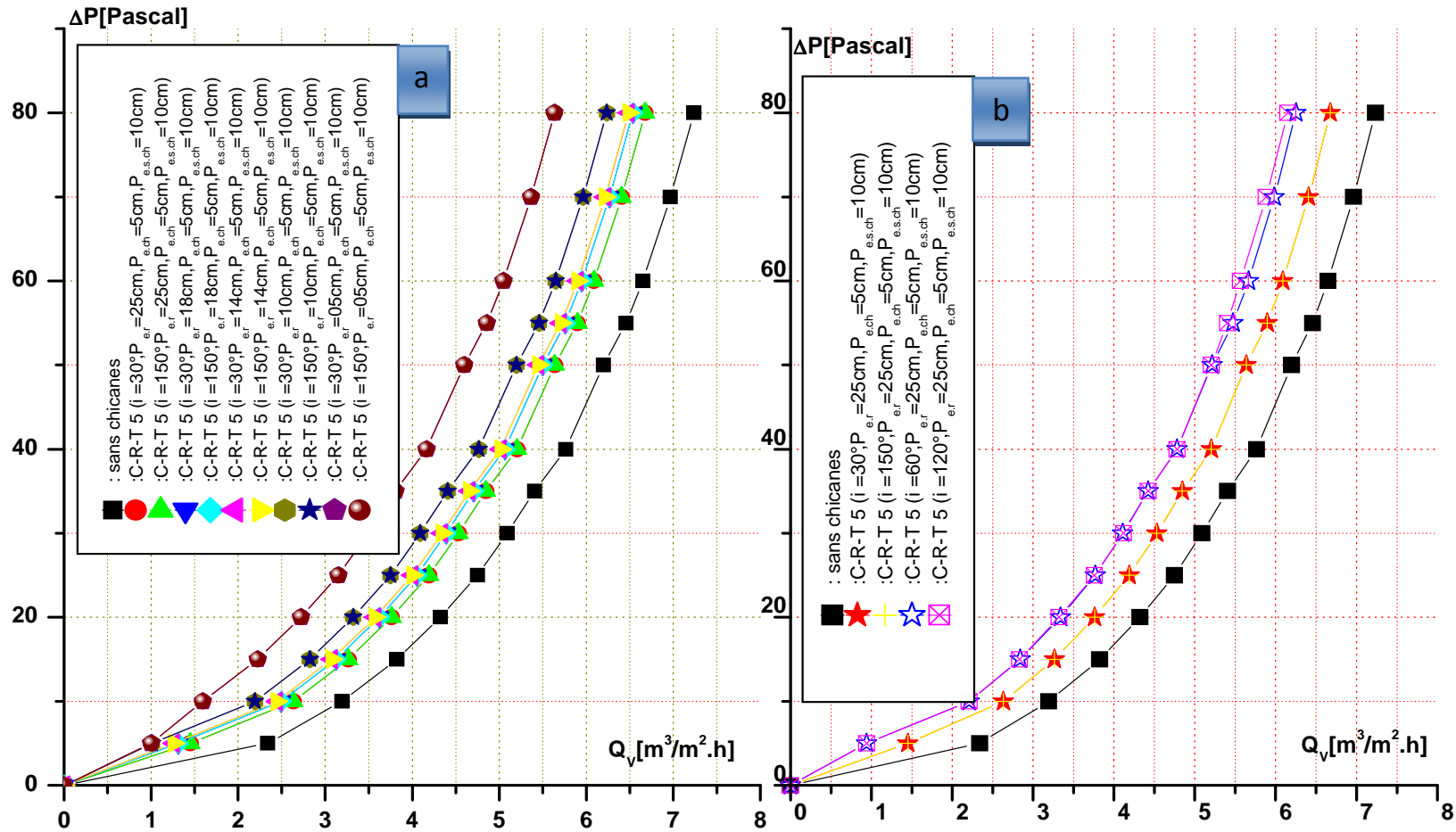


**Figure (IV- 15):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires avec partie supérieure inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.  
 Cas : ( $L_{ch} = 5, 7, 10 \text{ cm}$  ,  $\varepsilon = 1.75, 2.29 \text{ cm}$  ,  $P_{e.ch} = 3, 5, 7, 10 \text{ cm}$  ,  $P_{e,r} = 25 \text{ cm}$ )

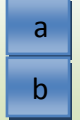


**Figure (IV- 16):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes triangulaires, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.

