

I.1. Introduction

Les écoulements autour des objets est un phénomène qui se produit fréquemment dans la pratique. Ils sont indispensables dans la conception mécanique et thermique de nombreux systèmes en engineering comme : l'aviation, l'automobile, le bâtiment, les composants électroniques.

L'identification et l'étude des phénomènes d'échauffement et de refroidissement qui surgissent dans les canaux restent un sujet d'intérêt et d'actualité dans divers domaines. Donc, l'écoulement dans un canal à paroi ondulée est d'un intérêt important dans la pratique. En effet, la connaissance des structures turbulentes générées autour de ces ondes et leurs différents régimes est d'une utilité primordiale dans la conception des ouvrages exposés aux écoulements de fluides. Le choix de l'étude d'un écoulement dans un canal à paroi inférieure ondulée résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques.

Beaucoup de travaux de recherches ont été réalisés pour modéliser l'écoulement dans les canaux à paroi ondulée. Pour cela, la confrontation des résultats des méthodes numériques avec ceux de l'expérience était nécessaire. Une large gamme de méthodes mathématiques ont été développées afin de s'approcher de la réalité de l'écoulement et de fournir le maximum d'information qui peuvent se produire. Pour notre cas, on a utilisé le code commercial ANSYS FLUENT 6.3.26, qui représente un outil de simulation numérique fort et de grande qualité, afin de simuler un écoulement dans un canal à paroi inférieure ondulée. Ce code de calcul trouve de plus en plus de place dans différents domaines d'industrie surtout dans l'option des écoulements de fluide et transfert de chaleur.

I.2. Revues bibliographiques :

I.2.1 Contexte :

- Nikuradse [31] (1933) a fait une première étude de l'effet de densité de la rugosité des grains de sable sur le coefficient de frottement de la peau dans l'écoulement de la canalisation. Les résultats de cette étude, discutée dans tous les fluides manuels ont depuis été utilisés par les chercheurs qui tentent de normaliser ces effets en termes d'un " rugosité des grains de sable équivalent ".
- Schlichting [40] (1979) propose le concept de rugosité des grains de sable équivalent (K_S) déterminées expérimentalement pour une variété de surfaces rugueuses. Il a défini (K_S) que la taille des grains de sable dans les expériences d'écoulement de la conduite de Nikuradse, ce qui donnerait le même frottement que celle observée sur une surface rugueuse particulier. Bettermann (1966), Dvorak (1969), Simpson (1973) et Dirling (1973) ont présenté des corrélations, dont (K_S) à déterminer en fonction de diverses caractéristiques géométriques des éléments de rugosité sur la surface essentiellement permis.
- Cebeci et Chang [06] (1978) Le concept rugosité des grains de sable équivalente a également été utilisé dans leurs solutions numériques des équations de la couche limite avec un modèle de viscosité de Foucault algébrique modifié pour la rugosité de la surface, qui a déplacé la coordonnée normale de la paroi rugueuse. Ce déplacement et la longueur du mélange résultant ont été donnés en tant que fonctions d'une rugosité des grains de sable équivalente. En dehors de cette approche, de nombreux autres modèles d'effets de rugosité ont été proposées (voir Patel 1998, pour une revue). Parmi les modèles de quelque intérêt dans le cadre de ce travail sont les modèles dits «éléments discrets».

I.2.2. Modèles Discrète Elément :

Dans l'approche des éléments discrets, l'effet d'une collection d'éléments de rugosité individuelles sur le flux, en particulier la rugosité introduite par un réseau régulier d'éléments en deux dimensions ou en trois dimensions discrètes, telles que des nervures, des cônes et hémisphères, est considéré en incluant un terme sous forme de traînée dans l'équation de la dynamique et de la comptabilité de l'effet de blocage des éléments de rugosité sur l'écoulement dans l'équation de continuité.

