



**HAL**  
open science

# Etudes hydrauliques de l'influence des géométries des bassins sur l'alimentation des pompes

Abir Issa

► **To cite this version:**

Abir Issa. Etudes hydrauliques de l'influence des géométries des bassins sur l'alimentation des pompes. Sciences de l'ingénieur [physics]. Arts et Métiers ParisTech, 2009. Français. NNT : 2009ENAM0036 . pastel-00005783

**HAL Id: pastel-00005783**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00005783>**

Submitted on 17 Jun 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Ecole doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

# THÈSE

Pour obtenir le grade de

**Docteur**

de

**L'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers**

**Spécialité "Mécanique"**

*Présentée et soutenue publiquement  
par*

**Abir ISSA**

Le 17 Décembre 2009

**ÉTUDES HYDRAULIQUES DE L'INFLUENCE DES GÉOMÉTRIES  
DES BASSINS SUR L'ALIMENTATION DES POMPES**

*Directeur de thèse : Gérard BOIS*

*Co-encadrement de la thèse Annie-Claude BAYEUL-LAINÉ*

Jury :

**Bernard DESMET**, Professeur, UVHC Valenciennes ..... Rapporteur  
**Jean-Louis KUENY**, Professeur, ENSHM Grenoble ..... Rapporteur  
**Patrick DUPONT**, Maître de Conférences- HDR, École Centrale de Lille ..... Examineur  
**Annie-Claude BAYEUL-LAINÉ**, Maître de Conférences, Arts et Métiers Paris Tech ..... Co-directrice de thèse  
**Gérard BOIS**, Professeur, Arts et Métiers ParisTech ..... Directeur de thèse

**Laboratoire de Mécanique de Lille**  
*Arts et Métiers ParisTech, centre de Lille*

# Sommaire

<b>LISTE DES SYMBOLES</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>7</b>
1.1. INTRODUCTION	7
1.2. PROBLEMATIQUE	8
1.3. ORGANISATION DU MEMOIRE DE THESE	8
<b>2. DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES</b>	<b>11</b>
2.1. LES VARIABLES GEOMETRIQUES DU BASSIN D'ASPIRATION	11
2.2. PHENOMENES HYDRAULIQUES DANS LE BASSIN D'ASPIRATION	13
2.3. LES TOURBILLONS	14
2.3.1. LE MECANISME DE FORMATION DES TOURBILLONS	14
2.3.2. LES DIFFERENTS TYPES DE TOURBILLONS	16
2.4. LA GIRATION	17
<b>3. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>19</b>
3.1. GENERALITES	19
3.2. RAPPEL SUR LA SIMILITUDE	20
3.2.1. LA SIMILITUDE GEOMETRIQUE	20
3.2.2. LA SIMILITUDE CINEMATIQUE	20
3.2.3. LA SIMILITUDE DYNAMIQUE	21
3.2.4. L'ANALYSE DIMENSIONNELLE	21
3.2.5. REVUE DE LITTERATURE CONCERNANT L'ANALYSE DIMENSIONNELLE	22
3.2.5.1. Les effets de la gravité : Nombre de Froude	23
3.2.5.2. Les effets de la viscosité : nombre de Reynolds	23

3.2.5.3.	Les effets de la tension superficielle	24
3.2.6.	CONCLUSION SUR LES PARAMETRES	24
<b>3.3.</b>	<b>REVUE DE LITTERATURE CONCERNANT LES ETUDES EXPERIMENTALES EN BASSIN RECTANGULAIRE</b>	<b>25</b>
3.3.1.	ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX	25
3.3.1.1.	Aspects qualitatifs	25
3.3.1.2.	Aspects quantitatifs	28
<b>3.4.</b>	<b>CAS DE BASSIN CIRCULAIRE</b>	<b>32</b>
<b>3.5.</b>	<b>SYNTHESE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX :</b>	<b>33</b>
<b>3.6.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE DES RESULTATS NUMERIQUES</b>	<b>34</b>
3.6.1.	CAS D'UN BASSIN RECTANGULAIRE, TUYAU D'ASPIRATION PERPENDICULAIRE A LA SURFACE LIBRE	35
3.6.2.	CONFIGURATIONS PARTICULIERES	43
3.6.2.1.	Bassin avec mur séparateur	43
3.6.2.2.	Bassin rectangulaire, le tuyau parallèle à la surface libre	45
3.6.3.	SYNTHESE DES RESULTATS NUMERIQUES :	48
<b>4.</b>	<b><u>PARTIE EXPÉRIMENTALE</u></b>	<b>51</b>
<b>4.1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>51</b>
<b>4.2.</b>	<b>OBJECTIFS DE TRAVAIL</b>	<b>52</b>
<b>4.3.</b>	<b>L'INSTALLATION D'ESSAIS</b>	<b>52</b>
<b>4.4.</b>	<b>CONDITIONS EXPERIMENTALES</b>	<b>54</b>
<b>4.5.</b>	<b>LES PARAMETRES ADIMENSIONNELS POUR REALISER LES ESSAIS</b>	<b>54</b>
<b>4.6.</b>	<b>LES PARAMETRES SERVANT A EVALUER LES CONSEQUENCES DE L'ÉCOULEMENT DANS LE BASSIN</b>	<b>55</b>
4.6.1.	LE CRITERE DE GIRATION ( $\theta$ )	56
4.6.2.	LE CRITERE DE LA DISTRIBUTION DE LA PRESSION STATIQUE DE PAROI DANS LE TUYAU	57
<b>4.7.</b>	<b>LES RESULTATS</b>	<b>58</b>
4.7.1.	L'INFLUENCE DES PARAMETRES SUR LE DEGRE DE LA GIRATION	58
4.7.1.1.	Effet de la largeur du bassin b	58
4.7.1.2.	Effet de la longueur l	60
4.7.1.3.	Effet de z	61
4.7.1.4.	Effet de h	62
4.7.1.5.	Conclusion	63
4.7.2.	L'INFLUENCE DE PARAMETRES SUR LA DISTRIBUTION DE LA PRESSION	63

4.7.2.1.	L'influence de b	63
4.7.2.2.	L'influence de l	65
4.7.2.3.	L'influence de z	67
4.7.2.4.	L'influence de h	67
4.7.2.5.	Conclusion	68
4.7.3.	L'INFLUENCE DE PARAMETRES SUR LA FORMATION DE TOURBILLONS	70
4.7.3.1.	Les tourbillons issus de la surface libre	70
4.7.3.2.	Les tourbillons issus du fond du bassin	71
<b>4.8.</b>	<b>LES MEILLEURES CONFIGURATIONS PAR RAPPORT A LA GIRATION</b>	<b>72</b>
<b>4.9.</b>	<b>SYNTHESE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX</b>	<b>72</b>
<b>5.</b>	<b>PARTIE NUMERIQUE</b>	<b>75</b>
<b>5.1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>75</b>
<b>5.2.</b>	<b>PRESENTATION DU CODE DU CALCUL</b>	<b>76</b>
<b>5.3.</b>	<b>LES TYPES DE MAILLAGE</b>	<b>76</b>
5.3.1.	MAILLAGE DU CAS PRINCIPAL	76
5.3.2.	CREATION DU MAILLAGE	77
<b>5.4.</b>	<b>CONDITIONS AUX LIMITES</b>	<b>80</b>
5.4.1.	CHOIX DES CONDITIONS	80
5.4.1.1.	Les résultats pour les conditions de pression sur la surface libre	80
5.4.1.2.	La condition de symétrie sur la surface libre	81
5.4.1.3.	Les résultats pour les conditions de symétrie sur la surface libre	81
<b>5.5.</b>	<b>INFLUENCE DE LA DENSITE DE MAILLAGE</b>	<b>82</b>
<b>5.6.</b>	<b>LA CONVERGENCE</b>	<b>83</b>
<b>5.7.</b>	<b>PRESENTATION DES RESULTATS ISSUS DE LA MODELISATION</b>	<b>84</b>
5.7.1.	INTRODUCTION	84
5.7.2.	L'INFLUENCE DE Z	85
5.7.2.1.	Vorticité	87
5.7.2.2.	Vitesses axiales et tangentielles	89
5.7.3.	L'INFLUENCE DE LA HAUTEUR H	96
5.7.3.1.	Lignes de courant	96
5.7.3.2.	Vorticité	96

5.7.3.3. Vitesses axiales	98
5.7.4. L'INFLUENCE D'AUTRES PARAMETRES	100
5.7.4.1. Influence de l'épaisseur de couche limite aux parois	100
5.7.4.2. Influence de la largeur du bassin	108
5.7.4.3. Influence de la position de tuyau par rapport aux murs latéraux	118
5.7.4.4. Influence d'une dissymétrie de l'écoulement amont	121
<b>5.8. EVOLUTIONS DES PRESSIONS STATIQUES</b>	<b>124</b>
<b>5.9. TEST COMPLEMENTAIRE</b>	<b>126</b>
<b><u>6. CONCLUSIONS</u></b>	<b><u>130</u></b>
<b><u>LISTE DES RÉFÉRENCES</u></b>	<b><u>133</u></b>
<b><u>ANNEXE A : CREATION DU MAILLAGE</u></b>	<b><u>139</u></b>
<b><u>ANNEXE B : CONTOURS DE VORTICITÉ ET DE VITESSE TANGENTIELLE</u></b>	<b><u>145</u></b>
<b><u>ANNEXE C : CONTOURS DE PRESSION</u></b>	<b><u>161</u></b>

# ***LISTE DES SYMBOLES***

- A : aire du tuyau d'aspiration [ $m^2$ ]
- b : largeur du bassin[m]
- d : diamètre du tuyau d'aspiration[m]
- D : diamètre du pavillon à l'entrée du tuyau[m].
- e : distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et l'amont du bassin[m].
- $Eu_m$  : nombre d'Eluer pour la maquette
- $Eu_p$  : nombre d'Eluer pour le prototype.
- Fr : nombre de Froude
- $Fr_m$  : nombre de Froude pour la maquette
- $Fr_p$  : nombre de Froude pour le prototype
- g : accélération de la gravité [ $m/s^2$ ]
- h : hauteur d'immersion du tuyau d'aspiration dans le bassin[m].
- H : hauteur d'eau dans le bassin[m]
- k : Energie cinétique turbulente [ $m^2 / s^2$ ]
- l : la distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et la paroi arrière du bassin[m].
- n : le nombre de rotation du rota-mètre.
- N : le nombre des tubes sur la périphérie du tuyau
- P : pression statique [Pa]
- $\bar{p}$  : Pression moyenne dans les tubes sur la périphérie du tuyau
- Q : débit volumique [ $m^3 / s$ ]
- Re : nombre de Reynolds

$Re_m$  : nombre de Reynolds pour la maquette

$Re_p$  : nombre de Reynolds pour le prototype

$U$  : vitesse moyenne dans le bassin [m/s]

$V$  : vitesse moyenne dans le tuyau [m/s]

$V_\theta$  : vitesse tangentielle dans le tuyau [m/s]

$V_{ax}$  : vitesse axiale dans le tuyau [m/s]

### **Symboles grecs**

$\alpha$  : angle qui présente la déformation à l'amont du bassin sur le plan horizontal.(selon le contexte)

$\Delta$  : écart quadratique

$\varepsilon$  : dissipation turbulente [ $m^2/s^3$ ]

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

$n$  : le nombre de rotation du rota-mètre.

$N$  : le nombre des tubes sur la périphérie du tuyau

$\nu$  : viscosité cinématique du fluide [ $m^2/s$ ]

$\rho$  : masse volumique [ $kg/m^3$ ]

$\sigma$  : tension superficielle

$\sigma_n$  : Variance

$\theta$  : angle entre la vitesse moyenne selon l'axe du tuyau et la vitesse tangentielle.

(Selon le contexte)

$\theta$  : angle qui présente la déformation à l'amont du bassin sur le plan horizontal.

(Selon le contexte)

# ***1. INTRODUCTION GÉNÉRALE***

## ***1.1. Introduction***

De nombreuses études portent sur le fonctionnement général des pompes. Pour cela différentes techniques expérimentales et numériques ont été et continuent d'être mises en œuvre pour mieux connaître les caractéristiques des écoulements à l'intérieur des différents organes qui constituent une pompe. Ces études prennent en compte principalement des écoulements dont les conditions initiales sont uniformes et stationnaires en amont de la pompe. Par contre, peu d'études sont consacrées aux conditions d'alimentation hétérogènes, en particulier celles qui apparaissent dans les bassins d'alimentation placés en amont de la tubulure d'aspiration, qu'elles soient imposées ou provoquées.

La tendance actuelle de diminution des coûts d'installation, de respect de l'environnement et de pouvoir disposer de matériels de plus faible encombrement conduit les utilisateurs de stations de pompage ou d'adduction d'eau à des fins domestiques, d'irrigation, ou pour des besoins industriels et d'hydroélectricité, à utiliser des bassins de captation au moyen d'une prise d'aspiration dont les caractéristiques peuvent jouer un rôle très important sur l'efficacité et la fiabilité de ces stations.