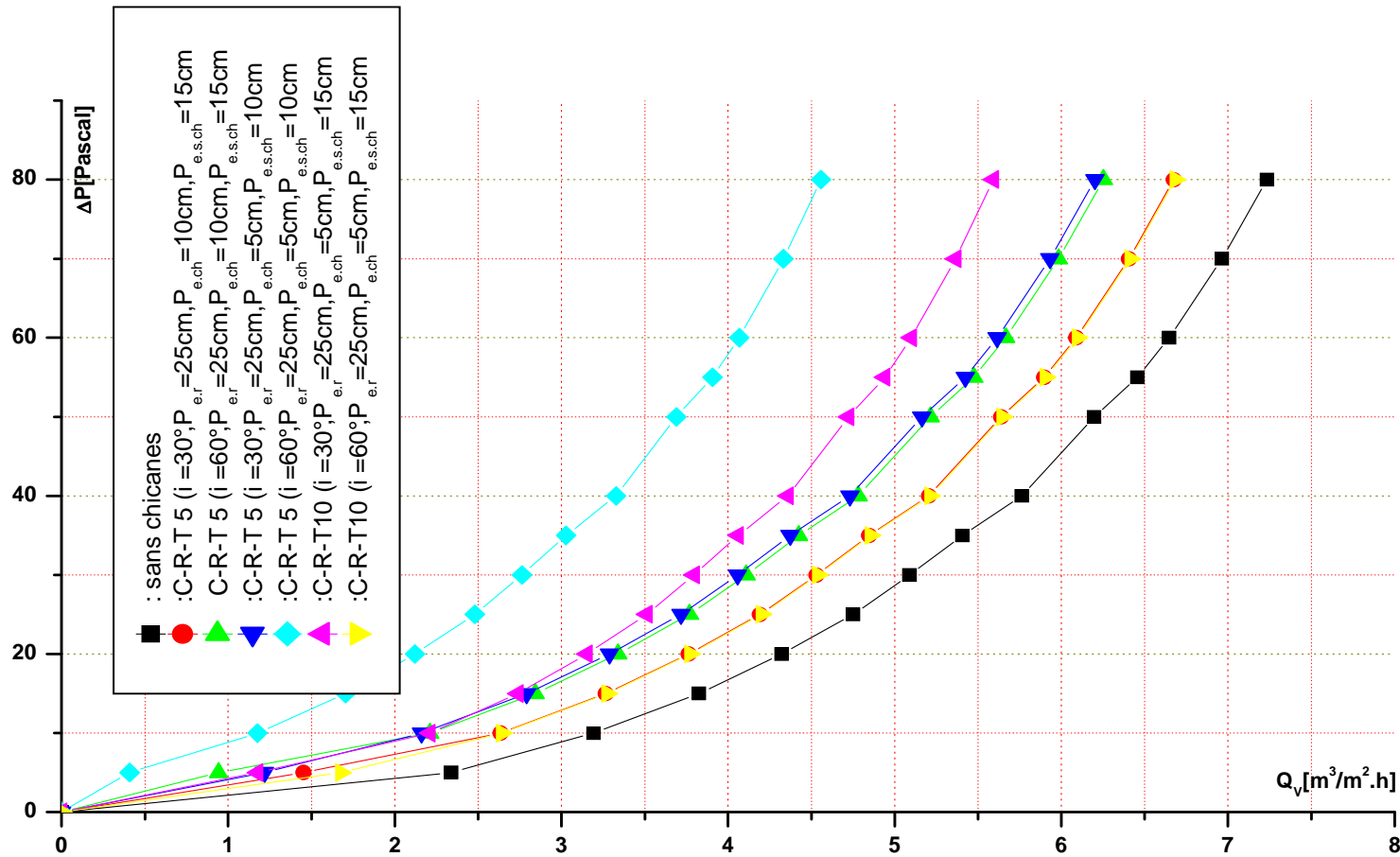
a  
b



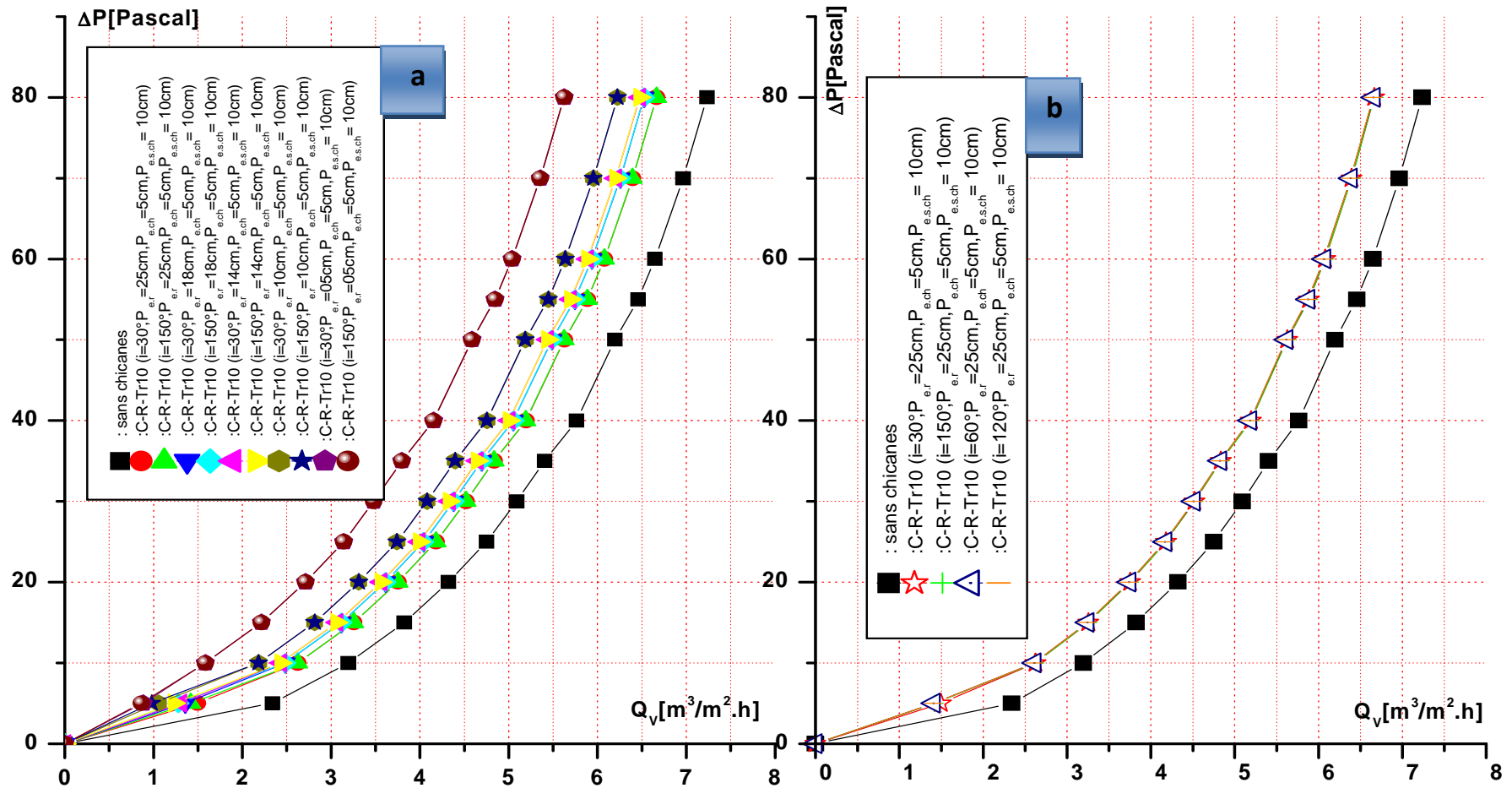
**Figure (IV- 17):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires - triangulaires avec partie supérieure triangulaire inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.