- Christoph et Pletcher [07] (1983) ont utilisé le modèle élément discret de (Finson) mais inclus les effets de rugosité supplémentaires dans un modèle de longueur de mélange. Ils ont ajouté un terme de puits à l'équation de mouvement pour la traînée de forme, et un terme correspondant dans l'équation enthalpie pour le transfert de chaleur, pour étudier l'influence des éléments de rugosité discrets sur le frottement de la peau et le transfert de chaleur dans les écoulements compressibles. Hémisphères et les cônes ont été choisis comme les éléments de rugosité. Un bon accord a été montré dans plusieurs comparaisons avec les données expérimentales murales rugosité.
- Miyake, Tsujimoto et Agata [29] (1998) ont réalisé une simulation numérique directe (DNS) de l'écoulement turbulent développé dans un canal à deux dimensions ayant une paroi rugueuse et une paroi lisse. Une méthode spectrale a été utilisée pour résoudre les équations. Cônes avec un diamètre de base égal à l'espacement de grille de l'envergure ont été choisis comme des éléments de rugosité. La répartition de la hauteur du cône était aléatoire avec une valeur moyenne autour de 15 à 30 unités de paroi (v/ U_T , où v est la viscosité cinématique et U_T est la vitesse de frottement). Plusieurs points de la grille sont inclus à l'intérieur du cône. Une force de traînée due à l'élément de rugosité a été ajouté à l'équation de mouvement discrétisé en ces points de la grille, le volume de l'élément de rugosité a été supposé égal à zéro, à savoir les effets de blocage ont été négligés. Le nombre global de Reynolds basé sur les vitesses moyennes sur les deux parois et la hauteur du canal de friction était de 400. Deux densités différentes d'éléments de rugosité ont été calculés et le flux de la moyenne et la quantité de turbulence avec ces densités de rugosité ont été comparés les uns aux autres.
- Un avantage de ces modèles d'éléments discrets décrits ci-dessus, que ce soit utilisé dans Reynolds moyennées équations de Navier-Stokes (RANS) ou dans la (DNS), est qu'ils tentent de faire un lien direct entre la géométrie de la rugosité (taille, forme, distribution, etc.) et l'effet de la rugosité du débit. Cependant, ces modèles ont besoin beaucoup plus loin le développement et les tests pour différents types de rugosité rencontrés dans la pratique. Dans cette étude, nous explorons l'utilisation de ces modèles de rugosité en combinaison avec l'approche (ERP) pour les écoulements turbulents. Dans un premier temps, nous considérons les deux plus couramment explorés éléments de rugosité - une paroi ondulée et un mur avec nervures transversales à deux dimensions. Les travaux antérieurs sur ces deux types de rugosité et examiné ci-dessous pour fournir une perspective sur le présent travail.

I.2.3. Écoulement turbulent dans une paroi ondulée :

Beaucoup de surfaces naturelles et artificielles sont constituées d'ondes. Une paroi ondulée introduit des perturbations dans le flux, qui affectent diverses quantités décrivant le champ d'écoulement. Etude des phénomènes dynamiques de fluide de base associé à une paroi ondulée contribue également à la compréhension fondamentale des mécanismes qui contrôlent les flux déformés et aide à répondre à des questions pratiques environnementales et d'ingénierie.

L'écoulement sur une frontière ondulée sinusoïdale a suscité beaucoup d'intérêt au cours des dernières décennies. De nombreuses années de recherche dans ce domaine a conduit à des concepts généraux qui sont largement compris.

I.2.3.1. Études expérimentales :

- Dans l'expérience de Hudson et al [17] (1996), ont utilisé le (LDV) pour mesurer la variation temporelle et spatiale des deux composantes de la vitesse. La moyenne et par sur des surfaces ondulées. Ils ont mesuré la variation de la contrainte de cisaillement de paroi le long de la surface ondulée avec des colorants et des sondes électrochimiques. Frederick et al. (1986) ont effectué des mesures précises, en particulier dans la région de la paroi, du champ de vitesse périodique le long des surfaces ondulées en l'absence de séparation. Ils ont observé qu'il y avait un décalage dans la réaction du fluide à la vague et une réduction de l'effet du gradient de pression par rapport à celle sur une surface plane.
- Kuzan, Hanratty et Adrian [24] (1989) ont utilisé le laser Doppler vélocimétrie (LDV) pour étudier le passage d'un flux séparé turbulent à un écoulement non séparé turbulent avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Plusieurs résultats importants ont été obtenus. La séparation a été trouvée à disparaître avec l'augmentation du nombre de Reynolds et le passage (de séparation à la non- séparation) le processus est semblable à celui lorsque l'amplitude de l'onde a été diminuée. On ne sait pas si la séparation serait de retour si le nombre de Reynolds a encore augmenté.