La performance des pompes peut directement dépendre de la forme et de la qualité de l'écoulement arrivant du bassin d'aspiration. Pour un fonctionnement idéal, on suppose généralement que l'alimentation doit être axisymétrique, uniforme et sans giration pour une tuyauterie d'aspiration droite, elle-même supposée géométriquement axisymétrique. Ces conditions idéales supposées être à "l'infini amont " ne sont plus valables lorsqu'on s'intéresse aux bassins d'alimentation à surface libre, pour lesquels, pour des raisons de coûts, et/ou d'encombrement, on est amené à choisir des configurations géométriques particulières qui s'écartent des conditions considérées comme idéales.

On peut aisément comprendre que le fait de déplacer l'entrée du tuyau d'aspiration près de la surface libre peut diminuer les coûts d'installation et de constructions et rendre plus accessible les opérations de maintenance. Cependant, une telle position va créer des conditions propices à générer des tourbillons qui peuvent réduire l'efficacité de la pompe et éventuellement créer des vibrations et de l'entraînement d'air et/ou de la cavitation. Il est admis que 1% d'air par volume aspiré dans la pompe va réduire la capacité d'aspiration de celle-ci d'environ 15%, ce qui est inacceptable économiquement à long terme pour un tel projet.

## **1.2. Problématique**

Depuis quelques dizaines d'années, les travaux expérimentaux et numériques se sont multipliés, comme l'illustre la bibliographie présentée au chapitre (3), pour évaluer l'influence relative de certains paramètres géométriques sur les phénomènes évoqués précédemment. Cependant, aucun ne cherche réellement à déterminer, par exemple, les paramètres conduisant à minimiser les dégradations des performances de la pompe ou de cerner les configurations qui entraînent la détérioration des performances. Il arrive même que les recommandations avancées par certains auteurs vont dans le sens inverse de celles préconisées par d'autres.

L'objectif de mon travail est de conduire des analyses permettant de comprendre et d'analyser les structures d'écoulements qui se forment dans les bassins d'aspiration en s'appuyant sur deux approches :

- Une première partie expérimentale, faite pendant le Master en laboratoire d'hydraulique à l'université de Damas en Syrie
- Une deuxième numérique, réalisée en préparant ce mémoire de thèse au Laboratoire de Mécanique de Lille. Cette partie porte essentiellement à vérifier la capacité des modélisations numériques actuelles à capter les phénomènes majeurs qui entrent en jeu dans ces bassins d'alimentation.

## **1.3. Organisation du mémoire de thèse**

Après la partie introductive du chapitre 1, nous mettons en évidence dans le deuxième chapitre les paramètres géométriques et cinématiques qui entrent en jeu dans les études des écoulements dans les bassins d'aspiration. Cette partie s'appuie sur une analyse bibliographique destinée à compléter la description qualitative des phénomènes.

Le troisième chapitre est dédié à une deuxième phase de l'analyse bibliographique qui s'attache plus aux aspects quantitatifs tant dans le domaine expérimental que numérique sur l'influence de ces paramètres.

Le quatrième chapitre est consacré aux résultats expérimentaux que nous avons réalisés sur une maquette de bassin. Les différentes configurations et les moyens d'essais y sont présentés. Un point important doit être mis en avant : les essais ont été effectués un an avant mon séjour en France et sans pouvoir disposer d'analyses numériques. Ce point sera évoqué dans le chapitre (5) consacré aux comparaisons expériences et calculs.

Le cinquième chapitre s'attache à présenter les résultats des codes de calculs FLUENT, pour une simulation de tridimensionnelle, permettant de déterminer l'influence des paramètres géométriques du bassin, compte tenu du maillage, des conditions aux limites et des modèles de turbulence retenus. Le dernier chapitre (6), fait l'objet de nos conclusions et perspectives.



## **2. DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES**

Le bassin d'aspiration est un réservoir qui se trouve en général, au point le plus bas du système de pompage. Il sert à stocker temporairement l'eau arrivant d'une rivière, d'un lac, ou d'un canal, pour ensuite la guider ou lui permettre d'être aspirée par la conduite ou tuyau d'aspiration de la pompe.

Déterminer les dimensions d'un bassin est, très souvent, un compromis entre les contraintes de construction (encombrement, techniques de fabrication) et les impératifs hydrauliques nécessaires pour ne pas dégrader les performances de la pompe.

Idéalement, la fonction d'un bassin est de diriger l'écoulement vers la tuyauterie d'admission de la pompe, dans les conditions d'écoulement suivantes :

- Sans giration ou pré rotation du fluide dans le tuyau d'aspiration.
- Sans tourbillon.
- Avec le minimum de pertes de charge.
- Sans déclencher de phénomènes d'entraînement d'air ou de cavitation.

### **2.1. Les variables géométriques du bassin d'aspiration**

D'un point de vue économique, la forme la plus courante du bassin est rectangulaire avec une surface libre, et un tuyau d'aspiration situé verticalement ou horizontalement en aval du bassin, (figures 2.1 et 2.2) et, si possible, au milieu des deux parois latérales.

On peut remarquer que cette disposition, qui présente un plan de symétrie, reste une configuration que l'on peut qualifier d'idéale pour un bassin rectangulaire. La réalité des dispositifs sur le terrain ne peut être aussi parfaite géométriquement parlant, compte tenu des contraintes précitées. Cependant, c'est à partir de cette configuration dite de base que nous allons effectuer une grande partie de nos analyses expérimentales et numériques dans un premier temps. Pour tous les cas étudiés, le tuyau est positionné perpendiculairement et au dessus de la surface libre.

A partir des éléments des figures 2.1, on peut considérer que les paramètres géométriques, qui figurent dans la liste ci après, peuvent jouer un rôle plus ou moins important sur la structure des écoulements dans le bassin.

- ⇒  $b$  : la largeur du bassin.
- ⇒  $l$  : la distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et la paroi arrière.
- ⇒  $e$  : la distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et l'amont du bassin.
- ⇒  $h$  : la hauteur immergée du tuyau.
- ⇒  $z$  : la distance entre le fond du bassin et le pavillon d'aspiration.

On ne parle pas ici de l'influence de la géométrie de la tubulure d'aspiration (pavillon) ou des modifications de la section de la tubulure an aval du pavillon.

Il est également évident que ces paramètres géométriques interagissent entre eux et qu'une analyse portant sur des grandeurs sans dimension est nécessaire pour ne pas multiplier des études de cas inutiles. Ces aspects sont évoqués au chapitre 3

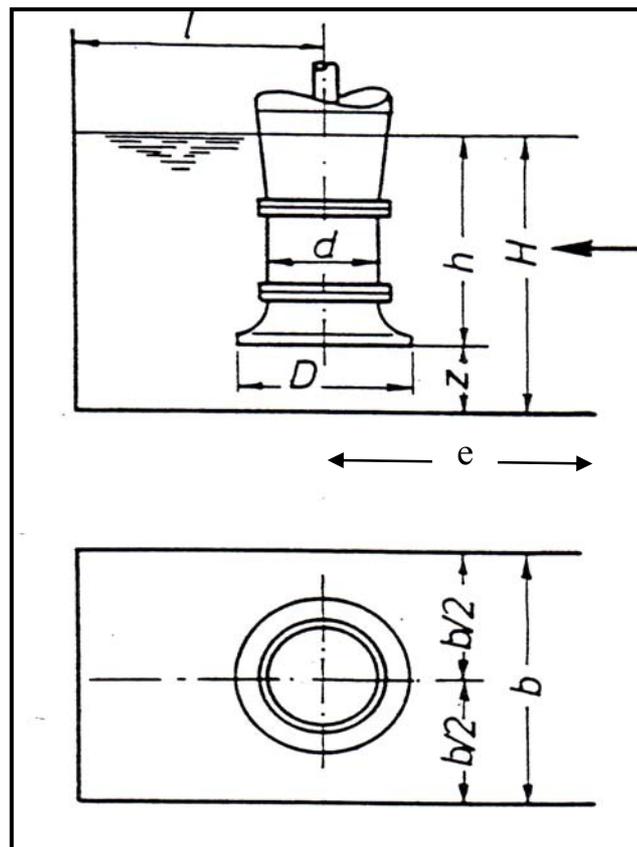


Fig. 2. 1. Tuyau situé verticalement dans le bassin avec les paramètres géométriques

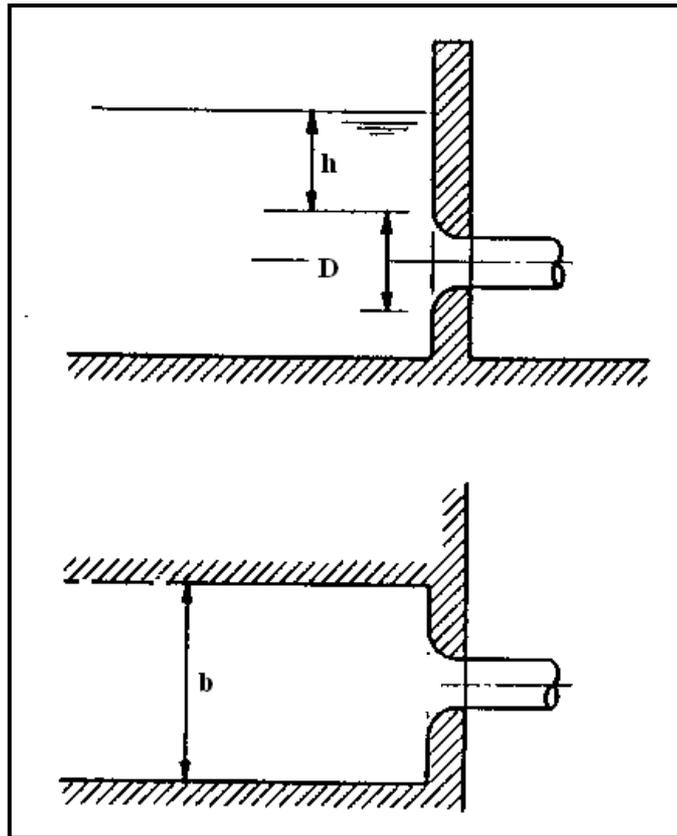


Fig. 2.2. Tuyau situé horizontalement dans le bassin

## **2.2. Phénomènes hydrauliques dans le bassin d'aspiration**

D'après l'étude de Tsou et al (1994), il existe des phénomènes qui peuvent être jugés indésirables dans certains bassins du fait de leur configuration géométrique. Ces phénomènes peuvent réduire l'efficacité de la pompe, et éventuellement créer des vibrations, de la cavitation et faire augmenter le coût sur le plan opérationnel, et sur la maintenance.

De façon générale, Tullis (1979) a mis en évidence l'existence possible des phénomènes suivants :

- Des tourbillons issus de la surface libre se développent jusqu'à l'entrée de la pompe, parfois en aspirant de l'air. Cela cause une charge déséquilibrée sur les aubages de la pompe, et par conséquent une vibration périodique. Par ailleurs, dans le cas d'une forte chute de la pression locale, la cavitation peut apparaître. Avec certaines précautions, les tourbillons, issus de la surface libre, entrent dans le tuyau sans entraînement d'air.

- Des tourbillons issus du fond, et/ou des parois arrière, et/ou latérales. La position et l'intensité de ces tourbillons dépendent fortement des distances entre les parois et/ou le fond du bassin et le tuyau d'aspiration. Les conditions cinématiques locales ont, bien entendu, leur importance.
- Un écoulement avec une pré-rotation pouvant affecter l'angle d'entrée de la pompe voire déclencher des phénomènes de cavitation et donc d'instabilités.
- Séparation de l'écoulement dès l'entrée du tuyau d'aspiration

## **2.3. Les tourbillons**

### **2.3.1. Le mécanisme de formation des tourbillons**

D'après Sweeney (1982), les causes qui provoquent des tourbillons sont

- Une distribution irrégulière de l'écoulement dans le bassin qui provoque une circulation autour et à l'entrée du tuyau d'aspiration.
- Une vorticité générée par l'écoulement qui traverse les éléments structurels dans le bassin.
- Une vorticité générée par la couche limite près des parois latérales et celle du fond.
- Une vorticité générée par la présence de la tuyauterie d'aspiration placée transversalement au flux.
- Une turbulence hétérogène préexistante dans l'écoulement amont.

Auckland (2008), confirme que ce qui prédomine dans la présence de ces tourbillons c'est la distribution non-uniforme de la vitesse, qui peut générer les tourbillons suivant trois types de mécanisme (Durgin et HeCker) (1978) :

- Changement de direction de l'écoulement entrant dans le bassin lié à la position perpendiculaire du tuyau d'alimentation de la pompe par rapport à l'entrée du réservoir, comme illustré dans la figure 2.3.
- profil de vitesse non uniforme découlant des effets de viscosité aux parois du bassin et du tuyau même, (fig.2.4)
- Circulation engendrée par des structures implantées dans le bassin comme les murs de soutien : c'est la circulation individuelle de chacune des circulations présentes dans l'écoulement qui concourt à la création d'un mouvement global de rotation du fluide.