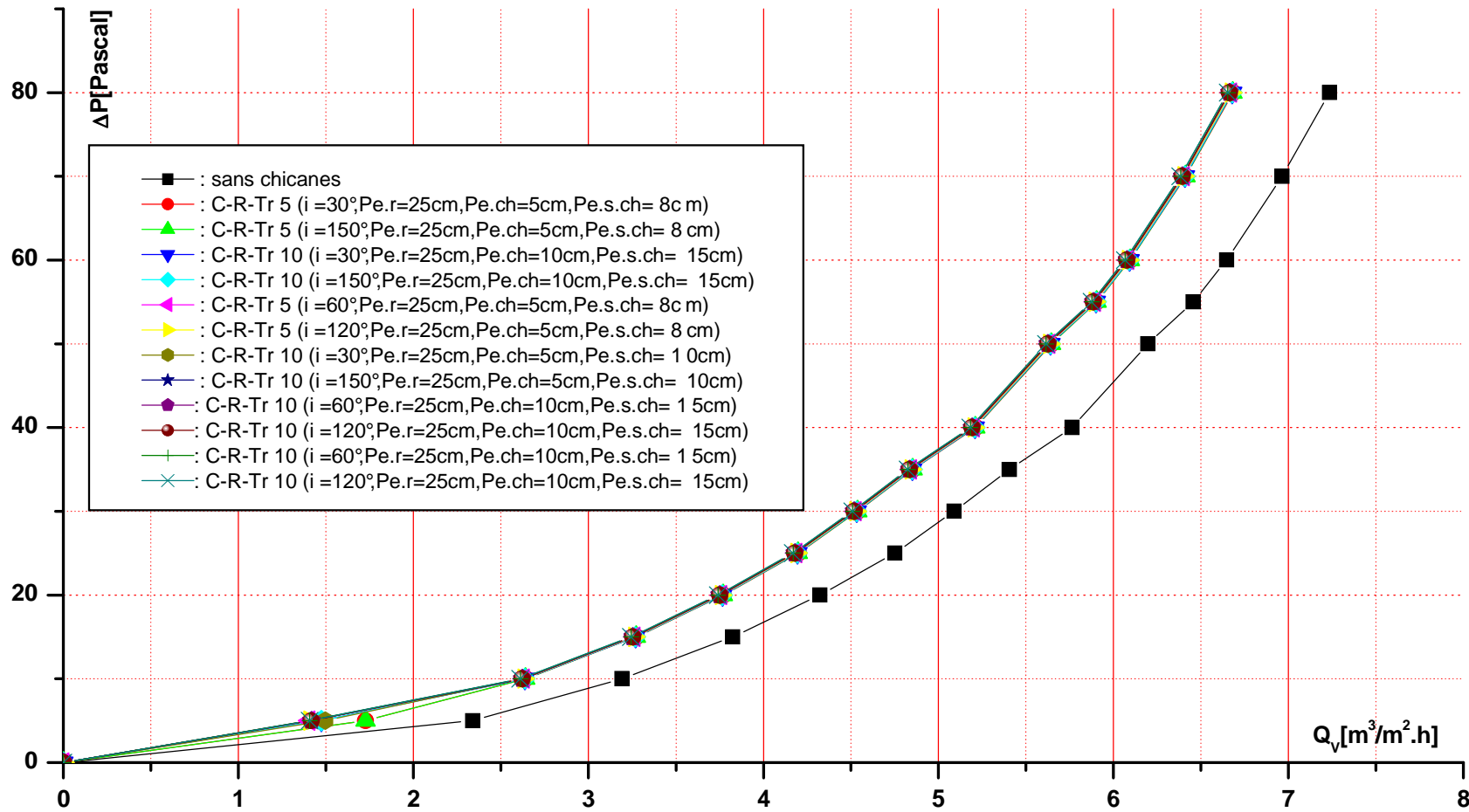
**Figure (IV- 18):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires - triangulaires avec partie supérieure triangulaire inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.



**Figure (IV- 19):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires - triangulaires avec partie supérieure triangulaire inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.

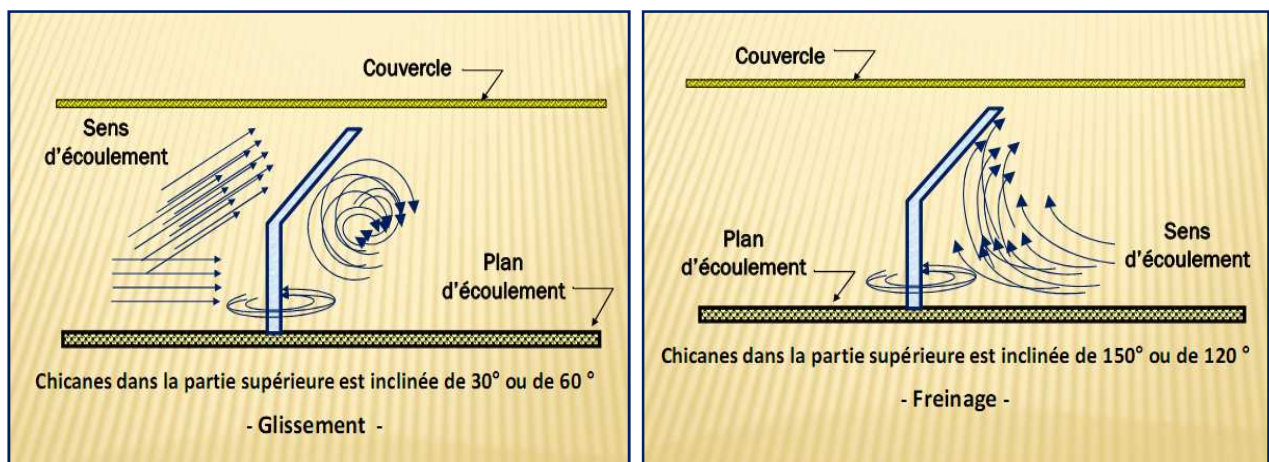
a  
b





**Figure (IV- 20):** Pertes de charge en fonction du débit en présence des chicanes rectangulaires – trapézoïdales avec partie supérieure trapézoïdale inclinée, disposées en quinconces comparativement à un conduit lisse.

L'analyse de l'évolution des courbes notamment celles qui correspondent à l'incidence de  $30^\circ$ , par rapport à  $150^\circ$  et de  $60^\circ$  par rapport à  $120^\circ$  figures (VI-2),(VI-6) et tableau (VI-1) relativement à une valeur commune de rugosité absolue et de diamètre hydraulique équivalent, pour les quatre configurations des chicanes, montre qu'il existe une légère différence visible dans la valeur de la perte de charge mesurée, qui peut être expliquée par un phénomène de glissement du fluide par rapport à la partie supérieure inclinée de  $30^\circ$  et  $60^\circ$ , et un freinage pour les incidence de  $150^\circ$  et  $120^\circ$  figure (VI-22). A titre d'exemple, pour le type rectangulaire trapézoïdal, pour les mêmes conditions de comparaison, la perte de charge enregistrée est de 33,15 [Pa] pour  $30^\circ$ , alors qu'elle est de 33,48 [Pa] pour  $150^\circ$  (chicanes en rangées) ( Tableau (VI-1). Ainsi, pour la même disposition, la perte de charge est de 36,14 [Pa] pour  $60^\circ$  et de 36,47 [Pa] pour  $120^\circ$ . D'autre part, cette différence devient plus significative en présence de la disposition en quinconce voir Tableau (VI-1).