I.2.3.2 Études numériques :

- Thorsness, Morrisroe et Hanratty [41] (1978) ont utilisé leurs données expérimentales pour comparer avec les résultats des équations cinétiques linéarisées en utilisant plusieurs modèles de turbulence pour tester les deux modèles de turbulence et l'hypothèse de linéarisation. Les résultats ne sont pas satisfaisants. Mais ils ont constaté que les calculs ne dépendent pas du choix de la fonction de profil de vitesse. Cela a été en conformité avec les conclusions antérieures de Benjamin (1959).
- Frederick et Hanratty [13] (1986) ont obtenu une solution des équations RANS pour l'écoulement périodique sur des ondes sinusoïdales d'amplitude finie dans un canal en utilisant des dérivés évalués par des méthodes spectrales dans le sens de l'écoulement et par différences finies dans le sens normal. Dans ce cas, le débit du canal complet a été résolu et la cartographie de conformation a été utilisée pour transformer le domaine physique en une forme rectangulaire. Le meilleur ajustement aux données expérimentales a été trouvé pour l'onde plus faible amplitude, avec le modèle Van Driest et un autre modèle longueur de mélange donne des résultats similaires. Au cours de la plus grande vague, les modèles convenus ni les uns avec les autres, ni avec les résultats expérimentaux.
- Patel, Tyndall, et Yoon [42] (1991) ont développé une méthode numérique pour la modélisation laminaire à deux dimensions et les écoulements turbulents, internes et externes sur les frontières ondulées. Pour un écoulement turbulent, les équations sont résolues pleines RANS selon la méthode dite «finie analytique». Chen et Patel [16] (1985) avec le k-ε modèle de turbulence à deux couches de Chen Mi Patel (1988). Le modèle de turbulence associé au modèle k-ε bien connue pour la viscosité turbulente dans la zone extérieure avec un modèle d'une équation, en raison Wolfenstein (1969), dans la couche intérieure qui étend à partir de la paroi à travers la sous-couche et la couche tampon dans une partie de la couche turbulente entièrement. Ce modèle à deux couches ne comprend pas la contrainte de cisaillement de paroi en tant que paramètre et donc pourrait être utilisé à travers des régions d'écoulement séparés. Tyndall a présenté les solutions numériques pour les deux laminaires et turbulents et comparé celle-ci avec les données expérimentales de Frederick [13] (1986) et Kuzan [24] (1989). La méthode a donné des résultats assez précis, même pour le cas d'un écoulement séparé et était suffisamment général pour permettre des solutions de flux sur les murs ondulés de forme arbitraire.

