

## 1.1 Analyse théorique

La convection forcée turbulente en conduite est rencontrée dans beaucoup d'applications industrielles comme le refroidissement des réacteurs nucléaires, les chauffe-eau à énergie solaire, les échangeurs de chaleur compacts, thermosiphons, etc. Ces nombreux domaines d'applications justifient la production bibliographique abondante ces dernières décennies. D'autre part, la compréhension des phénomènes physiques inhérents à l'interaction de la convection forcée constitue en soi un objectif très important.

En convection forcée dans les conduites en présence des obstacles ou ailettes, de nombreuses études numériques ont vu le jour depuis les années 1977. La plupart des études numériques comportant des obstructions ont été, le plus souvent, limitées aux cas bidimensionnels. Parmi ces études on peut citer :

A l'aide de la technique de mesure LDA (Laser Doppler anemometry) dans l'écoulement turbulent dans une conduite à plusieurs chicanes, des plaques ont été réalisées par **Berner et al [1, 2]**, dans le but de déterminer le nombre de chicanes nécessaire pour l'obtention d'une condition aux limites périodiques et les dépendances à l'égard du nombre de Reynolds et de la géométrie. Les résultats ont montré que, avec un nombre de Reynolds de  $5,17 \times 10^3$ , quatre chicanes sont nécessaires pour l'obtention d'une condition aux limites périodiques. En augmentant le nombre de Reynolds à  $1,02 \times 10^4$ , une condition à la limite périodique est obtenue avec trois chicanes.

**Patankar et al [3]** ont rapporté le premier travail sur l'analyse numérique de l'écoulement en convection forcée dans un conduit. Ils ont présenté le concept de l'écoulement périodique entièrement développé.

Une analyse numérique de l'écoulement laminaire avec transfert de chaleur entre les plaques parallèles avec des chicanes a été réalisée par **Kellar et Patankar [4]**. Les résultats montrent que l'écoulement est caractérisé par de fortes déformations et de grandes régions de recirculation. En général, le nombre de Nusselt et le coefficient

de frottement (FR) augmentent avec le Nombre de Reynolds. Leurs résultats montrent aussi que les performances thermiques augmentent avec l'augmentation de la taille des chicane et avec la diminution de l'espacement entre les chicane.

**Berner et al [5]** ont montré cela pour un canal avec des chicane, avec un écoulement laminaire à nombre de Reynolds inférieur à 600.

**Webb et Ramadhyani [6]** ont étudié l'écoulement de fluide et le transfert thermique dans un canal à deux plaques parallèles avec des chicane chancelées. Ils ont basé leur modèle numérique sur les conditions périodiques pour l'écoulement entièrement développé proposé par Patankar et al. [3].

Les effets hydrauliques et thermiques en fonction de l'emplacement des chicane normales à l'intérieur d'un canal en 3D, ont été étudiés numériquement par **Lopez et al [7, 8]**. Une analyse de la convection forcée laminaire a été effectuée avec des chicane soumises à un flux uniforme de la chaleur. Par contre les fondations supérieures et les parois latérales sont supposées adiabatiques. Leurs résultats montrent que les effets tridimensionnels sur le facteur de frottement, d'un canal avec l'allongement d'unité et un rapport de blocage de 0.5, ont augmenté avec l'augmentation du nombre de Reynolds  $Re$ .

**Cheng et Huang [9]** ont étudié la convection forcée entre deux plaques planes parallèles munies d'ailettes transversales (chicane transversales) qui ne sont pas symétriquement placées. Leurs résultats ont indiqué que la position relative à des rangées de chicane est un facteur influent sur le champ d'écoulement, particulièrement pour des chicane avec de grandes tailles.

**Cheng et Huang [10]** ont également analysé des écoulements laminaires en convection forcée dans la région d'entrée d'un canal horizontal. Des calculs pour le canal semi-infini dans lequel un ou deux paires de chicane sont symétriquement fixées aux murs respectifs dans la région d'entrée ont été analysés.

**Guo et Anand [11]** ont étudié le transfert thermique tridimensionnel dans un canal avec une chicane simple dans la région d'entrée.

Récemment, **Bazdidi-Tehrani et Naderi-Abadi [12]** ont présenté une analyse numérique du comportement dynamique et thermique d'un fluide s'écoulant dans un conduit muni de rangées de chicanes. Leurs résultats ont montré que les obstacles « de type chicanes » sont quelque peu inefficaces pour de grandes valeurs du rapport de blocage.

**Yang et Hwang [13]** ont effectué un travail intéressant portant sur des chicanes pleines et poreuses dans un canal bidimensionnel pour un régime turbulent d'écoulement. Leurs résultats pour le cas poreux sont meilleurs par rapport au cas pleins.

**Hwang. et al [14]** ont présenté une étude numérique de l'écoulement turbulent dans une conduite contenant un obstacle, en utilisant le modèle  $k-\varepsilon$ . Les résultats numériques prouvent que la prolongation de la région de recyclage en amont de l'obstacle ne dépend pas de sa longueur dans le sens de l'écoulement. La zone de recyclage est fortement influencée par la longueur de l'obstacle, cette zone diminue quand la longueur d'obstacle est augmentée.

Des canaux semblables avec des tiges de perturbations « au lieu des ailettes » ont été numériquement étudiés par **Yuan et Tao [15]** pour une série de nombre de Reynolds de 50 à 700. Les résultats montrent que le nombre de *Nusselt* peut atteindre 4 fois celui obtenu pour un canal à paroi lisse aux mêmes conditions mais avec une chute de pression beaucoup plus grande.