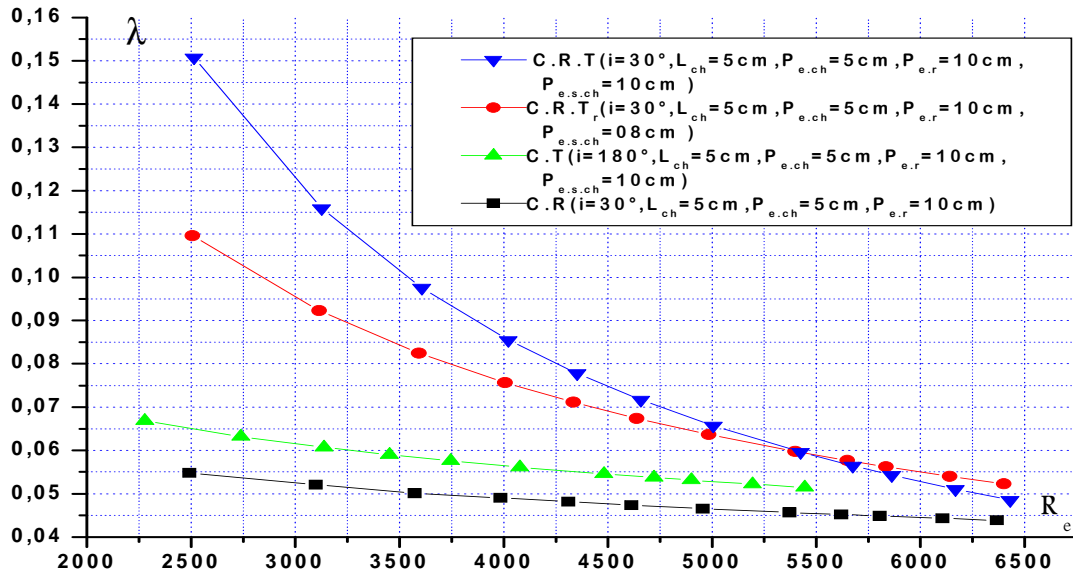


**Figure (IV-22) :** Impact du fluide en écoulement avec la partie supérieure inclinée

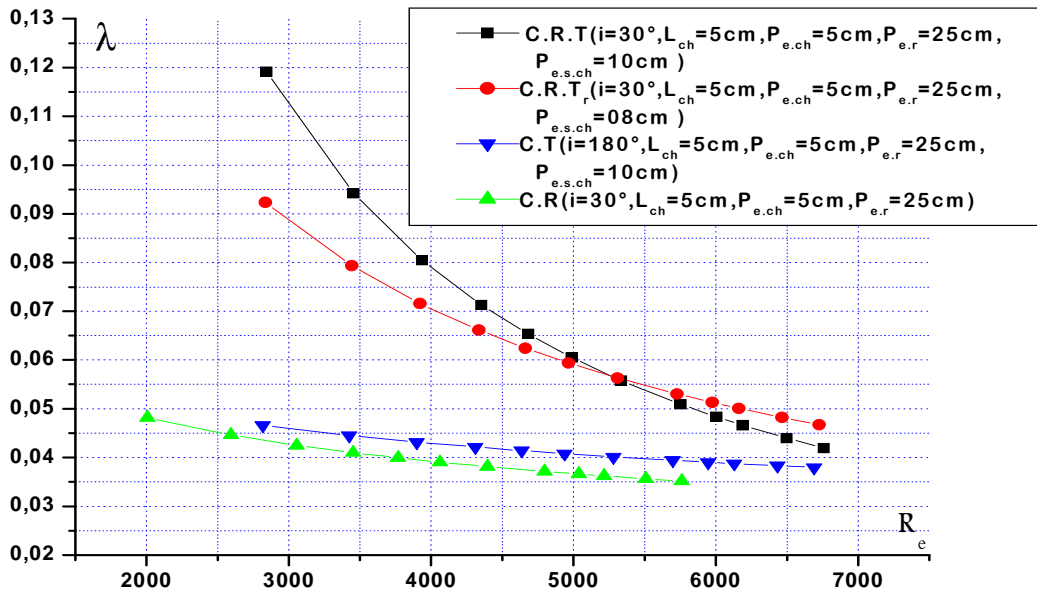
#### **IV-2-Evolution du coefficient des pertes de charge $\lambda$ en fonction de Reynolds et du Pas entre les rangées :**

Partant des corrélations développées dans le troisièmes chapitre de ( III-09 à III- 47 ), qui expriment le coefficient des pertes de charge en fonction des paramètres géométriques considérés des chicanes, de la géométrie de disposition et du régime d'écoulement, on a pu élaborer des graphiques qui montrent l'évolution de  $\lambda$  en fonction du nombre de Reynolds, pour les différentes configurations des chicanes étudiée par rapport à un conduit lisse, d'autre part, afin de valider la fiabilité de l'ajustement du procédés numérique suivi dans ce travail, et la bonne concordance des modèles empiriques développés avec d'autres rencontrés dans la

littérature, en particulier avec ceux de **Blasius** [15] , **S.K.Verma** [26] , **Chaube** [11] et de **Bhagoria** [14], dont l’analyse des allures de l’évolution des coefficient des pertes de charge illustrées par les figures (VI-23) à (VI-27), montre le bon accord des modèles empiriques relatifs aux configurations des chicanes étudiées.



**Figure (IV.23) :** Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds, chicanes disposées en rangées



**Figure (IV-24) :** Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds pour la configuration rectangulaire des chicanes disposées en rangées