- Durst, Founti et Obi [09] (1988) ont rapporté des études expérimentales et numériques sur deux nervures montées en tandem dans le flux de canal entièrement développé. La hauteur du canal, la largeur de la nervure, et la distance entre les deux nervures sont fixées, mais la hauteur des nervures et la vitesse apparente ont été modifiées afin d'obtenir des nombres de Reynolds. Laminaire, les flux transitoires et turbulents ont été calculés sur un maillage non-uniformément répartie en deux dimensions. L'algorithme SIMPLE a été adopté avec le modèle k-e standard dans le cas turbulent.
- Yoon et Patel [44] (1996), ont présenté un modèle numérique d'un écoulement turbulent dans un canal à deux dimensions avec un lit ondulé et un couvert de glace flottant librement avec du sable à grains rugosité pris en compte. Les équations RANS ont été résolues sur une grille généralisée, une limite ajustée sur une seule dune en imposant des conditions limites périodiques dans le sens de direction de l'écoulement. Les deux couches k-e modèle de turbulence et k-co modèle de turbulence à deux ont été utilisées pour fermer les équations. Une évaluation minutieuse a révélé que ce dernier a donné de meilleurs résultats sur une large gamme de rugosité hauteurs. La méthode numérique a été en mesure de prédire la plupart des caractéristiques essentielles de l'écoulement moyen, y compris les vitesses et le stress de la turbulence des distributions, la friction et les composants de la pression de résistance totale, et les changements dans la profondeur d'écoulement lorsque la glace recouvre avec une rugosité différente ont été ajoutés à la base l'écoulement dans un canal
- Okamoto, Seo, Nakaso et Kawai [35] (1993) ont mesuré la structure d'écoulement sur répétées nervures carrés à deux dimensions montés sur une surface plane dans un canal d'eau, la vitesse moyenne, la pression statique et la vitesse des vecteurs ont été mesurés par des tubes de Pitot et de pression statique et une forme cylindrique à trois trous. L'intensité de la turbulence et échelle intégrale ont été obtenues à l'aide d'un anémomètre à fil chaud. Le transfert de l'intensité de turbulence et de la chaleur ont été maximisée et l'écoulement recollé dans la rainure avec un rapport de hauteur de 9. Ils ont constaté que les effets du nombre de Reynolds sur le rapport de pas optimal pour augmenter la turbulence semblaient être insignifiants. Ils ont également rapporté que le rapport de pas optimale, la perte de pression due aux nervures a également été maximisée.

- Yang et Ferziger [43] (1993) ont réalisé le (LES) des flux de canal turbulent avec une seule nervure carrée envergure montée sur une paroi. Un modèle sous maille dynamique (DSM) a été appliqué. Le nombre de Reynolds en fonction de la vitesse moyenne au-dessus de l'obstacle et la hauteur de l'obstacle est $3,21 \times 10^3$. La nervure est une moitié de la hauteur du canal. Structures d'écoulement ont été résolues avec la condition aux limites sans glissement. Les équations, en trois dimensions, filtrées équations de Navier-Stokes DELAI FIN ont été résolues en utilisant un schéma de volumes finis.
- Cherukat, Na, Hanratty et McLaughlin [05] (1998) ont réalisé le (DNS) de l'écoulement turbulent sur une surface ondulée sinusoïdale en utilisant une technique d'élément spectral. Amplitude, rapport de longueur d'onde de 0,05 et le nombre de Reynolds de 3460 (sur la base de la vitesse apparente du canal et de la hauteur de la moitié du canal) ont été choisis pour comparer avec (1996) les mesures d'Hudson. Ils ont constaté que 36, 64 et 21 points de grille le long de la fraction, et l'envergure des directions normales, respectivement, étaient assez pour résoudre la couche de cisaillement séparés dans un domaine qui contenait quatre vagues. Les champs de flux instantanés ont montré une grande variation du motif d'écoulement dans le sens de l'envergure à un moment donné. Les rafales de vitesse occasionnelles qui a pris naissance dans la région séparée étendue sur une grande distance de la paroi ondulée. Ils ont montré que les turbulences dans la zone de séparation étaient très différentes de celle à proximité d'une surface plane.
- Henn et Sykes [18] (1999) ont résolu l'équation de Navier-Stokes ont utilisant la méthode de second ordre standard, et la différence du régime de conservation d'énergie précise sur une grille en quinconce avec différenciation de temps de saute-mouton. Les termes de diffusion ont été modélisés par la différenciation centrale avec le système de second ordre Du Fort-Fränkel. L'équation elliptique pour le champ de pression a été obtenue en appliquant l'approximation des différences finies dans le domaine de vitesse partiellement avancée. Le champ de pression a ensuite été calculé à partir de l'équation résultante de telle sorte que nulle divergence du champ de vitesse qui a été maintenue. Le modèle de turbulence sous maille utilisé une équation de transport d'énergie de turbulence cinétique basé sur le modèle de fermeture de second ordre de Lewellen (1977).