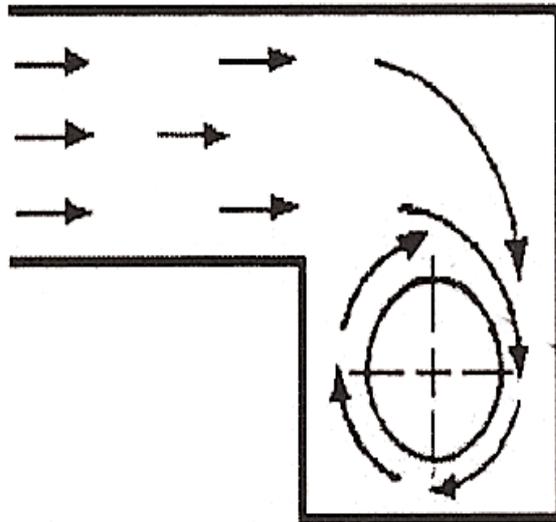


Fig.2.3 : changement de direction de l'écoulement entrant dans le bassin

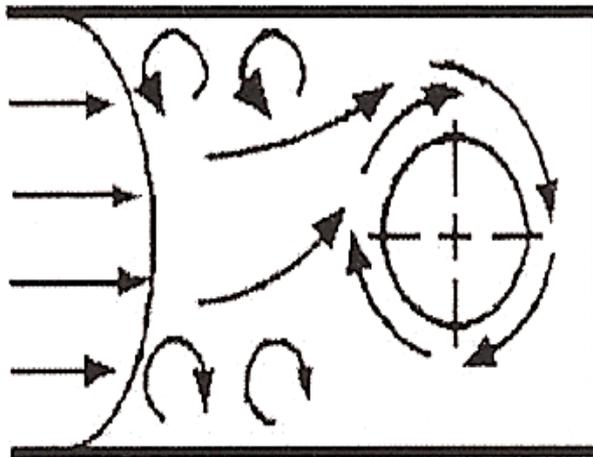


Fig.2.4 : profil de vitesse non uniforme

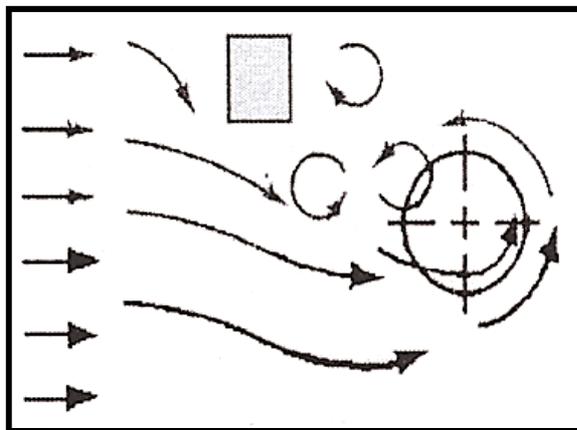


Fig.2.5: tourbillons engendrée par des structures dans le bassin

### 2.3.2. Les différents types de tourbillons

On observe effectivement expérimentalement et majoritairement deux sortes de tourbillons pouvant apparaître dans un bassin ; les tourbillons issus de la surface libre, et les tourbillons issus de toutes les parois du bassin (les murs latérales, le fond du bassin, et la paroi arrière).

On peut classer les tourbillons issus de la surface libre par leurs intensités comme le propose Hecker (1984) d'après Alden Research Laboratory, (fig2.6):

1. Mouvement giratoire lent sur la surface libre, de faible intensité restant en surface
2. Structure tourbillonnaire mineure qui n'affecta pas les conditions au niveau de l'entrée du tuyau d'aspiration.
3. Filament tourbillonnaire apparaissant à la surface libre et s'étirant jusqu'à l'entrée du tuyau d'aspiration, sans toutefois occasionner un entrainement d'air.
4. Tourbillon intense, en forme d'entonnoir, qui peut aspirer des matériaux et des corps flottants dans le bassin.
5. Un tourbillon en forme d'entonnoir aspirant des bulles d'air de façon intermittente et qui sont transportées jusqu'à l'entrée de la pompe.
6. Un tourbillon intense, aspirant de l'air de façon continue depuis la surface libre jusque l'entrée du tuyau d'aspiration, qui peut affecter, voire détruire les performances de la pompe.

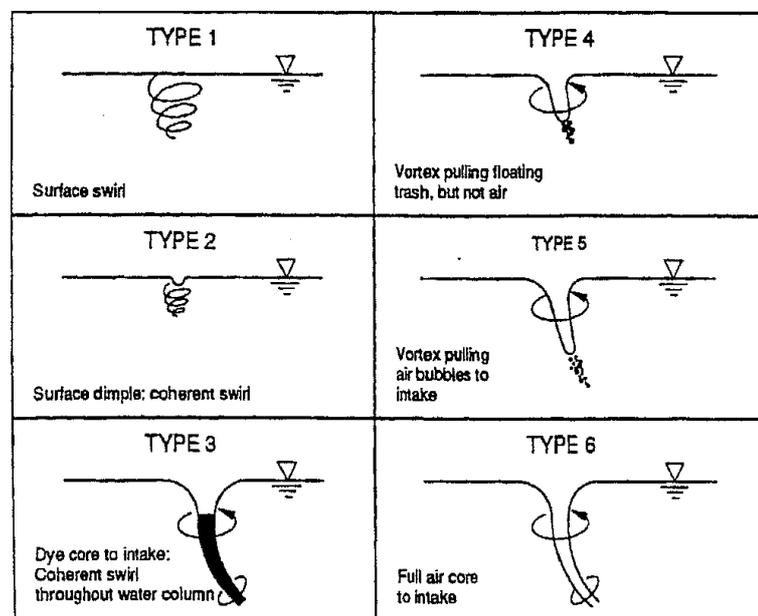


Fig.2.6 : classification des tourbillons issus de la surface libre proposée par Alden Research Laboratory (1984)

Si les deux premiers types peuvent être tolérés, les autres, à des degrés divers, constituent potentiellement des cas à éviter.

F. Suerich-Gulick et al (2006) sont en accord avec l'analyse de Quick (1962) pour mettre en avant la forte influence des tourbillons générés par les couches limites de parois sur la formation des tourbillons de la surface libre. L'intensité des tourbillons de surface libre, même dans le cas où ils aspirent de l'air, dépend essentiellement de la position du tuyau dans le bassin et de la hauteur d'immersion du tuyau, et, bien évidemment de la vitesse dans ce tuyau.

Par ailleurs, les couches limites qui se développent le long du fond du réservoir vont créer des tourbillons eux-mêmes issus du fond. Ces tourbillons ont été aussi classés selon leurs intensités. Les moins intenses sont des tourbillons qui ont la forme d'un petit filet situés juste en dessous de l'entrée du tuyau. Ces tourbillons sont généralement instables en espace et en temps et peuvent changer de sens de rotation. D'autres, plus intenses, sont des tourbillons avec un cœur d'air (appelés « tourbillons aérées »), issus du fond du réservoir qui s'allongent jusqu'à l'entrée du tuyau tout en étant stables en rotation et en position.

Étant donné que la vorticité s'exprime par des dérivées spatiales de la vitesse, (relations ci-après), on voit qu'un des

$$\zeta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \qquad \zeta_y = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \qquad \zeta_x = \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y}$$

Mécanisme important d'amplification du tourbillon est l'étirement dans le sens de sa longueur (suivant l'axe de rotation) : il tournera d'autant plus vite en diminuant son diamètre pour conserver son moment cinétique.

## **2.4. La giration**

La giration présente le cas où la vitesse dans le tuyau présente une composante tangentielle. Si  $(\theta)$ , représente l'angle entre la composante tangentielle de la vitesse et la vitesse débitante, il est admis que celui-ci ne doit pas dépasser une valeur absolue de  $5^\circ$ . En effet, une trop forte pré-rotation ou contre-rotation peut avoir des conséquences sur le fonctionnement de la pompe située en aval.



## **3. BIBLIOGRAPHIE**

### **3.1. Généralités**

Les études expérimentales ont commencé dès 1957 pour ce genre de configuration.

Ce n'est que plus tard, et au fur et à mesure que les techniques numériques évoluaient, que des études plus complètes faisant intervenir les aspects expérimentaux et numériques sont apparues. La première d'entre elle date de 1985. Il subsiste malgré tout très souvent des études expérimentales et numériques séparées.

Pour des raisons d'encombrement, une étude par similitude a été réalisée. Les études expérimentales sont souvent réalisées sur une maquette réduite du bassin sous certaines conditions, afin de comprendre et caractériser le plus correctement complètement possible les écoulements dans les bassins. Ces études ont pris de l'importance lorsque les ingénieurs et les industriels ont mis en évidence certains types de problèmes pendant les opérations de pompage conduisant à la réduction de l'efficacité de la pompe.

Au début, faute de moyens sophistiqués permettant de quantifier chaque phénomène, on a fait appel à des observations visuelles des tourbillons en injectant, par exemple, une solution de permanganate de potassium qui permet de visualiser la trajectoire suivie par le tourbillon.

Pour quantifier les conséquences sur l'alimentation de la pompe, consiste à utiliser un rotamètre qui permet de déceler si la vitesse dans le tuyau possède une composante tangentielle. Nous avons d'ailleurs utilisé cette méthode dans nos essais, elle sera détaillée dans le chapitre suivant.

Plus récemment, le grand développement des méthodes optiques de visualisation comme la LDV (Laser Doppler velocimeter) et la PIV (particle image velocimetry), permettent de mieux évaluer l'intensité et le suivi des tourbillons, et de mesurer les composantes des vitesses.

Avec le développement croissant de la capacité des ordinateurs, les études numériques présentent de plus en plus d'avantages, notamment, leur capacité de multiplier les cas d'études et de modéliser les écoulements tridimensionnels

D'autre part, pour optimiser les essais de ce genre, dits « essais sur maquette », il faut d'abord savoir quels sont les paramètres qui caractérisent le phénomène étudié et comment ils interviennent. C'est pourquoi on utilise l'analyse dimensionnelle, qui permet d'accéder plus

facilement à la mise en forme de relations semi-empiriques permettant de modéliser le phénomène étudié.

Il faut ensuite que la géométrie de la maquette obéisse à des conditions strictes ; ces conditions liant l'étude sur la maquette et sa transposition au prototype, sont imposées par la théorie de la similitude.

## **3.2. Rappel sur la similitude**

### **3.2.1. La similitude géométrique**

Soient deux écoulements l'un correspondant au prototype p, et l'autre à la maquette m. la maquette est géométriquement semblable au prototype si les coordonnées de deux points homologues ont les mêmes valeurs réduites :

$$X_{im}/D_m = X_{ip}/D_p$$

$$X_{im} = (D_{im}/D_{ip})X_{ip}$$

$$X_{im} = k_d X_{ip}$$

$k_d$  est appelé échelle géométrique, si  $k_d$  est constante, tous les points d'un système ont leurs homologues dans l'autre système. La similitude est respectée. Notons que cette similitude conserve les angles dans le passage de la maquette au prototype.

### **3.2.2. La similitude cinématique**

De même, les écoulements sont semblables, si en deux points homologues les vitesses réduites sont identiques :

$$U_{im}/V_m = U_{ip}/V_p$$

$$U_{im} = (V_m/V_p)U_{ip}$$

$$U_{im} = k_v U_{ip}$$

$k_v$  est l'échelle de cinématique. Si  $k_v$  est constante, la similitude cinématique est respectée. Les temps réduits doivent également être identiques, ce qui impose :

$$\frac{t_m}{D_m/V_m} = \frac{t_p}{D_p/V_p}$$

$$t_m = \frac{D_m}{D_p} \frac{V_m}{V_p} t_p \qquad t_m = K_t t_p$$

$K_t$  est l'échelle du temps qui doit être constante pour que la similitude temporelle soit respectée. La relation entre l'échelle des temps et les échelles cinématiques est dites condition cinématique de la similitude.

### 3.2.3. La similitude dynamique

Les forces correspondantes s'exerçant sur la maquette et le prototype sont équivalents. La similitude dynamique est achevée si le rapport des forces aux homologues sur la maquette et le prototype est identique à un facteur d'échelle constant. Si deux systèmes sont géométriquement et dynamiquement semblables, ils sont aussi cinématiquement semblables. Alors il faut étudier précisément quelles sont les forces et les paramètres qui influence l'écoulement dans le bassin d'aspiration, afin de réaliser la similitude dynamique.

Il n'est toutefois pas évident que tous les paramètres de similitude soient respectés. On dit alors qu'on a affaire à une similitude réduite.