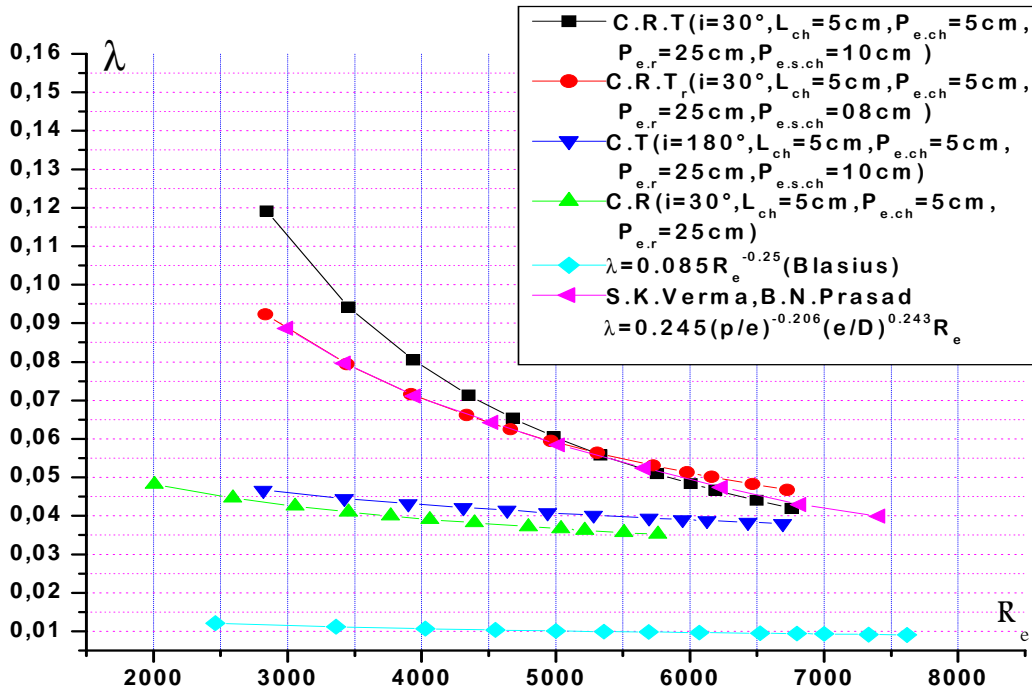


Figure (IV-25) : Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds, en comparaison avec le modèle de **Blasius** et de **S.K.Verma**, chicanes en rangées

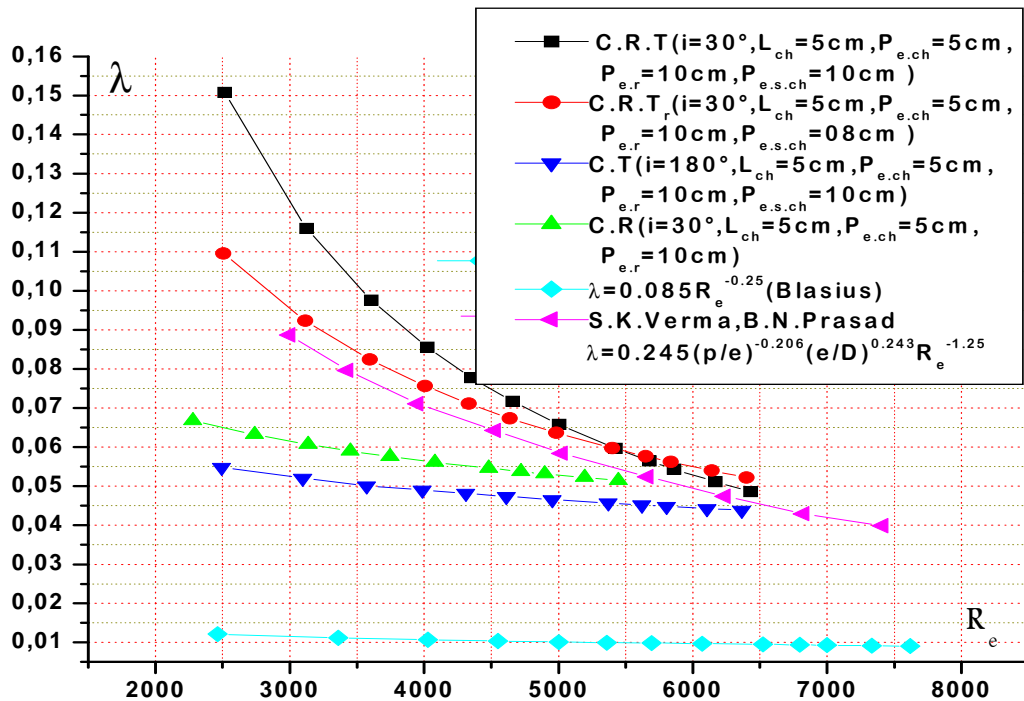


Figure (IV-26) : Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds, en comparaison avec le modèle de **Blasius** et de **S.K.Verma**, chicanes en rangées

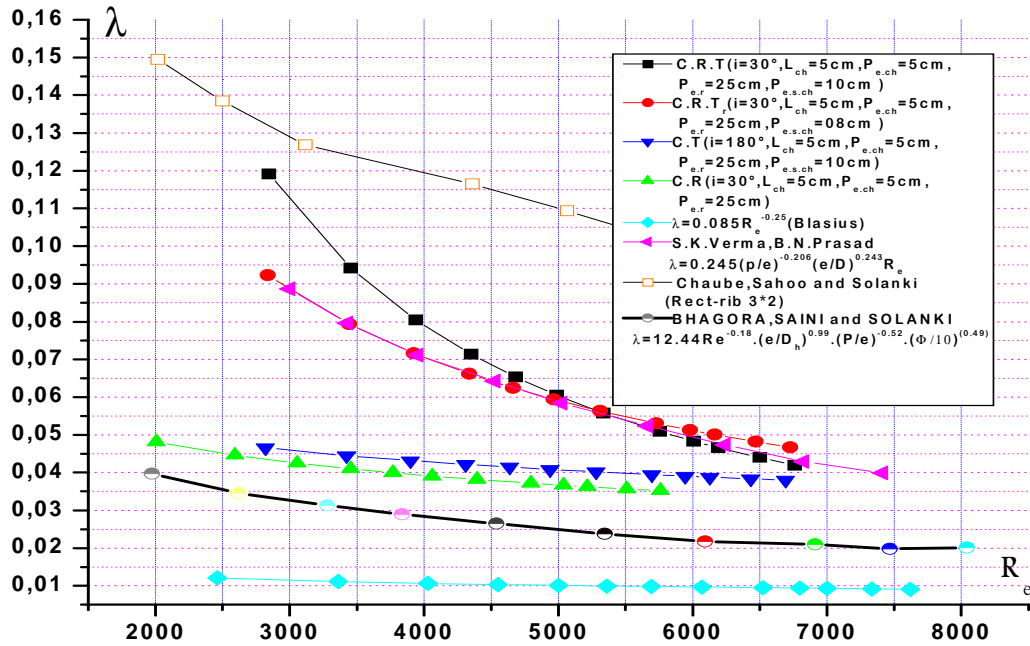


Figure (IV-27) : Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds, en comparaison avec le modèle de Blasius, S.K.Verma , Chaube et de Bhagora , chicanes en rangées