I.3. Influence de la turbulence sur une paroi :

Dans les sections suivantes l'influence de la forme de surface sur les structures de turbulence et cohérentes sont pris en compte. Après un bref résumé des phénomènes observés dans la couche limite turbulente sur des surfaces planes, parois ondulées sont étudiées comme les surfaces avec une complexité accrue.

I.3.1. Paroi plane :

Dans une revue par Robinson [38] (1991) une taxonomie des structures de turbulence observée dans une couche limite turbulente sur une surface plane (faible vitesse et à grande vitesse se réfèrent à des perturbations de la valeur moyenne à un particulier emplacement) est présenté:

1. Des bandes à basse vitesse dans la sous-couche visqueuse.
2. éjections de fluide à faible vitesse vers l'extérieur de la surface.
3. L'écoulement de fluide à haute vitesse vers la surface intérieure, y compris les irrptions à partir de la région extérieure.
4. structures tourbillonnaires de diverses formes.
5. couches Pente près de mur de cisaillement, présentant des concentrations locales de verticité et envergure.

$$\frac{\partial \mu}{\partial x} \quad (I.1)$$

6. poches prêt-mur, visibles dans le laboratoire que les régions balayées de fluide marqué près de la paroi.
7. Les grands mouvements coiffés par des renflements en trois dimensions dans la turbulence extérieur Interface / potentiel.
8. La couche de cisaillement de grande échelle extérieure à la région du mouvement, consistant des discontinuités dans la pente vitesse longitudinale.

Des études indiquent que les structures en épingle à cheveux se composent de deux tourbillons contre-rotatifs par fractions.

Les épingles à cheveux ne possèdent pas exclusivement parfaite symétrie avec le sens de l'envergure, deux jambes vortex tournant en sens inverse de force égale. En effet, l'envergure épingles à cheveux partiales asymétriques ont également été observés, et ont été déclarés par Zhou et al. (1999). Le concept de la couche limite turbulente comme une distribution de tourbillons en épingle à cheveux fournit des explications pour beaucoup observé les caractéristiques de flux, mais il est encore incomplète.

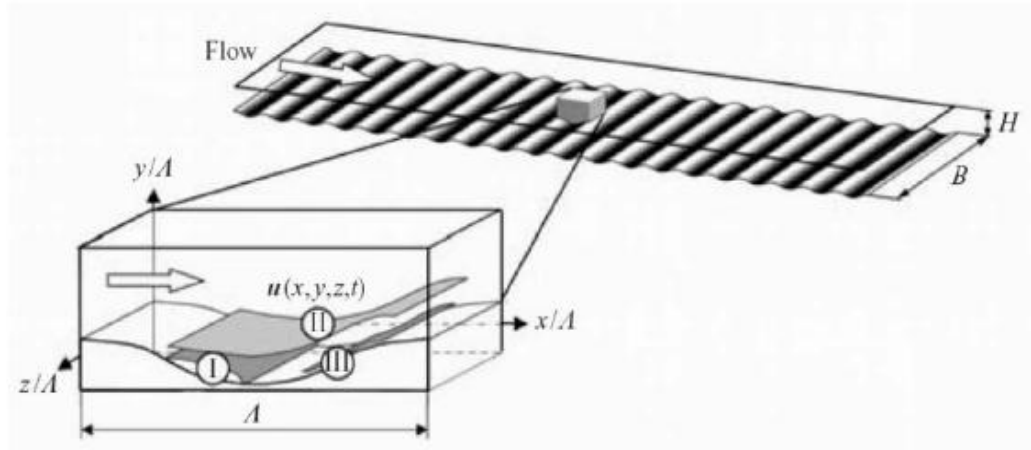


Figure 1.1: système et schématique (I) la zone de séparation de coordonnées, et les régions (II) de et (III) négative maximale positive maximale. Reynolds contrainte de cisaillement pour une situation d'écoulement avec la séparation.