### 3.2.4. L'analyse dimensionnelle

L'analyse dimensionnelle est basée sur un principe simple de physique : la formulation d'un phénomène physique doit être dimensionnellement homogène, c'est-à-dire que son expression en fonction des paramètres dont il dépend doit être indépendante du système d'unités choisies et les dimensions attachées à chaque monôme de l'expression doivent être analogues à la dimension du phénomène. Les dimensions étant respectées, toute expression représentant un phénomène physique peut être mise sous une forme adimensionnelle. Cette mise en forme adimensionnelle fait appel au théorème de Vaschy-Buckingham encore appelé théorème des  $\Pi$ .

Dans notre cas, les nombres adimensionnels trouvés par ce théorème et caractérisant l'écoulement sont :

$$\Rightarrow \text{le nombre de Reynolds : } Re = \frac{V \cdot \rho \cdot L}{\mu}$$

$$\Rightarrow \text{le nombre de Froude : } Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$\Rightarrow \text{le nombre d'Euler : } Eu = \frac{\Delta p}{V^2 \cdot \rho}$$

$$\Rightarrow \text{le nombre de Weber : } We = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$$

Alors, afin de respecter la similitude cinématique et dynamique il faut que :

$$Re_p = Re_m, Fr_p = Fr_m, Eu_p = Eu_m, \text{ et } We_p = We_m.$$

Il est très difficile de respecter tout ces nombres en même temps ; c'est pourquoi on a besoin de déterminer quelles sont les forces les plus prépondérantes sur l'écoulement dans le bassin, afin de négliger celles qui ont les moins d'influence.

Dans le premier chapitre on a montré qu'il se trouve un accord entre certains chercheurs que le mouvement dans le bassin est soumis à la force de la gravité et l'inertie, c'est-à-dire le nombre de Froude,  $Fr = V / \sqrt{g \cdot D}$ , cependant, il suffit que les nombres de Reynolds et Weber atteignent certaines valeurs pour que leur influence soit négligeable.

### 3.2.5. Revue de littérature concernant l'analyse dimensionnelle

Compte tenu des paramètres déterminants qui peuvent conditionner les écoulements dans les bassins on peut écrire la relation suivante :

$$F(z, h, d \text{ ou } D, Q, \rho, \nu, g, \sigma) = 0$$

Cette relation devient, si on fait intervenir comme variable de base  $d, Q$  et  $\rho$  :

$$F(z/d, h/d, D/d, Q/h \nu, Q^2 h \rho / d^4 \sigma, Q / d^2 (gz)^{0.5})$$

Par conséquent :

$$h/d = f(V \cdot d/V, V / (gd)^{0.5}, \rho V^2 d / \sigma)$$

Le choix de  $d$  comme paramètre de base est justifié parce que c'est la grandeur caractéristique de l'aspiration. D'autres références utilisent également la grandeur  $D$ , le diamètre du pavillon du tuyau d'aspiration. Ainsi,  $d$  ou  $D$  représente la dimension clé du montage expérimental, alors que  $Q$  et  $\rho$  décrivent la dynamique du système et la nature du fluide utilisé respectivement.

Dans cette relation,  $Vd/\nu$  est le nombre de Reynolds qui représente le rapport entre force de viscosité et force d'inertie,  $V / (gd)^{0.5}$  est le nombre de Froude qui représente le rapport entre force de gravité et force d'inertie,  $\rho V^2 d / \sigma$  est le nombre de Weber qui représente le rapport

entre force de tension superficielle et force d'inertie, où  $h$  est la hauteur de liquide au dessus de l'entrée du tuyau,  $d$  est le diamètre du tuyau d'aspiration,  $Q$  est le débit dans le système,  $\nu$  est la viscosité cinématique,  $g$  est l'accélération terrestre  $\rho$  et  $\sigma$  désignent respectivement la masse volumique du liquide et la tension superficielle.

Pour les bassins d'aspiration, où l'écoulement est soumis aux forces de la gravité et d'inertie, l'influence du nombre de Froude doit être analysée ainsi que celle du nombre de Reynolds, si on choisit d'écarter les effets d'entraînement d'air.

### **3.2.5.1. Les effets de la gravité : Nombre de Froude**

Le nombre de Froude est représentatif des célérités des ondes se déplaçant sur une surface libre pour un fluide au repos. Selon les auteurs, les paramètres utilisés pour construire ce nombre diffèrent.

Certains [(1977), (1984), (1994)] préconisent que le nombre de Froude soit calculé comme :

$$(Fr = V / (gd)^{0.5})$$

Où  $V$  est la vitesse dans le tuyau,  $d$  le diamètre du tuyau.

D'autres [Hecker(1984), Farrell(1984), Simpson (1990)], le construisent de la façon suivante :

$$(Fr = U/d^2 (gh)^{0.5})$$

Où  $U$  la vitesse moyenne dans le bassin,  $h$  est l'hauteur d'immersion du tuyau.

Pour T. Kougnma et R. Kahawita (1983) ont mis en évidence le rôle joué par les forces gravitaires ( $Fr = Q/d^2 (gh)^{0.5}$ ) dans le processus de formation des tourbillons. Les données obtenues par leurs résultats expérimentaux révèlent qu'une augmentation du nombre de Froude amplifie le tourbillon qui passe d'un régime de faible à forte intensité. Cependant, ces auteurs constatent qu'il n'est pas facile de déterminer un nombre de Froude en deçà duquel le système serait exempt de mouvements tourbillonnaires de par le caractère souvent instable des phénomènes rencontrés.

L'important est alors de vérifier si les valeurs limites correspondent entre elles afin de satisfaire les critères de similitude réduite.

### **3.2.5.2. Les effets de la viscosité : nombre de Reynolds**

Pour Daggett et Keulegan (1972) le nombre de Reynolds dans le tuyau ( $Re = VD / \nu$ ) doit être supérieur à  $3.10^4$  afin de négliger l'effet de la viscosité. Anwar (1978) a dit que c'est le nombre de Reynolds ( $Q / S \nu$ ) basé sur la hauteur du tuyau immergé qui doit être supérieur ou

égal à  $3 \cdot 10^4$ . Prosser(1977) a déterminé que  $Re$  ( $Re=VD/\nu$ ) doit être supérieur ou égal à  $2 \cdot 10^4$  pour négliger l'effet de la viscosité.

Pour Koungma. T et Kahawita. R (1983) il faut que le nombre de Reynolds ( $Q/h \nu$ ) soit supérieur à  $28 \cdot 10^3$  afin de négliger l'effet de la viscosité,

Pourtant, ils ont dit qu'afin d'arriver de négliger l'effet de la viscosité il faut que deux nombre de Reynolds respectent les valeurs suivant :  $Re_d = Vd/\nu = 7,7 \cdot 10^4$ ,  $Re_h = Q/h\nu = 1,5 \cdot 10^4$ , ou  $Re_d$  le nombre de Reynolds dans le tuyau,  $Re_h$  le nombre de Reynolds dans le bassin par rapport à l'hauteur de l'immersion.

Si, par contre, on s'intéresse au problème de tourbillon aérés, une analyse complémentaire prennent en compte la tension superficielle doit être faite

### **3.2.5.3. Les effets de la tension superficielle**

Jain et al (1978) ont ajouté que pour négliger la force de la tension superficielle, il faut que le nombre de Weber soit supérieur à 120.

Pour T. Koungma et R. Kahawita (1983) il faut que le nombre de Weber ( $Q^2 h \rho / d^4 \sigma$ ) soit supérieur à  $8 \cdot 210^4$  afin de négliger l'effet de la tension superficielle.

Padamanabhan (1984) et al ont montré que 1, pour négliger l'effet de la tension superficielle il faut que le nombre de Weber respecte la valeur  $We = \rho V^2 d / \sigma > 600$ .

### **3.2.6. Conclusion sur les paramètres**

Quick a affirmé que la simulation de tourbillons issus de la surface libre est basée sur le nombre de Froude,  $Fr = V / (gD)^{0.5}$ , sans aucune influence de la viscosité et de la tension superficielle.

On propose généralement les valeurs suivantes

$$Re = \frac{V \cdot \rho \cdot D}{\nu} \geq 10^5$$

$$Re = \frac{Q}{\nu \cdot h} \geq 3 \cdot 10^4$$

$$Re = \frac{V_H \cdot \rho \cdot H}{\nu} \geq 3 \cdot 10^4$$

$$We = \frac{\rho; V^2 \cdot D}{\sigma} \geq 600$$

### ***3.3. Revue de littérature concernant les études expérimentales en bassin rectangulaire***

#### **3.3.1. Analyse des résultats expérimentaux**

Les études expérimentales avaient pour but d'étudier, en situation réelle et quelquefois en laboratoire les conditions d'apparition de tourbillons au niveau de l'aspiration des pompes dans les bassins. Ces recherches portaient sur l'influence des caractéristiques géométriques des bassins, les dimensions et la position du tuyau d'aspiration dans ces derniers

##### ***3.3.1.1. Aspects qualitatifs***

Bien souvent ces observations restent qualitatives quand il s'agit d'observer l'apparition de tourbillons aérés. Elles restent également non quantitatives quand les critères d'observations s'attachent aux conséquences par des effets globaux comme des vibrations ou des modifications du comportement de la pompe

Compte tenu du nombre de variables mises en jeu, certains auteurs n'ont pu étudier l'influence qu'avec deux ou trois paramètres. Leurs conclusions et recommandations sont donc applicables que pour la famille de factures étudiées. D'autres critères, comme des critères purement économiques peuvent être mis en avant pour justifier ces conclusions

Certains chercheurs n'ont étudié l'influence que d'un ou deux paramètres seulement. Par exemple Prosser a montré que si on prend  $z$  supérieur à  $D$  cela va entraîner une giration au sein de l'écoulement entraîné dans la pompe. Mais si  $z$  est inférieur à  $0,25D$  cela générera une grande turbulence. Pourtant Sweeney et Elder (1982) disent que  $z$  doit être égal à  $0,5D$  parce que une valeur plus élevée n'est pas économique, et une valeur moindre provoquera une grande turbulence et ils ont étudié aussi l'influence de  $l$  en démontrant que si  $l$  est supérieur à  $0,75D$  l'écoulement va tourner autour du tuyau d'aspiration, mais si  $l$  est inférieur à  $0,75D$  les tourbillons issus de la surface libre vont être générés.

Stepanoff (1957), a noté que si  $z$  est compris entre  $0,3 D$  et  $0,5 D$  cela donne le meilleur rendement de la pompe. Cependant une valeur supérieure à  $0,5D$  va le faire baisser. A l'inverse, Iverson (1953) a trouvé que si  $z$  est inférieur à  $0,5D$  le rendement diminue, alors que selon lui le meilleur rendement se trouve à  $z=0,65D$ .

Tsou et al (1994), ont publiés une étude assez exhaustive sur les différentes expériences menées en bassin. Ils constatent qu'il est difficile de faire correctement une synthèse des travaux en dégagant des critères fiables. Beaucoup de rapports d'essais sont publiés dans des configurations ont monté des problèmes majeurs pour des pompes. Même dans ces cas, les conditions initiales de l'écoulement ne sont pas toutes connues ou sont ignorées.

Notons également que lorsque des problèmes importants sont rencontrés, on a alors cherché à considérablement à modifier la forme des bassins pour que les pompes continuent à fonctionner. Ainsi, des séparateurs ont été posés dans les réservoirs selon des axes divers, des formes coniques du fond du réservoir ont été pratiquées, des dispositifs limitant les zones de décollement, voire des systèmes de guidage de l'écoulement amont. Tullis (1979) met en évidence le fait que si on peut diminuer les effets d'un tourbillon en modifiant la forme du fond du bassin, on peut générer d'autres tourbillons sur les parois latérales ou augmenter leur intensité s'ils existent déjà avant. Nakato et Yoon (1992) suggèrent que, pour être efficace, des séparateurs verticaux placés au fond du bassin doivent avoir une hauteur minimale de 75% de leur largeur. On arrive alors à une configuration de bassins telle que celle montées en figure (3.1) issue des travaux de Nakato (1992)

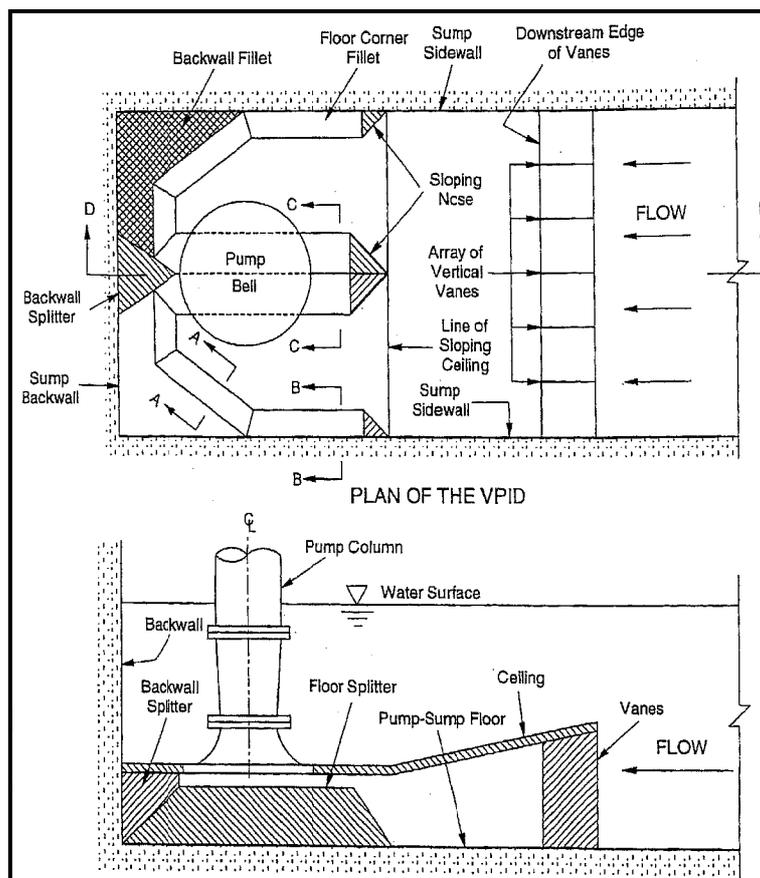


Fig.3.1 : la configuration idéale proposée par Nakato (1992)

D'autres possibilités existent par exemple pour diminuer les effets des tourbillons issus du fond du bassin. Prosser(1977), Tullis (1979), Antunes et Holman (1989),Urroz et Tullis(1990) et plus récemment Auckland et al. (2008) suggèrent d'inverser le tuyau d'aspiration pour qu'il soit placé en dessous du bassin. On diminue ainsi les gradients de vitesses dans le bassin en amont du tuyau tout en adaptant un pavillon dès l'entrée du tuyau. Le dernier auteur cité ans ce paragraphe a pu ainsi montrer que la forme du pavillon avait peu d'influence la définition des zones de stabilité des tourbillons en fonction de la profondeur relative du tuyau dans le bassin et le nombre de Froude. Par contre, les effets de dimensions relatives du bassin sont implorants de ce point de vue.