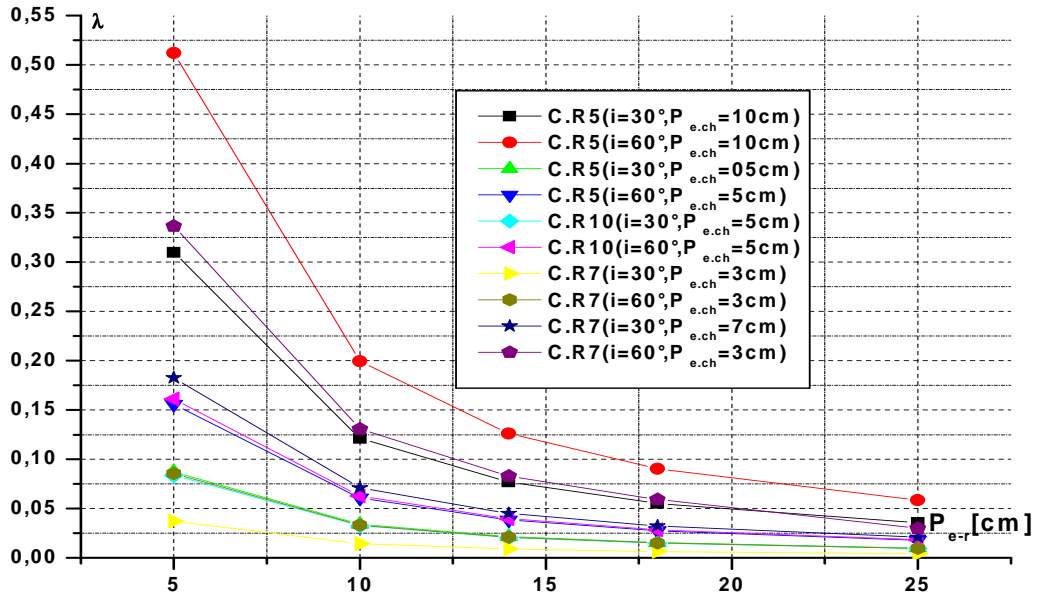
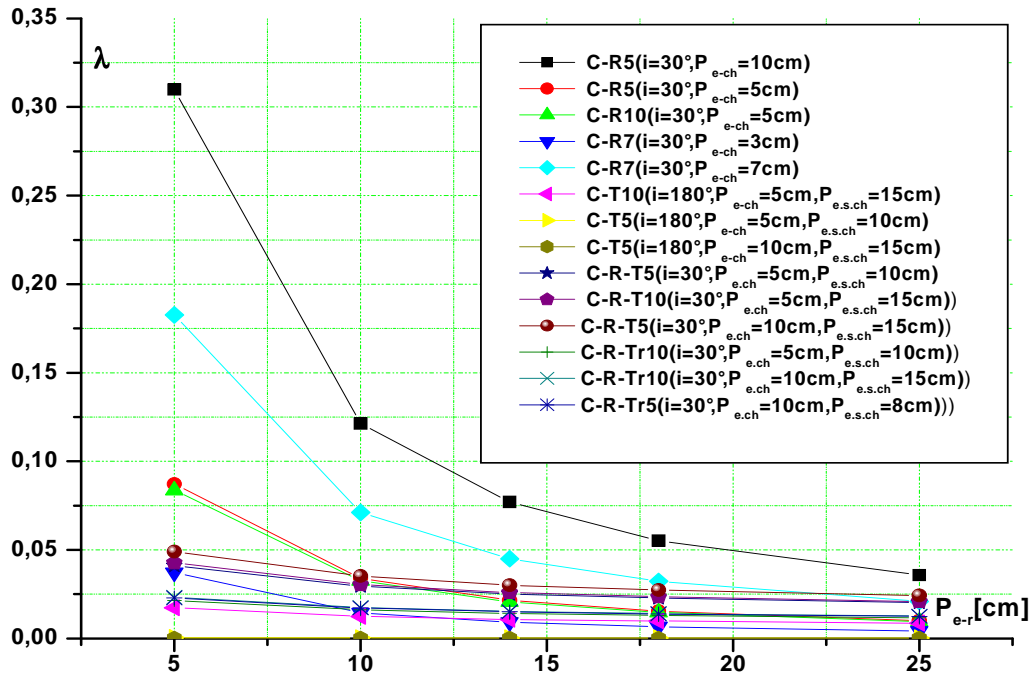


Figure (IV-28) : Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction du pas entre les rangées, régime turbulent, chicanes disposées en rangées



**Figure (IV-29) :** Coefficient des pertes de charge  $\lambda$  en fonction du pas entre les rangées, régime turbulent, chicanes disposées en rangées

### Conclusion :

Dans ce chapitre, on a montré graphiquement l'évolution des pertes de charge en fonction du débit et l'évolution de coefficient de perte de charge en fonction des différents paramètres géométriques pour les quatre types de configuration étudiées.

D'après les graphiques, on remarque la concordance des résultats obtenus de cette dépendance qui est analogue à celle déjà vue avec les pertes de charge en fonction du débit.

L'analyse de l'évolution des coefficients de pertes de charge  $\lambda$  en fonction de Reynolds des configurations considérées, montre le bon ajustement du procédé numérique et l'affinité des approches empiriques développées comparativement avec celles citées dans la littérature.

## **Conclusion générale :**

L'insertion des chicanes qui ont pour but d'améliorer les performances thermiques des échangeurs de chaleur et des insolateurs solaires plan à eau et à air, est pénalisée par un accroissement des pertes de charge qui se répercute sur la puissance mécanique et électrique nécessaire pour assurer une alimentation continue du fluide caloporteur dans ces dispositifs..

Les résultats expérimentaux montrent que l'adjonction de ces rugosités artificielles dans le conduit utile se manifeste par une augmentation sensible des pertes de charge.

L'objectif essentiel de ce travail est d'étudier l'influence des rugosités artificielles qui peuvent être insérées sur les pertes de charge. Pour cela on a élaboré un modèle de chicanes de formes rectangulaires avec une partie supérieure inclinée, conçues de telle sorte à répondre à certaines conditions d'utilisation, en vue d'améliorer la qualité de transfert de chaleur par conduction, convection et par rayonnement.

Une série de manipulations expérimentales a été effectuée en présence des configurations de chicanes découpées, ce qui nous a permis d'obtenir un nombre important de tableaux de mesure à traiter qui exprime la chute de pression engendrée en fonction du débit volumique.

Pour mettre en corrélation les caractéristiques géométriques des configurations de chicanes testées en fonction du régime d'écoulement et des paramètres physiques du fluide caloporteur, nous avons eu recours à la méthode de l'analyse dimensionnelle, dite aussi théorème de ( $\pi$ ) ou de Vashy Buckingham. Cette méthode est fréquemment utilisée en mécanique des fluides et donne la possibilité de mettre en liaison tous les paramètres physiques, thermo-physique et géométriques sous forme d'une relation globale empirique.

Cette analyse nous a permis d'obtenir des relations empiriques, qui expriment les pertes de charge et le coefficient correspondant, qui vérifient les résultats expérimentaux trouvés. Pour chaque type de configuration on a établi deux modèles empiriques selon la nature et le régime d'écoulement.