I.3.2. Paroi ondulée :

Dans cette thèse, le flux entre une paroi supérieure plate et un fond ondulé à surface complexe est considérée. Le nombre de Reynolds est calculé en fonction :

$$\text{Re}_h = \frac{U_b \cdot h}{\nu} \quad (\text{I.2})$$

Dont ν désigne la viscosité cinématique, et H est la hauteur de le canal. U_B vitesse apparente est définie comme

$$U_B = \frac{1}{(2h - y_w)} \int_{y_w}^{2h} U(x_\xi, y) dy \quad (\text{I.3})$$

Où X_ξ désigne un emplacement arbitraire et Y_w décrit le profil de la surface complexe.

La figure 1.1 montre le système de coordonnées et illustre schématiquement les régions caractéristiques du champ d'écoulement dans le voisinage de la surface ondulée. La coordonnée x est dirigée parallèlement à l'écoulement moyen, y indique la direction coordonnée verticale, et z est le coordonner l'envergure direction. Les composantes de vitesse correspondant sont désignées en tant que u , v et w . régions caractéristiques d'un flux sur les ondes de la séparation, rapportée par Cherukat et al. [05] (1998), et Henn et Sykes [18] (1999), sont la région de séparation, les régions de maximum positif et négative maximale et contrainte de cisaillement Reynolds :

$$\overline{-\rho u'v'} \quad (I.4)$$

Leur emplacement par rapport à la surface ondulée est en outre esquissé à la figure 1.1.

La géométrie des surfaces ondulées peut être caractérisée par l'amplitude adimensionnelle (2a) -à longueur d'onde (A) Ratio

$$\alpha = \frac{2a}{A} \quad (I.5)$$

Les situations d'écoulement délimitées par des surfaces ondulées complexes présentent des caractéristiques d'écoulement telles que la périodicité du débit moyen partiel de séparation derrière les crêtes des vagues pour assez grandes, et une zone de séparation, parfois appelée la séparation bulle, situé dans la vague

Un résumé des études expérimentales sélectionnées concernant l'écoulement ondulé sur les surfaces indiquées dans le tableau 1.1.

Le tableau 1.2 résume numérique la sélectionné des études portant sur cette situation d'écoulement. Les résultats les plus importants et les ambiguïtés qui en découlent seront brièvement examinés dans le suivant. L'influence de la complexité de la paroi de délimitation sur la rugosité de la paroi, sur les écoulements turbulents et les structures d'écoulement turbulent est encore un domaine actif de la recherche et des enquêtes.

L'influence de l'amplitude de l'onde sur les flux séparés turbulents a partiellement été abordée dans des études antérieures (par exemple Zilker et al. [45] (1977), Zilker et Hanratty [46] (1979)).

Raupach et al. [39] (1991) ont émis l'hypothèse que l'écoulement externe a un caractère universel et est indépendant de l'interaction avec la paroi.

Nakagawa et al. [32] (2003) et Nakagawa et Hanratty [33] (2003) ont trouvé pour l'écoulement sur les ondes sinusoïdales que la turbulence des propriétés dans la partie extérieure d'écoulement sont similaires pour les surfaces planes et rugueuses, lorsque mis à l'échelle avec le frottement et la rapidité. Krogstad et al. [25] (1992), Krogstad et Antonia [26] (1994), ainsi comme Krogstad et Antonia [27] (1999) fait état d'une influence de la rugosité de la paroi prolongeant jusqu'à la région extérieure de la couche limite. Les résultats de ces études ont suggéré que le degré d'interaction entre le mur et la zone extérieure peut ne pas être négligeable. Mais, comme il est indiqué dans un examen par Jim'enez [20] (2004), il a été difficile pour les autres chercheurs à reproduire ces conclusions. Krogstad et al. [25] (1992) ont également constaté que une fois le point de corrélation pour toutes les composantes de la vitesse sont environ deux fois plus courte pour rugueuse que pour les couches limites lisses. Krogstad et Antonia [26] (1994) ont déterminé l'angle d'inclinaison des deux points de corrélation en fonction de la composante de vitesse longitudinale (u) entre les deux emplacements (38° pour la surface rugueuse contre 10° pour la douceur). Comme il est indiqué dans Jim'enez [20] (2004), Nakagawa et Hanratty trouvé aucun changement dans cette quantité.