Si on reste dans les configurations classiques de bassins rectangulaires avec aspiration verticale, citons les résultats des travaux suivants :

➤Stepniewski (1957) propose plutôt une gamme de valeurs avec :

$$z = (0,35-0,5) D, \quad b = (1,5-1,8) D, \quad l = (0,75-0,9) D. \text{ (Voir figure 2.1, chapitre 2)}$$

➤ Pour être sûr de ne pas avoir de tourbillons, Wijdieks (1985) propose :

$$z = (0,5-0,85) D, \quad b = 2,2 D, \quad l = D$$

D'autres recommandations sont également émises par des organismes de standardisation aux USA, au Royaume Uni, au Japon et en Europe

➤ L' Hydraulic Institute aux U.S fait intervenir des critères supplémentaires :

$$z = (0,3-0,5) D, \quad b = 2D, \quad l = 0,75D, \quad e = 5D \text{ et } h = D(1+2.3Fr_D)$$

Ces dimensions correspondent avec celles recommandées en particulier par

➤ Par ailleurs, dans les cas où le nombre de Reynolds est suffisamment grand à savoir :

$$z = (0,45-0,53) D, \quad b = (1,89-2,24) D, \quad l = (0,88-1,04) D \quad h = (1,33-1,57) D$$

Par contre, si le nombre de Reynolds est dix fois plus petit que celui généralement préconisé, les dimensions du bassin doivent obéir aux valeurs suivantes:

$$z = (0,62-0,73) D, \quad b = (1,94-2,3) D, \quad l = (0,84-1) D, \quad h = (1,52-1,8) D$$

On remarque ainsi que c'est surtout sur  $z$  et  $h$  que les effets de Reynolds peuvent avoir de l'importance.

➤ Les critères de standardisation européenne (2006) sont les suivants :

$h= 1,5-2 D, b= 2,5D, z= 0,5D, l=0,75D.$

➤ Ce qui ne concorde pas avec celles de JSME (2006) au Japon :

$h= 0,5-0,75 D, b= 2,6-3D, z= 1,3D, l=0,8-1D.$

➤ Enfin, le BHRA (British Hydraulics Research Association) (1977) a conseillé d'utilisé les dimensions :

$h= 1,5D, b= 2D, z= 0,5D, l=0,75D$

### **3.3.1.2. Aspects quantitatifs**

Récemment, les expériences plus complètes réalisées sur ce thème (souvent accompagnées d'études numériques), conduisent à des résultats plus précis grâce à des moyens de mesure optiques tels que la LDV et la PIV. Comme cela a déjà été dit, ces études portent sur des cas de géométries très spécifiques.

Funaki J. et al (2007), ont réalisé des essais sur une configuration de bassin comme le montre la figure. 3.2. Deux valeurs extrêmes de  $z$  ont été choisies.

Les deux cas ont été réalisés pour :

$$Re= VD/\nu=2,2.10^4,$$

$$We=V (\rho D/\sigma)^{0,5}=14,$$

$$Fr=V/ (gD)^{0,5}=0,98, \quad Fr (U) =U/ (gD)^{0,5}=0,156$$

Où,  $V$  est la vitesse dans le tuyau,  $U$  la vitesse dans le bassin,  $D$  le diamètre du pavillon du tuyau,  $Fr(V)$  est le nombre de Froude pour la vitesse dans le tuyau en fonction de  $D$ ,  $Fr(U)$  est le nombre de Froude pour la vitesse dans le bassin.

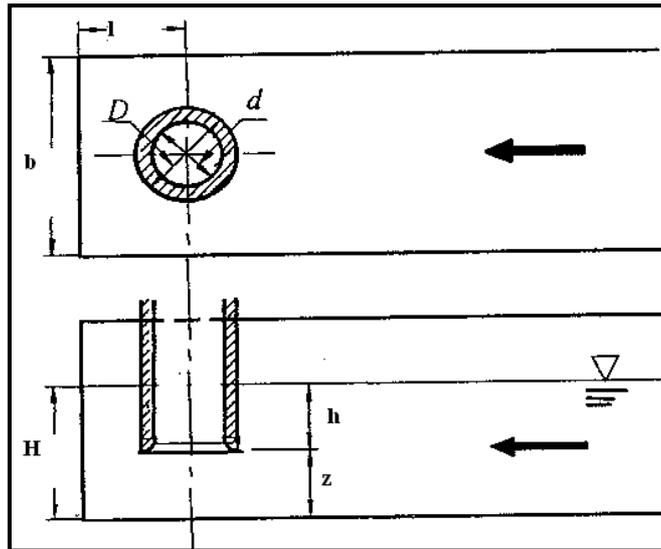


Fig.3.2 : configuration de bassin proposé par Funaki J.et al(2007)

Afin de comparer les résultats des essais ils ont d'abord exploité la vitesse et la vorticité dans des plans précis. Ensuite, ils ont étudié l'écoulement tridimensionnel dans le bassin par visualiser.

Pour une valeur petite de  $z$  ( $z= 0,39D$ ), les contours de la vitesse et de la vorticité sur la surface libre montrent que deux tourbillons s'installent symétriquement derrière le tuyau autour de la ligne  $x/D=0$ , et qu'ils tournent de manière opposée, figs. 3.3 (a et b).

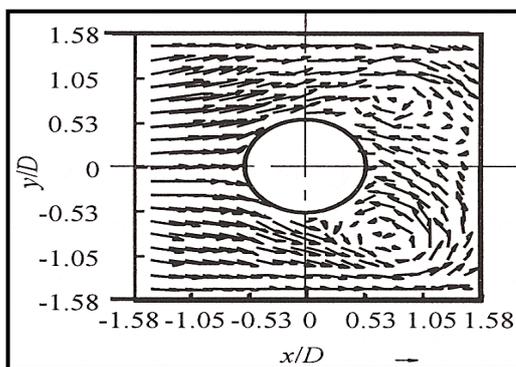


Fig. 3.3. a : le contour de vitesse dans le plan (x-y)

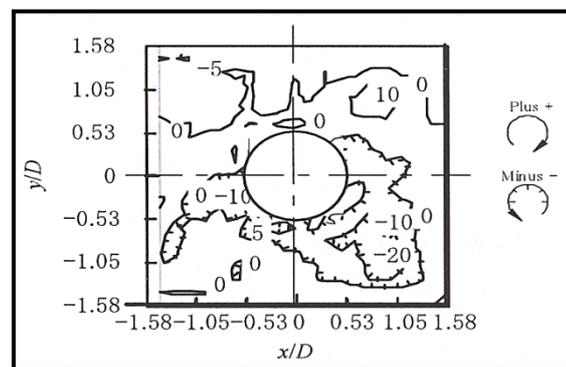


Fig.3.3.b : le contour de vorticité dans le plan (x-y)

Ensuite, dans le plan  $y-z$  et près de la paroi arrière, ces contours révèlent deux tourbillons symétriques autour de la ligne  $z/D=0$  et tournent de manière opposée, figs.3.4. (a et b).

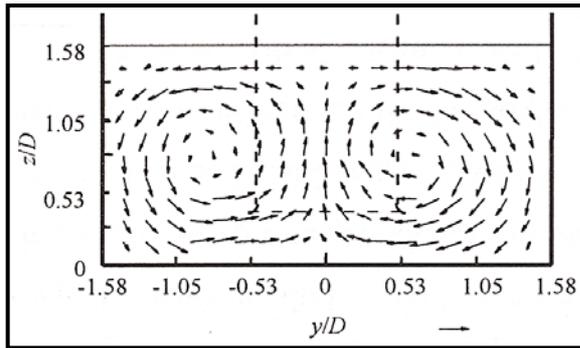


Fig. 3.4. a : le contour de vitesse dans le plan (z-y)

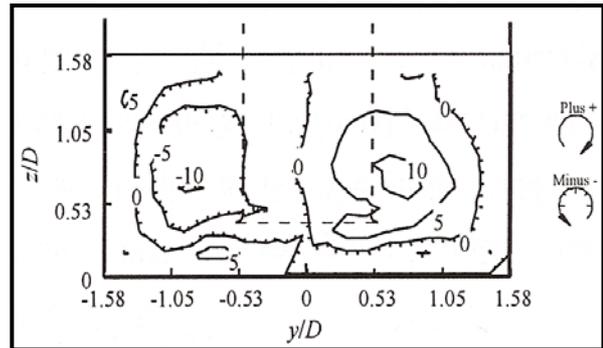


Fig. 3.4. b : le contour de vorticité dans le plan (z-y)

Près d'un mur latéral, les contours de la vitesse et de la vorticité dans le plan x-z, montrent un seul tourbillon sous le tuyau près de la paroi arrière et tournant vers la gauche, figures 3.5 (a et b).

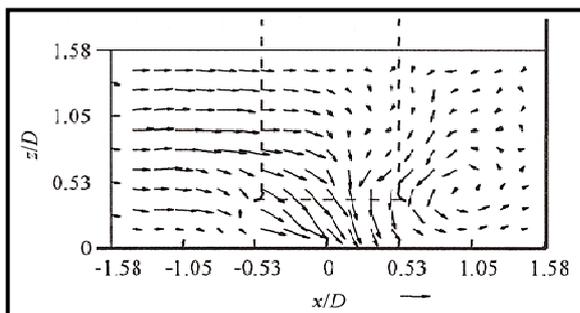


Fig. 3.5. a : le contour de vitesse dans le plan (x-z)

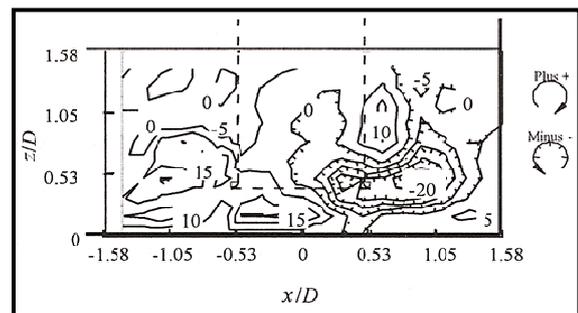


Fig. 3.5. b : le contour de vorticité dans le plan (x-z)

Pour une valeur z plus importante, (jusqu'à 1,18D), n'apparaît qu'un seul tourbillon issu de la surface libre tournant à gauche, comme il le montre le figure.3.6 (a et b), et un seul tourbillon tournant à gauche attaché à la paroi arrière, apparaît dans le figure.3.7 (a et b), alors que dans le plan x-z il n'y a pas plus de tourbillons.