La comparaison des graphiques qui expriment l'évolution des pertes de charge en fonction du débit, pour les mêmes conditions d'expérimentation montre que c'est la forme rectangulaire qui occasionne le plus de perte de charge, suivie ensuite respectivement par la forme triangulaire, rectangulo-triangulaire et la forme rectangulaire trapézoïdale Figure (VI-13) et tableaux (VI-2, VI-3, et VI-4). Ces constatations sont aussi confirmées par les courbes de la variation du coefficient de pertes de charge en fonction de Reynolds qui, pour les quatre configurations étudiées, les allures sont conformes au diagramme de Moody, et à ceux des travaux rencontrés dans la littérature, cités ultérieurement dans le chapitre I (étude

bibliographique), et également les mêmes observations sont confirmés pour la variation de  $\lambda$  en fonction du pas entre les rangées (Figure (VI-28)).

Par comparaison avec les travaux rencontrés, et particulièrement ceux de Ménasria Fouad et al [30] qui s'est intéressé à la modélisation des coefficient d'échange en présence de chicanes rectangulaires avec partie supérieure inclinée, qui sont introduits dans le conduit d'un capteur solaire plan à air, montre qu'il existe une similarité entre les modèles expérimentaux conçus, de l'étude dynamique et l'étude thermique. Ceci nous laisse penser qu'il est possible d'imaginer l'existence des solutions intermédiaires entre les corrélations des pertes de charge et celles décrivant les coefficients d'échange convectifs.

Les résultats trouvés participeront à comprendre ultérieurement le comportement aérodynamique du fluide et son impact en contact avec les obstacles, en effet certaines études effectuées sur des insolateurs plans à air, montrent que le fluide caloporteur en dehors des obstacles cède une partie des calories recueillies auparavant.

Pour mettre en évidence la variation de la pression dans le sens transversal et longitudinal, également autour et au voisinage des obstacles de formes diverses, dans la veine d'écoulement du fluide, il est intéressant d'obtenir une carte de distribution des pressions dans toute la surface irriguée, ce qui nous permettra de localiser les zones à fortes ou à basse turbulence, qui nécessite des capteurs de pression ultra sensible.



## *Références bibliographiques*

- [1] Hughes L, Etude de l'influence de la rugosité sur l'écoulement de fluide dans les fissures rocheuses, Thèse de doctorat académie universitaire Wallonie – Bruxelles. (2006).
- [2] [http://www.daniel-huilier.fr/Enseignement/Notes Cours/Pertes de charges /Conduites Generalites.pdf](http://www.daniel-huilier.fr/Enseignement/Notes_Cours/Pertes_de_charges/Conduites_Generalites.pdf), 2009/2010, site internet consulté le : 23 /10/2011
- [3] R. COMOLET. « Mécanique expérimentale des fluides ».France, (1999)
- [4] B. Achour, Calcul des conduites et canaux par la MMR, Larhyss édition, Algerie, (2007).
- [5] C.Colebrook, Turbulent flow in pipe , with particular reference to the transition regime between smooth and rough pipe laws, Institution of Civ Eng . Journal, Vol.11, pp.133-156.
- [6] Traduit du Russe par M . MEURY, Mémento des pertes de charge, Paris 5<sup>e</sup>,(1986)
- [7] J.Nikuradse, Stromungsgesetze in rauhen », in Forschungsheft 361,Vol B ,VDI Verlag , Berlin ( Jul / Aug), (1933) .
- [8] [www.daniel-huilier.fr/Enseignement/.../Conduites Generalites.pdf](http://www.daniel-huilier.fr/Enseignement/.../Conduites_Generalites.pdf), Année 2009/2010, site internet consulté le : 30/10/2011
- [9] A.GIREF. « Transferts thermiques convectifs dans le cadre de machines tournantes ». Thèse de doctorat .Université de Poitiers, France, (2009)
- [10] D.Cavallero et G.Tanda, 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, (2002).
- [11] A.Chaube, P.K.Sahoo et S.C. Solanki, Analysis of heat transfer augmentation and low characteristics due to rib roughness over absorber plate of a solar air heater, Renewable Energy., Vol 31, N°3 .pp.317-331, (2006).
- [12] A.R. Jaurker, J.S.Saini et B.K. Gandhi, Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness, Solar Energy , Vol 80,pp.895-907 ,(2006).

- [13] R. Karwa, S.C.Solanki et J.S. Saini, Heat transfer coefficient and friction factor correlations for the transitional low regime in rib-roughened rectangular ducts, *International Journal of Heat and Mass Transfer.*, Vol.42, N°9 ,pp.1597-1615, (1999).
- [14] J.L. Bhagoria, J.S. Saini et S.C. Solanki, Heat transfer coefficient and friction factor correlations for rectangular solar air heater duct having transverse wedge shaped rib roughness on the absorber plate, *Renewable Energy*, Vol.25 N°3. pp.341-369, (2002).
- [15] A-M.E.Momin, J.S.Saini et S.C.Solanki, Heat transfer and friction in solar air heater duct with v-shaped rib roughness on absorber plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.45, N°16, pp.3383-3396, (2002).
- [16] G. Tanda, Heat transfer in rectangular channels with transverse and v-shaped broken Ribs ». *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.47,N°2 ,pp.229-243, (2004).
- [17] R.Karwa, 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, (2003).
- [18] J.Nikuradse, Laws of flow in rough pipes. *Rapport technique* ». NACA Technical Memorandum , pp.1292, (1950).
- [19] B.N.Prasad , J.S.Saini, effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in a solar air heater, *Solar Energy.*, Vol.41. pp. 555 -560. (1988).
- [20] Gupta, D., Solanki, S.C., Saini, J.S., Heat and fluid flow in rectangular solar air heater ducts having transverse rib roughness on absorber plates. *Solar Energy* , Vol .51.pp. 31–37, (1993).
- [21] S.K.Verma, B.N.Prasad , Investigation for the optimal thermohydraulic performance of artificially roughened solar air heaters , *Renewable Energy* , Vol.20.pp.19-36,(2000).
- [22] R.P.Saini , J.Verma , Heat transfer and friction factor correlations for a duct having dimple – shape artificial roughness for solar heaters,*Energy*,Vol.33 , pp.1277-1287,( 2008) .
- [23] R.P.Saini,J.S.Saini , Heat transfer and friction factor correlations for artificially roughened ducts with expanded metal mesh as roughness element , Vol.40, N°4 ,pp.973-986.(1997).
- [24] Muluwork, K.B. Saini, J.S. Solanki, Studies on discrete RIB roughened solar air heaters.