Ils ont suggéré que cela est dû à l'ambiguïté de l'advection vitesse, résultant de l'utilisation des images de particules (PIV), qui est une procédure purement spatiale. Krogstad et Antonia [27] (1999) indiquent que caractériser l'influence de la rugosité de la paroi en évaluant exclusivement l'effet sur les profils de vitesse moyenne est insuffisante. En comparant des mesures sur deux parois rugueuses avec des mesures d'une bonne couche limite de paroi, ils ont constaté que les caractéristiques de flux turbulent sont significativement affectées par la géométrie de surface.

En outre, nous sommes intéressés par les structures cohérentes formées dans le voisinage de la paroi complexe. Ces structures cohérentes, ou à grande échelle observé dans un écoulement de cisaillement sur une paroi ondulée sont identifiés comme des tourbillons envergures longitudinaux orienté par fractions périodiques. L'influence de la surfaces ondulées sur cette envergure périodicité et leur rôle dans le transport scalaire, le processus est également abordé dans cette thèse. Il existe deux théories décrire ce phénomène de turbulence provoquée

par le profil de la paroi ondulée, à savoir le mécanisme Görtler [15] (1998) et le mécanisme de type Lang mur qui seront examinés brièvement.

Référence	Re_h	A	Configuration	Dimension
Zilker et al. (1977)	7000	0.0125	CF	1D
	6000-32000	0.0312	CF	1D
	7000-32000	0.050	CF	1D
	7000-32000	0.125	CF	1D
	7000-24000	0.200	CF	1D
Thorsness et al. (1978)	5400-30000	0.013	CF	1D
Buckles et al. (1984)	12000	0.200	CF	1D
	12000	0.125	CF	1D
Abrams et Hanratty (1985)	6000-12300	0.014	CF	1D
Frederick et Hanratty (1988)	6400	0.031	CF	1D
	38800	0.050	CF	1D
Kuzan et al. (1989)	48000	0.125	CF	1D
	33000	0.125	CF	1D
	4100	0.200	CF	1D
Hudson et al. (1996)	>3400	0.100	CF	1D
Gong et al. (1996)	3800	0.158	WT	1D
Nakagawa et Hanratty (2001)	46000	0.100	CF	2D
Nakagawa et al. (2003)	46000	0.100	CF	2D
Nakagawa et Hanratty (2003)	3200 ; 11000	0.100	CF	2D
Gunther et Rudolf von Rohr (2003)	500-7300	0.100	CF	2D

Kruse et al. (2003)	4500	0.100	CF	2D
Song et Eaton (2004)	1100-20100	Ramp	WT	2D
Kruse et al. (2006)	11200	0.1 ; 0.2	CF	2D
Poggi et al. (2007)	150000	0.025	CF	2D
Kuhn et al. (2007)	11200	0.1 ; 0.2	CF	2D
Wagner et al. (2007)	2300-11200	0.100	CF	2D

Tableau 1.1: Résumé des études expérimentales sélectionnées concernant l'écoulement sur vagues. Configuration: = flux de canal CF, AVEC = soufflerie. $\alpha = \frac{2a}{A}$

Reference	Re_h	A	Méthode
Cherukat et al. (1998)	3460	0.100	DNS
Henn et Sykes (1999)	6560-20060	0.031-0.2	LES
Niceno et Nobile (2001)	175-200	0.25	CV
Stalio et Nobile (2003)	180	Riblets	DNS
Dellil et al. (2004)	6760	0.0-0.1	DNS/K - ϵ
Tseng et Ferziger (2004)	2400	0.05	LES

Tableau 1.2: Résumé des études numériques sélectionnées concernant l'écoulement sur vagues. Méthode: DNS = simulation numérique directe, LES = grand tourbillon simulation,

$$CV = \text{contrôle approche volume } \alpha = \frac{2a}{A}$$

5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit les différentes études bibliographiques concernant les travaux traitant le phénomène d'effet d'écoulement turbulent dans des canaux à paroi ondulée.