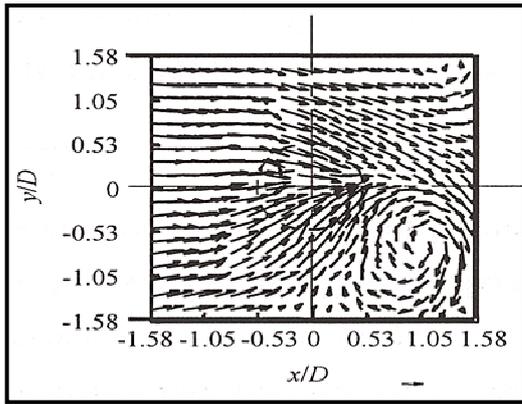


Fig. 3.6. a : le contour de vitesse dans le plan (x-y)

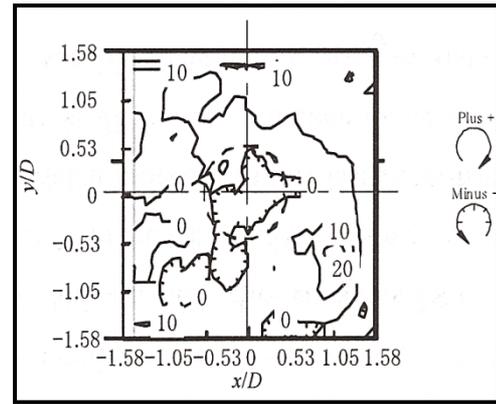


Fig. 3.6. a : le contour de vorticité dans le plan (x-y)

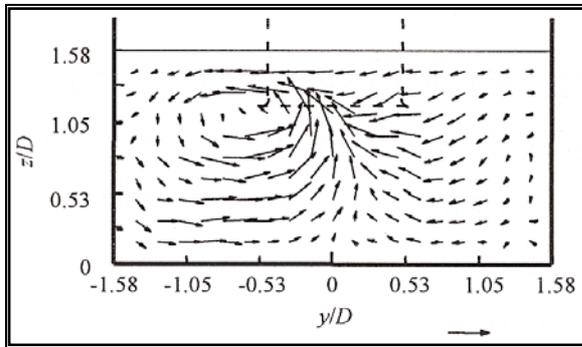


Fig. 3.7. a : le contour de vitesse dans le plan (y-z)

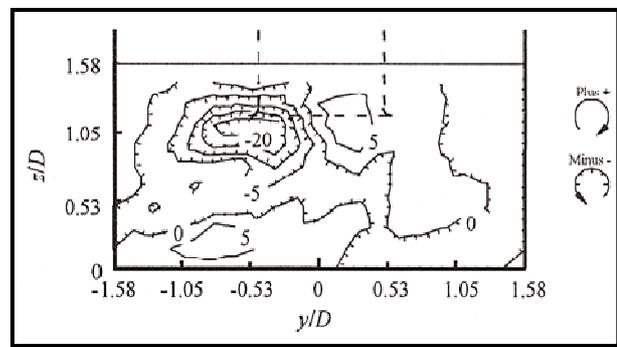


Fig. 3.7. a : le contour de vorticité dans le plan (y-z)

Les conclusions de leur travail peuvent être résumées schématiquement comme suit:

- Dans le premier cas ou  $z$  est faible, figure.3.8, il y a deux tourbillons installés symétriquement derrière le tuyau autour de la ligne  $x/D=0$ , et ils tournent de manière opposée. il y a également deux autres tourbillons symétriques provenant de l'entrée du bassin a tourde la ligne  $z/D=0$ , et tournant de manière opposée.
- Dans le deuxième cas figure.3.9, il y a deux tourbillons asymétriques devant le tuyau, et un derrière ainsi que un tourbillon issu de la paroi gauche, et un autre issu du fond du bassin
- Les tourbillons entrent dans le tuyau dans tous les cas

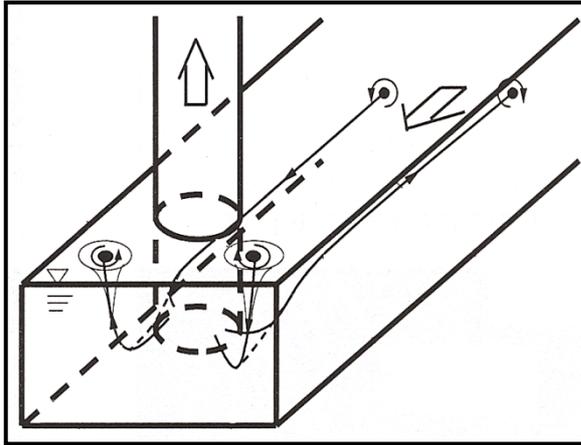


Fig.3.8 : cas ou z est faible

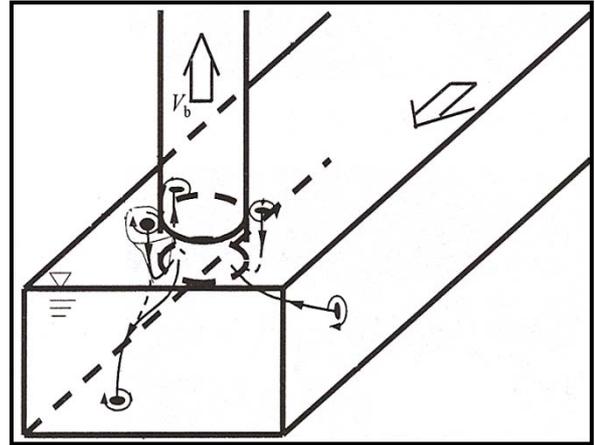


Fig.3.9 : cas ou z est grand

Certains chercheurs qui ont étudié l'influence de l'existence d'un pavillon à l'entrée du tuyau, sur la formation des tourbillons. Par exemple, Anwar et Amphlett (1980) sont arrivés à la conclusion que l'effet du pavillon à l'entrée de l'aspiration sur la formation et le comportement des tourbillons est négligeable.

### 3.4. Cas de bassin circulaire

T. Kougnma et R. Kahawita (1983) ont étudié l'influence des caractéristiques géométriques pour un tuyau placé au centre d'un bassin de forme circulaire.

Cette configuration axisymétrique leur permettait d'étudier l'influence d'un autre paramètre qui est la giration initiale de l'écoulement dans le bassin. Cette giration est obtenue par des aubages à calage variables placés à la périphérie du bassin. Le but de cette étude est de déterminer les zones de fonctionnement correspondant à l'apparition d'un tourbillon aéré de forte intensité.

Un point important de leur travail est que, pour le phénomène de tourbillon aéré, le nombre de Froude doit être le même entre le bassin réel et le modèle réduit. Pour ce qui concerne les effets de forces de viscosité et de capillarité, on peut les considérer comme mineurs si le nombre de Reynolds est supérieur à  $3 \cdot 10^4$  et le nombre de Weber supérieur à  $8 \cdot 10^4$

Pour ce qui est de l'influence des paramètres géométriques, ces auteurs ont fait varier la hauteur d'immersion tout en maintenant constant le débit. Ils ont montré l'incidence des paramètres suivants :

- Plus les murs latéraux sont éloignés de l'aspiration plus la hauteur d'immersion limite créant un tourbillon aéré est élevée,

- Les conditions d'opération sont mauvaises dans le cas où il y a des faibles distances de séparation entre la surface d'aspiration de la pompe et le fond du bassin. Il faut donc respecter une distance minimale séparant l'entrée de l'aspiration et le fond afin d'opérer sans risque d'aspiration d'air
- Même si cette configuration est éloignée d'un bassin rectangulaire, il est utile de constater que, dans tous les cas qui vont être présentés dans notre étude, nous sommes pratiquement sûrs de ne pas avoir des tourbillons aérés de fortes intensités

### ***3.5. Synthèse des résultats expérimentaux :***

On constate que :

- Il existe des contradictions sur les recommandations avancées par certains auteurs afin d'éviter la formation de tourbillons. Certaines de ces contradictions peuvent être expliquées par le fait qu'il n'est pas toujours facile de faire la distinction sur le type de tourbillon, avec ou sans entraînement d'air.
- Chaque cas étudié est un cas unique. Il y a toutefois plusieurs paramètres qui changent, et cela ne nous permet pas de déterminer l'influence exacte des paramètres géométriques sur la formation de tourbillons et la vorticité
- Il n'existe pas jusqu'à maintenant de rapport de synthèse qui montre la position optimale de la tuyauterie d'aspiration dans le bassin
- Malgré tous les travaux réalisés sur le sujet de tourbillons, il reste néanmoins beaucoup à faire pour clarifier le problème. On ne connaît pas encore avec précision la contribution des facteurs dynamiques dans la formation et le mécanisme des tourbillons.
- La nécessité de continuer des études sur des modèles bien documentés est donc nécessaire tant du point de vue expérimental que numérique. De ce point de vue, Padmanabhan (1987) propose une liste de cas d'études :
  - Alimentation non uniforme du bassin si le nombre de Froude basé sur l'immersion du tube est supérieur à 0,25.
  - Dimensions importantes du bassin comparé au diamètre du tube d'aspiration, même si c'est contradictoire d'un point de vue économique.
  - Etudier l'influence de faible hauteur d'eau dans le bassin

Pour tous les cas de figure, on peut synthétiser travaux étudiés par les points suivants :

- Un faible la hauteur d'immersion ( $h/D$ ) du tuyau d'aspiration dans le bassin est généralement associé à une vitesse importante dans le bassin car la hauteur d'eau dans ce dernier est généralement faible. On considère que la valeur minimale de submersion est de l'ordre de  $1,6 D$  pour éviter d'avoir des tourbillons aérés. Il est difficile de dissocier  $h$  et  $z$  ; aussi, il est généralement admis que si  $z$  augmente, l'effet sur la structure plus aérée des tourbillons et sur leur nombre est modifiée
- la largeur  $b$  du bassin doit être comprise entre  $2D$  et  $2,5 D$ . Au-delà de ces valeurs, les risques de favoriser la formation des tourbillons issus de la surface libre sont grands
- La distance préconisée par le BHRA (British Hydromechanics Research Association) entre le fond du bassin et la bride d'aspiration  $h$  est de  $0,5D$ . Si  $h$  a une valeur inférieur à  $0,5D$ , cela peut déclencher la formation de tourbillons issus du fond.
- Si les valeurs de  $l/D$  (distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et la paroi arrière) sont faibles, cela générera des tourbillons issus de parois latérales, tandis que si elles sont élevées, les tourbillons issus de la surface libre peuvent apparaître. Le BHRA ainsi que d'autres auteurs recommandent  $l/D=0,25$ .
- Le rapport entre la distance entre l'axe du tuyau d'aspiration et l'entrée du bassin  $e/D$ , doit être supérieur à  $20$  afin d'éviter la non-uniformité possible d'écoulement qui va entrer dans la pompe. Cette recommandation n'est pas cependant pas retenue pour des critères économiques. Un compromis entre ces deux aspects préconise une gamme de variation de  $e$  entre  $2D$  et  $12D$ .
- Compte tenu des géométries qui vont être étudiées dans les chapitres 4 et 5, nous pouvons considérer que nous n'aurons pas de configurations avec des tourbillons aérés de fortes intensités. Cela justifie ainsi notre approche numérique avec un modèle d'écoulement monophasique.

### ***3.6. Bibliographie des résultats numériques***

Avec le développement des méthodes numériques, la plupart des études numériques ont été faites très souvent pour la validation des résultats d'essais dont les configurations de bassin étaient préjudiciables pour le fonctionnement de la pompe.

Cependant, des études plus systématiques, visant à vérifier la qualité des modèles, ont commencées à voir le jour vers la fin des années 1990 pour des configurations de bassin

simples, généralement rectangulaires, avec différents types de prise d'eau. Les analyses portent généralement sur des comparaisons entre résultats numériques et expériences.

Pour ces raisons, bien que ce chapitre traite de la bibliographie sur les résultats numériques, les aspects expérimentaux servant de comparaison y seront évoqués et ce d'autant plus qu'ils n'ont pas été pris en compte dans le chapitre précédent.

Les résultats les plus significatifs sont présentés ci après.

La Configuration du bassin, est celle de la figure.3.10.

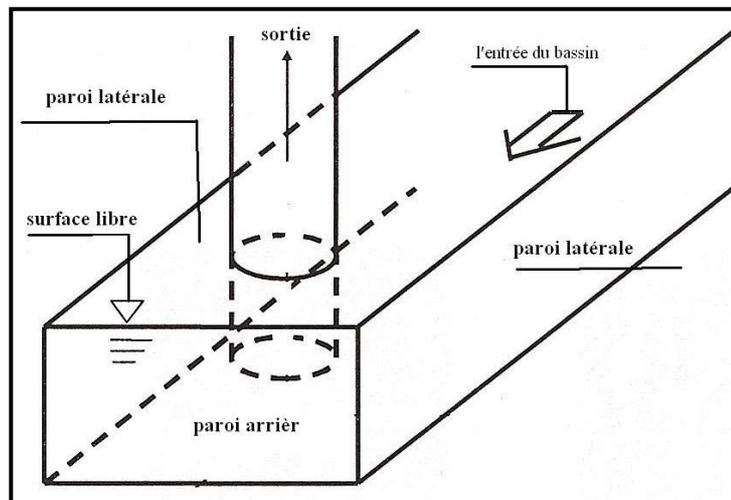


Figure. 3.10 : les plans des conditions aux limites

### 3.6.1. Cas d'un bassin rectangulaire, tuyau d'aspiration perpendiculaire à la surface libre

Patel et Constantinescu (1998), ont effectué la simulation pour un tuyau d'aspiration sans pavillon situé au milieu des parois latérales (fig.3.11)

Les dimensions du bassin et la position du tuyau sont données par :

$$b_1 = b_2 = b/2 = 1,6D, l = 0,9D, h = 2D, z = 0,75D, e = 6D.$$

Les conditions cinématiques sont :

$Re = DV/v = 6.10^4$ , et  $Fr = U / (gh)^{0.5} = 0.2$ , en utilisant le modèle de turbulence (k-ε). Le maillage est structuré, il comporte 550000 cellules. L'écoulement est supposé monophasique, stationnaire et la surface libre est un plan de symétrie.