In: Proceedings of National Solar Energy Convention, Roorkee , pp. 75–84.( 1998)

- [25] A.Layek, J.S.Saini ,S.C.Solanki, Heat transfer and friction characteristics for artificially roughened ducts with compound turbulators, I.J.of heat and Mass Transfer, Vol. 50, pp. 4845 - 4854 . (2007).
- [26] Varun , R.P.Saini,S.K.Saini , Investigation of thermal performance of solar air heater having roughness as a combination of inclined and transverse ribs on the absorber plate , Renewable Energy, Vol . 33, pp.1398-1405 ,(2008 ).
- [27] K.R.Aharwal, Bhupendra , K .Ghandhi,J.S.Saini, Heat transfer and fraction characteristics of solar air heater ducts having integral inclined discrete ribs on obsorber plate International journal of heat and mass transfer, Vol.52, pp.5970-5977, ( 2009).
- [28] Lihua Guo , J.Chen , F.Quin , Z.Chen , W.Zhang , Empirical correlations for lubricant side heat transferand friction characteristics of the HPD type steel offset strip fins , Inernational Communications in heat and mass transfer , Vol .35, pp.251-262 ,( 2008).
- [29] S.V. Karmare, A.N. Tikekar, 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,(2007).
- [30] F.Menasria, A.Moumami, N.Mioumami, M.Zedayria, M.Guestal, Modélisation des échanges convectifs dans le conduit utile d'un capteur solaire plan à air muni de rugosités artificielles de formes rectangulaires, Revue des Énergies Renouvelables, Vol.14 N°3, pp .369-379. (2011)
- [31] B.B.Prasad et J.S.Saini, Optimal thermohydraulic performance of artificially roughned solar air heating, Solar Energy .,Vol.47, N°2, pp.91-96 (1991).
- [32] B.B.Prasad et J.S.Saini, Effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in solar air-heaters, Solar Energy, Vol.41, N°6 , pp. 505-560 (1980).
- [33] Webb RL. Air-side heat transfer correlations for flat and wavy plate fin-and-tube geometries. ASHRAE Transaction, Vol.96 , N°2, pp.445-449. (1990)
- [34] C.C.Wang et Y.M.Hwang, Corrélations empiriques relatives au transfert de chaleur et aux

- pertes par frottement pour des échangeurs à tubes ailettes avec ailettes ondulées. *International Journal of Refrigeration* , Vol.25, pp.673-680. (2002)
- [35] A.Moumni. Etude globale et locale du rôle de la géométrie dans l'optimisation des capteurs solaires plans à air, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes, France (1994).
- [36] C.C.Wanga, J-Y,Jang, N.F-Chioub, A heat transfer and friction correlation for wavy and tube heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.42, pp.1919-1924.(1999)
- [37] D.Junqi , C.Jiangping, C.Zhijiu, Z.Yimin, Z.Wenfeng, Heat transfer and pressure drop correlations for the wavy fin and flat tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, Vol.27, pp.2066-2073. (2007).
- [38] A.Layek , J.S.Saini ,S.C.Solanki, Effect of chamfering on heat transfer and friction characteristics of solar air heater having absorber plate roughened with compound turbulators, *Renewable Energy*, Vol.34 , pp.1292 -1298 . (2009)
- [39] S.Jaisankar, Experimental studies on heat transfer and factor characteristics of thermosyphon solar water heater system fitted with spacer at the trailing edge of twisted tapes . *Applied Thermal Engineering*. Vol.29. pp.1224-1231. (2009).
- [40] R.Matsumoto, S.Kikkawa et M.Senda, Effect of pin n arrangement on end wall heat transfer, *J.S.M.E.*, pp. 142-151, (1997)
- [41] A.P. Hatton, A. Quaramby et I.Grundy, Further calculations on the heat transfer with turbulent low between parallel plates, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol.7. pp.817823. (1964).
- [42] Muneesh Sethi, N. S. Thakur, Varun, Heat transfer and friction characteristics of dimple-shaped roughness element arranged in angular fashion (arc) on the absorber plate of solar air heater, *J. Renewable Sustainable Energy* , Vol .4 ,N°. 2, pp. 023-112 ,(2012).
- [43] J.C .Han , Heat transfer and friction characteristics in rectangular channels with rib turbulators. *ASME J Heat Transfer* , Vol.8, pp. 110-321, (1988)

## RESUME

L'objectif de ce travail, consiste à établir des modèles empiriques reliant les pertes de charge aux caractéristiques géométriques des rugosités artificielles de formes diverses dites chicanes et aux différents modes de dispositions de celles-ci dans le conduit utile d'un canal rectangulaire.

Pour réaliser ce travail, 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 mesures expérimentales effectuées nous ont permis d'établir des relations empiriques permettant d'estimer les pertes de charge en fonction de la géométrie de configuration et de disposition de ces chicanes pour différents régimes d'écoulements.

**Mots clés :** pertes de charge, corrélations, rugosités artificielles, dispositions, rangées, quinconces.

## ABSTRACT

The objective of this work is to find empirical models linking load losses to the geometric characteristics of artificial roughness called baffles and different modes of provisions of these fluids in the vein of a rectangular channel.

An experimental design was set up to measure the losses Load caused by baffles between the upstream and downstream of the channel. The experimental measurements made have enabled us to establish empirical relationships to evaluate losses in accordance with load losses configuration and arrangement of baffles and for different flow regimes.

**Key words :** losses, correlation, artificial roughness, layout, rows, staggered.

## ملخص:

إن الهدف من العمل الذي أنجزناه هو إيجاد نماذج رقمية متعددة لقياس ضياع الشحنات في قناة ذات تجويف داخلي مربع مجهز بخشونة إصطناعية ذات أشكال مختلفة وتموضعات متعددة .

ولتحقيق هذا الهدف أعدنا هذه القناة وقمنا بتجهيزها بعوائق إصطناعية ذات أبعاد وأشكال مختلفة ومن أجل قياس فرق الضغط أوصلنا مدخل ومخرج القناة بجهاز قياس فرق الضغط، كما أوصلنا كذلك مخرج القناة بجهاز لقياس تدفق السائل .

وفي نهاية بحثنا تمكنا من الحصول على بنك ثري من النتائج التجريبية ونماذج متعددة من العلاقات الرقمية لمختلف أنواع التدفقات ( التدفق الهادي والمثار) في حالة وضع الخشونة بشكل خطي أو تموضعها بشكل متداخل كل على حدا .

**الكلمات المفتاح :** ضياع الشحنات، نماذج رقمية ، خشونة اصطناعية ، تموضع ، خطي ، متداخل .