**Tsay et al [16]** ont étudié numériquement le perfectionnement du transfert thermique d'un écoulement dans un canal muni d'une chicane verticale. L'influence de la taille de la chicane et des revêtements en arrière sur la structure d'écoulement, est étudiée en détail pour une gamme de nombre de Reynolds de 100 à 500. Ils ont constaté que l'introduction d'une chicane dans l'écoulement pourrait augmenter le

nombre de *Nusselt* moyen de 190%. Ils ont également observé que les caractéristiques thermiques et dynamiques de l'écoulement sont fonction de la position de la chicane.

***Parmi les études expérimentales :***

Une étude expérimentale sur les caractéristiques de l'écoulement turbulent et le transfert thermique à l'intérieur de la cellule périodique formée entre les chicanes segmentées chancelées dans un conduit rectangulaire a été étudiée par **Habib et al. [17]**. Le flux de chaleur est uniformément appliqué sur les parois inférieure et supérieure. Les résultats expérimentaux ont indiqué que la perte de pression augmente en fonction de la taille de chicane. Pour un débit donné, les paramètres locaux et moyens du transfert thermique augmentent avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

Les travaux de **Founti et Whitelaw [18]** qui ont employé la technique LDA (Laser Doppler anemometry) pour déduire le champ de vitesse dans un échangeur de chaleur à faisceau et calandre avec chicanes transversales. Les distributions semblables de la vitesse moyenne et de l'intensité turbulente de l'écoulement ont été trouvées après que deux ensembles de chicanes de l'entrée de canal.

**Antoniou et Bergeles [19]** ont analysé l'écoulement autour de prismes avec plusieurs rapports de dimensions utilisant la technique du fil chaud. Leur investigation expérimentale a montré qu'avec l'augmentation du rapport  $L/H$ , l'écoulement se réattache autour de la surface du prisme avec une réduction en aval de la longueur de la zone de recirculation et de l'intensité turbulente.

**Li et Kottke [20, 21]** ont mené une série de travaux expérimentaux sur des échangeurs de chaleur à faisceau de tubes et calandre pour analyser le coefficient de transfert (HTC) et le coefficient de la perte de pression côté calandre. Les paramètres de l'étude expérimentale étaient le nombre de Reynolds et la distance entre chicanes. Les résultats ont montré que, pour une valeur constante du nombre de

Reynolds, le coefficient d'échange thermique et le coefficient de frottement augmentent avec l'augmentation de la distance entre chicanes.

Le comportement dynamique et thermique des écoulements turbulents et transitoires dans les conduites en présence d'obstacles et nervures a été également étudié expérimentalement et numériquement par **Acharya et al. [22, 23]**. Le modèle  $k-\epsilon$  est utilisé dans leur simulation numérique.

**Yuan et al. [24]** ont également étudié expérimentalement un cas de conduit avec des ailettes rectangulaires périodiques le long de la direction de l'écoulement principal et un autre cas avec des ailettes en dérivée «**Yuan et al. [25]** ». Ils ont mis en évidence une augmentation du transfert thermique par comparaison à celui obtenu pour un conduit lisse.

Un critère général pour déterminer l'espacement optimum de chicanes pour tous les types d'échangeurs de chaleur à faisceau et calandre a été établi par **Saffar-Awal et Damangir [26]**.

## **1.2. Les principales modélisations de la turbulence**

Les écoulements turbulents peuvent être simulés numériquement en utilisant différents niveaux d'approximation, menant à une description plus ou moins détaillée des phénomènes physiques. Actuellement, il existe trois techniques pour approcher le problème de la turbulence dans le fluide. La première méthode est dite "*modélisation statistique de la turbulence*". La seconde méthode est la simulation directe *{Direct Numerical Simulation, DNS}*. Une autre méthode aussi sophistiquée que la DNS, mais moins onéreuse, est connue sous le nom de "simulation des macro-échelles" *{LES, Large Eddy Simulation}*.

### 1.3. Résumé de la recherche bibliographique

L'étude de la turbulence est une science interdisciplinaire à large domaine d'application. On peut citer à titre d'exemple le comportement de l'aile d'un avion ou d'une aube de turbomachine, la pulvérisation d'un combustible dans une chambre de combustion ou le jet d'un réacteur d'avion ainsi que les différents types de jets aussi bien naturels qu'industriels.

Cette branche de la mécanique des fluides est très complexe et reste méconnue ou du moins par quelques aspects, même après un siècle de recherche, depuis les premiers travaux de **Reynolds [27]**.

Les premières études concernant la convection forcée dans les conduites sont limitées au cas des écoulements développés. Avec le développement de l'informatique et des ordinateurs, l'étude du développement simultané de la couche limite thermique et hydrodynamique a été entamée.

Différents cas de la convection forcée ont été étudié numériquement et expérimentalement en utilisant, le modèle **k-ε** qui est celui qui se trouve le plus exploité dans la littérature et éprouvé pour une grande variété de cas réels avec de bons résultats quand aux caractéristiques moyennes de l'écoulement turbulent. Ce modèle est très répandu de part sa simplicité, sa robustesse et sa facilité de mise en œuvre.

Le modèle **k-ω SST** ou transport des contraintes de cisaillement turbulentes a été développé efficacement par Menter [32], il est dérivé du modèle **k-ω** standard. Ce modèle combine entre la robustesse et la précision de la formulation du modèle **K-ω** dans la région proche de la paroi avec le modèle **k-ε**.

Le modèle **k-ω** est défini par deux équations de transport, une pour l'énergie cinétique turbulente  $K$ , et l'autre pour le taux de dissipation spécifique  $\omega$ .