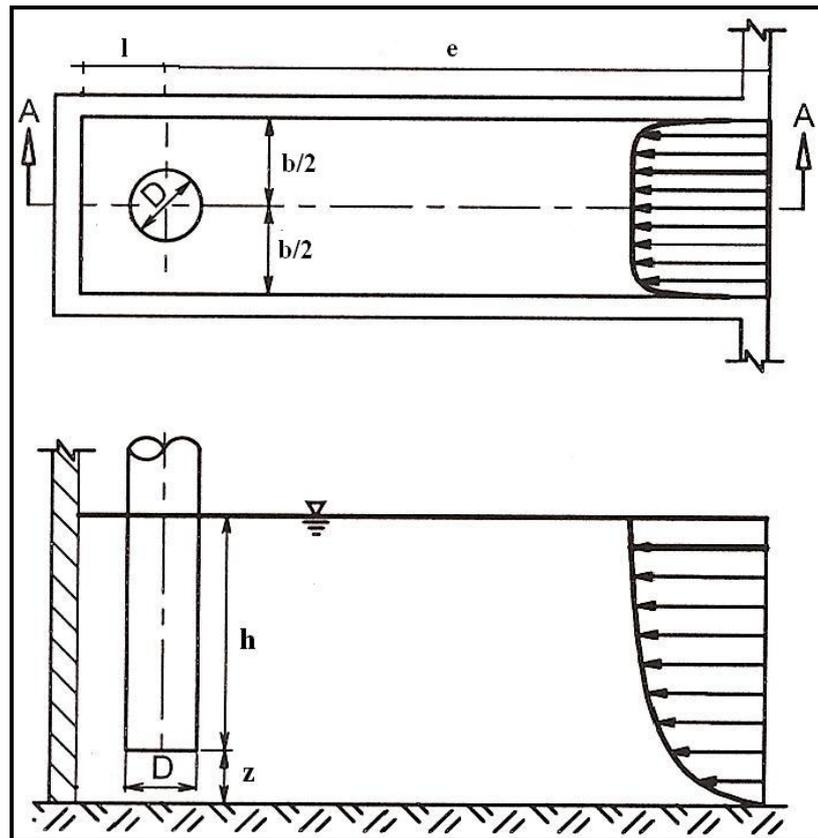


Figure. 3.11 : la forme du bassin proposé par Patel (1998)

Afin de valider la fiabilité du modèle numérique, ils ont réalisé un modèle expérimental (1998) permettant de comparer les résultats numériques et expérimentaux sur la même géométrie mais avec le tuyau d'aspiration qui n'est pas au milieu des parois latérales (fig. 3.12), avec les paramètres suivants:

$b_1/d=1,8$ ,  $b_2/d=0,8$ ,  $h=2d$ ,  $z=0,9d$ ,  $Re=45,000$ ,  $Fr=0,55$ ,  $We=325$ .

Ils ont souligné que les résultats expérimentaux et numériques concordent généralement à propos du nombre, de la disposition, de la taille et de l'intensité des tourbillons issus de la surface libre ou des parois. Cependant, l'intensité des tourbillons attachés au mur le plus proche du tuyau est plus faible numériquement qu'expérimentalement.

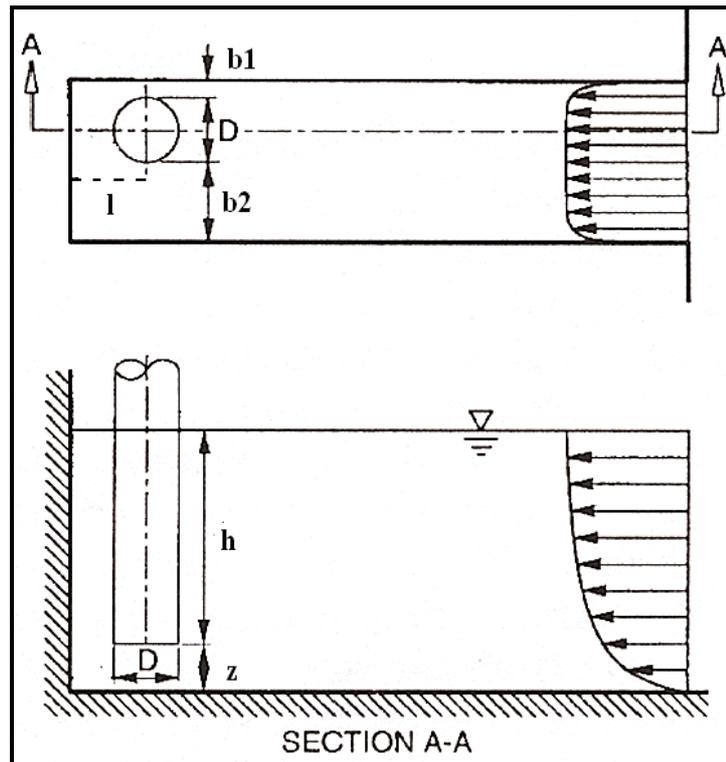


Figure. 3.12 : bassin avec position du tuyau décalée

Les résultats de ces comparaisons conduisent les auteurs à proposer d'utiliser la modélisation numérique comme une méthode efficace pour éventuellement définir le bassin d'aspiration afin de choisir un bassin qui ne génère pas de tourbillons ou bien qui contiennent des tourbillons dont la faible intensité n'influence pas l'efficacité de la pompe.

Les différences entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux sont attribuées à trois facteurs. Le premier concerne la taille du maillage ; ils en écartent les effets parce qu'ils ont déjà prouvé qu'il n'y a pas de grande différence entre un maillage fin et un maillage très fin. Le second concerne le modèle de turbulence qui est peut être inadapté. Le troisième point concerne l'hypothèse retenue d'un écoulement stationnaire.

Afin de déterminer le rôle du modèle de turbulence, réf. (2000) ils ont réalisé une simulation d'écoulement pour la même structure et la même taille de maillage, mais avec un nombre de Reynolds  $Re=120,000$ . La configuration du bassin est telle que :

$$b_1/d=1,7, \quad b_2/d=0,9, \quad h=2d \quad \text{et} \quad z=0,75d.$$

Ils ont trouvé qu'il n'y a pas une grande différence entre les lignes de courants extraites par  $k-\varepsilon$ , et  $k-\omega$  ; l'intensité des tourbillons obtenus avec le modèle  $k-\varepsilon$  est proche de celle de  $k-\omega$ .

Rajendran, et Constantinescu, réf. (2000)), ont travaillé sur une maquette du bassin où le tuyau d'aspiration est au milieu de parois latérales munie un pavillon à l'entrée, (fig. 3.13).

Toutes les dimensions utilisées sont données par rapport au diamètre au tuyau avec :  $b_1/d=b_2/d=2$ ,  $l=1.4d$ ,  $z=0.9d$ .

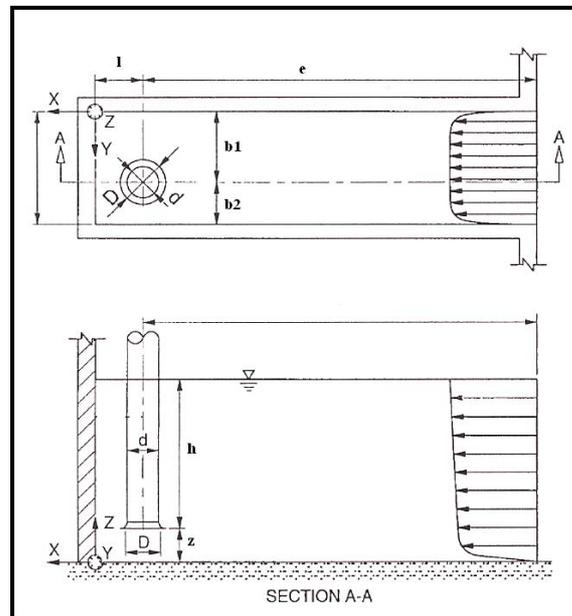


Figure. 3.13 : la configuration proposée par Rajendran, et Constantinescu (2000)

Ici, les essais ont été réalisés pour  $Re=62.10^3$ ,  $Fr=1$  et  $We=775$  basés sur le diamètre du tuyau et la vitesse dans ce tuyau. Ils ont fait varier la hauteur d'immersion du tuyau dans le bassin entre  $0.6d$ , et  $4.5d$ , Ils ont pris une hauteur d'immersion assez grande pour éviter les tourbillons issus de la surface libre et se concentrer sur les tourbillons issus de la paroi arrière du bassin et ceux issus du fond et des parois latérales.

Pour  $h= 4,5 d$ , leurs résultats montrent que :

- L'intensité de tourbillons issus du fond est plus forte que celle des tourbillons issus des autres parois.
- Il n'y a qu'un tourbillon issu du fond, et de chaque mur latéral. Cependant, il y en a deux qui sont issus de la paroi arrière.
- Les deux tourbillons issus de chaque côté du bassin n'ont pas la même intensité, ni le même positionnement de leur centre par rapport à l'entrée du pavillon. Chacun d'entre eux tourne dans le sens opposé à l'autre.

- Les tourbillons issus de la paroi arrière n'ont pas la même intensité, ils ne sont pas situés symétriquement par rapport à l'axe vertical de la paroi, et chacun d'entre eux tourne à l'opposé de l'autre. De plus ils changent de place et d'intensités au cours du temps.
- Les tourbillons issus du fond ont l'intensité et la circulation plus fortes que celles des autres tourbillons.

L'instabilité de ces tourbillons semble naturelle parce que la hauteur d'eau ( $H=5.4d$ ) est très grande par rapport à la largeur du bassin. Il est donc toujours probable que l'un soit plus intense que l'autre selon l'emplacement du tourbillon et cela de façon instable

Pour  $h=0.6d$  que :

- à cette hauteur les tourbillons issus de la surface libre apparaissent, ainsi que ceux issus des parois
- Les tourbillons issus de la surface libre ont une intensité plus forte que celle de ceux issus du fond
- Il y a deux tourbillons apparaissent entre le tuyau et paroi arrière, chacun d'eux se situe à un côté du tuyau et tourne de manière opposée à l'autre.
- Les centres de ces tourbillons bougent avec le temps, mais l'un d'eux est toujours plus intense que l'autre

Des essais expérimentaux et numériques ont été réalisés par Ansar, Nakato, et Constantinescu (2002), pour un écoulement non visqueux où le tuyau ( $d=152\text{mm}$ ) a un pavillon à l'entrée ( $D=233\text{mm}$ ). Les simulations numériques sont obtenues pour deux cas, avec un écoulement latéral et sans écoulement latéral.

Les équations sont résolues en utilisant un maillage structuré, pour les dimensions :

$$b_1=b_2=1, 5d, l=1,16d, e=5,84d, z=0,77d, h=3,14d.$$

Les nombres sans dimension sont :

$$Re=Q/vh=30,700, Fr= Q/bh(gh)^{0.5}=0,022.$$

Ils ont mesuré la vitesse et l'écoulement en utilisant des méthodes optiques.

Les résultats numériques et expérimentaux concordent en général sauf dans les zones à fort taux de cisaillement (parois et tuyau d'aspiration).

En 2006, Jim Young Kim, et al, ont étudié l'influence de certains paramètres sur la formation à la fois des tourbillons issus des parois et du fond. Ils ont réalisé leur étude pour un maillage structuré avec 400000 cellules. Le modèle de la turbulence utilisée est k-ε Wilcox.

Ils ont utilisé la pression comme une condition de limite pour le plan d'entrée, le débit pour le plan de sortie et la symétrie pour la surface libre. Le tuyau d'aspiration se trouve au milieu des parois latérales.

Ils ont étudié trois bassins qui ont le même forme (fig. 3.14) mais pour trois géométries différentes, (tableau.3.1), et pour différents nombres de Reynolds. La tableau.3.2 donne les résultats expérimentaux pour le bassin1, ces résultats montrent que si  $Re$  est petit il n'existe pas des tourbillons issus des parois ou du fond, alors que pour un débit grand avec  $Re$  grand, il y a seulement des tourbillons issus du fond.

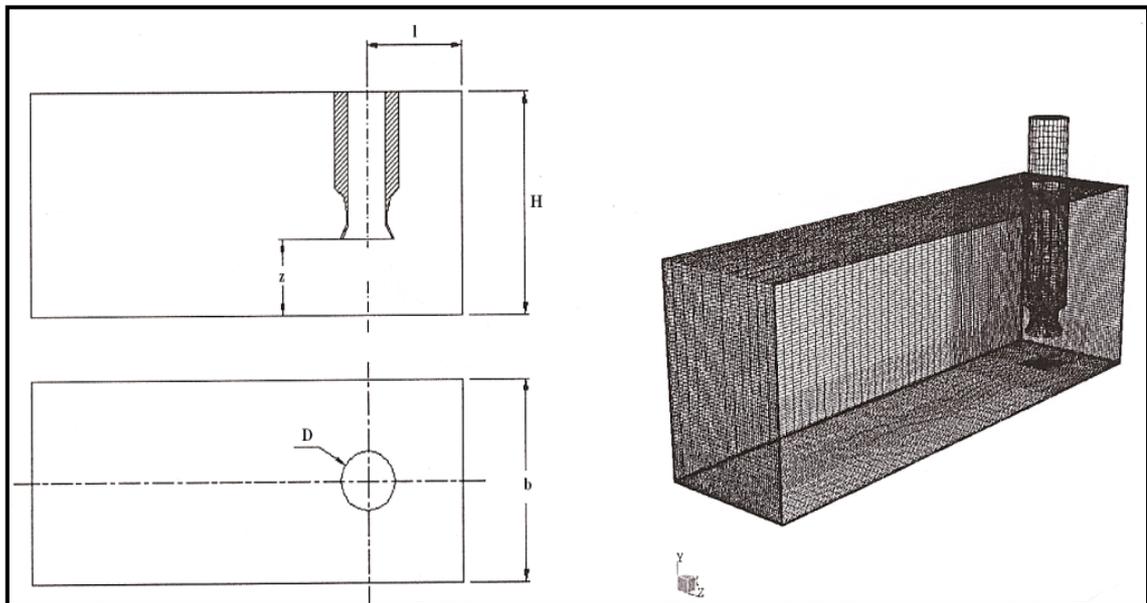


Figure. 3.14 : configuration proposée par Jim Young Kim (2006)

<b>Dimensions</b>	<b>b</b>	<b>H</b>	<b>z</b>	<b>l</b>
<b>Bassin1</b>	3,51d	4,64d	0,86	1,41d
<b>Bassin2</b>	3,4d	3,71d	1,26d	1,76d
<b>Bassin3</b>	3d	3,33d	2,23d	d

Tableau.3.1: les géométries de trois bassins étudiés

Cas	Débit [m <sup>3</sup> /min]	Re <sub>d</sub>	résultats des essais
Cas1	1,25	2,1 10 <sup>5</sup>	pas de tourbillon
Cas2	1,87	3,1 10 <sup>5</sup>	pas de tourbillon
Cas3	3,93	6,5 10 <sup>5</sup>	Tourbillons issus du fond uniquement

Tableau.3.2 : les résultats des essais pour le bassin 1 et différents Re

Cependant, les lignes de courant des résultats numériques mettent en évidence qu'il y a des tourbillons issus des parois latérales, du fond et de la paroi arrière simultanément. En plus, ces résultats révèlent que la valeur de la vorticité augmente avec l'augmentation du débit, et les valeurs de la vorticité des tourbillons issus du fond sont plus grandes que celles des tourbillons issus des autres parois.

Ensuite, ils ont étudié expérimentalement l'influence du nombre de Reynolds dans les bassins 2 et 3. Ils ont montré dans le tableau.3.3, que pour le bassin n2 où z et l sont plus grands que dans le bassin n1, avec un nombre de Reynolds trop élevé, les tourbillons apparaissent issus des parois latérales, et du fond du bassin.

Pour un nombre de Re plus petit, qui est le cas du bassin 3, pour lequel z est le plus grand (par rapport au cas des bassins n 2 et n3), et l le plus petit, les seuls tourbillons trouvés sont issus des parois latérales.

De nouveau, les résultats numériques montrent qu'il y a des tourbillons issus de toutes les parois et du fond du bassin. Cependant les valeurs de vorticité dans le bassin 2 sont plus grandes que celles du bassin 3.

Bassin	Débit [m <sup>3</sup> /min]	Re <sub>d</sub>	résultats des essais
Bassin 1	5,83	8,2 10 <sup>5</sup>	Tourbillons issus de parois latérales, et du fond du bassin
Bassin 2	2,23	2,5 10 <sup>5</sup>	Tourbillons issus de parois latérales du bassin

Tableau3.3 : les résultats des essais pour les bassins n2 et n3 avec différents Re

Ils ont également testé le paramètre déformation de l'alimentation du bassin, en créant numériquement une géométrie du bassin avec un des murs latéraux incliné de plusieurs angles  $\alpha$  à l'amont ( $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ ).

Les résultats montrent premièrement, qu'une petite inclinaison à l'entrée du bassin peut affecter la formation des tourbillons, et deuxièmement, qu'à chaque fois qu'on augmente l'angle (sauf pour  $20^\circ$ ), l'intensité de la vorticité des tourbillons issus des parois et du fond augmente. Pourtant, la vitesse axiale ne s'écarte pas de plus de 5% de la vitesse axiale moyenne. Nous étudierons cet effet dans le chapitre 5.

Si on diminue trop la taille du maillage, on ne pourra pas capturer les phénomènes trop petits en espace. De plus l'utilisation d'un modèle stationnaire pour simuler l'écoulement dans les bassins, ne permet pas de mettre en évidence le mouvement non-stationnaire des tourbillons, ainsi que leurs interruptions.

C'est pourquoi, récemment, d'autres méthodes ont été proposées pour réaliser la modélisation. Des méthodes qui utilisent le modèle de la cavitation, ou bien le modèle VOF (Volume Of Fluid), parce que les tourbillons aérés entraînent des bulles d'air dans l'eau. Les résultats de ces méthodes sont en bon d'accord avec les résultats expérimentaux. D'autres méthodes qui utilisent les modèles de turbulence non-stationnaire montrent l'instabilité des vortex.

Shukla N. et al (2008) utilisent le modèle VOF pour la simulation d'écoulement pour un tuyau au milieu des parois latérales. Le maillage est structuré. Le niveau d'eau dans le bassin est bas. Les résultats des calculs montrent deux tourbillons identiques issus de la surface libre, avec une valeur très grande de la vorticité. Ils confirment leurs résultats numériques par des essais.

## 3.6.2. Configurations particulières

### 3.6.2.1. Bassin avec mur séparateur

Takamouri Shabata et al (2000) ont fait plusieurs tests numériques et expérimentaux pour deux bassins fonctionnent en même temps avec un mur de séparation entre eux. (Fig.3.15)

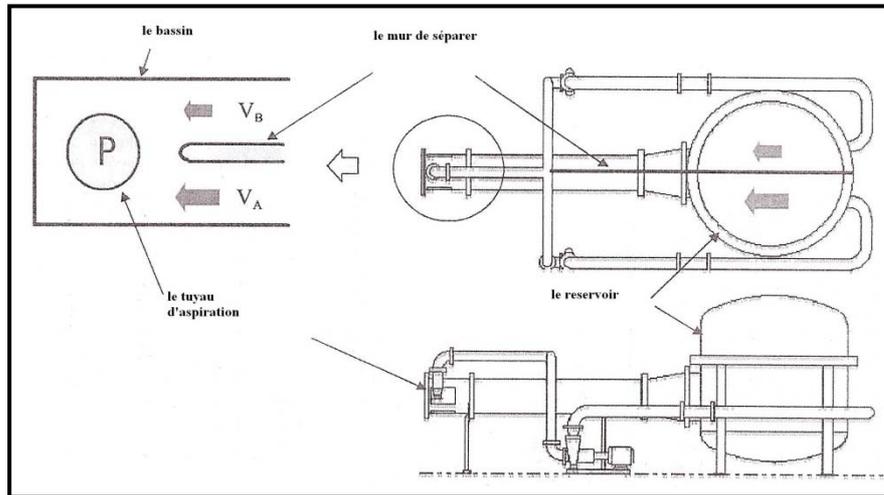


Fig.3.15: un bassin avec un mur de séparation

Ils ont travaillé uniquement sur les tourbillons issus du fond. Ils ont réalisé la simulation pour un maillage structuré avec  $20 \cdot 10^4$  cellules. La solution numérique qu'il utilise résout les équations de Navier Stokes moyennées RANS, et les équations du modèle de turbulence k- $\epsilon$ . L'écoulement est supposé stationnaire. Les conditions aux limites sont : la vitesse impose sur le plan d'entrée, la pression impose sur le plan de sortie, et des murs pour le reste de la frontière extérieure au domaine. De plus, ils ont ajouté un modèle numérique du tourbillon afin de compléter la solution numérique pour la circulation et l'écoulement autour des tourbillons issus de la surface libre.

Selon eux, les valeurs critiques de la vitesse où les tourbillons commencent à se former correspondent pour les résultats expérimentaux et numériques.

En 2001, Takahide Nagara et al ont réalisé leur étude pour une forme de bassin identique au précédent, le maillage est structuré avec  $10^6$  cellules, et le modèle de la turbulence utilisé est k- $\epsilon$ . L'écoulement est supposé stationnaire. Ils ont réalisé leurs essais pour  $Re=10^5$ . Ils ont conclu que :

- L'intensité de ces tourbillons dépend beaucoup de la vitesse d'écoulement d'approche.
- La circulation augmente en proportion de la vitesse d'approche.

- Le diamètre du cœur du tourbillon aéré dépend de la circulation.
- La variation de forces hydrauliques sur la roue de la pompe, liée avec l'augmentation du diamètre du cœur du tourbillon.
- Les valeurs de la circulation de ces tourbillons mesurées lors les essais, et les valeurs issues des calculs numériques concordent.

Ensuite, en 2003, Takahide Nagara et al ont fait des mesures de l'écoulement autour des tourbillons aérés issus du fond et à l'entrée de la pompe. Ils ont utilisé la méthode PIV, afin de mesurer la vitesse instantanée. Ils ont ensuite comparé ces mesures aux résultats numériques obtenus sur le même bassin, en utilisant un modèle qui résout les équations de Navier Stokes moyennées (RANS), le modèle de turbulence k- $\epsilon$  et le maillage est structuré avec 1000000 cellules. L'écoulement est supposé stationnaire. Ils ont trouvé que :

- Le profil de la vitesse moyenne mesurée par PIV, correspond à celui obtenu par calcul, surtout pour une grande vitesse.
- Le profil de la vitesse moyenne, et le rayon de la cavitation des tourbillons, sont un peu plus grand que ceux des tourbillons ou il n'y a pas de cavitation.
- Les valeurs de la circulation concordent pour les deux types de résultats (numériques et expérimentaux) même si les vitesses maximales mesurées par PIV sont supérieures à celles obtenues par calcul.
- Les valeurs maximales de la vitesse instantanée sont plus grandes que celles de la vitesse moyenne. C'est pourquoi, l'application du modèle stationnaire pour les calculs ne permet pas de montrer des détails pour les profils de vitesse au voisinage du centre du tourbillon.

Afin de vérifier le rôle de modèle de turbulence, ils ont réalisé une simulation numérique en utilisant deux modèles de turbulence (2006) : le modèle LES et le modèle k- $\epsilon$ , pour un maillage structuré avec 2 millions cellules. Ils ont adopté la condition de vitesse au plan d'entrée, et la condition de pression au plan de sortie. Ils ont conclu que :

- Les résultats de calculs avec la LES, et ceux des essais sont concordent pour les positions des tourbillons issus de la surface libre.
- Les résultats de calculs de la LES, montrent plus de détails sur la structure des tourbillons que ceux obtenus avec le modèle k- $\epsilon$

- Les valeurs maximales de la vitesse calculée par la LES, sont plus petites que celles des essais, cela indique que la pression statique pour les centres de tourbillons est plus petite que celle des essais. Ils estiment que cela est dû à une taille de maillage insuffisant.

Par ailleurs, T.E. Tokay, et Constantuniescus (2005) ont fait une comparaison entre l'utilisation d'un modèle de turbulence  $k-\omega$  SST, et le modèle LES. La comparaison est faite pour les tourbillons issus de la surface libre, du fond ou d'autres parois, surtout pour des tourbillons intermittents. Les essais et les calculs ont été réalisés pour un bassin réel (fig.3.15). Ils ont fait la modélisation pour un maillage non structuré contenant  $5.10^6$  cellules pour le modèle LES, et  $15.10^4$  pour le modèle  $k-\omega$  SST. Les résultats des calculs faits par LES concordent mieux avec les résultats expérimentaux que ceux obtenus avec le modèle  $k-\omega$  SST pour tous les tourbillons (issus de la surface libre, issus du fond ou d'autres parois).

### 3.6.2.2. Bassin rectangulaire, le tuyau parallèle à la surface libre

Marghzzar, et al, en 2002, ont étudié les aspects d'écoulement dans un bassin (fig.3.16), où le tuyau se situe face à l'entrée et à la centre du mur. Ils ont réalisé à la fois des études expérimentales et numériques.

Ils ont trouvé que les résultats des calculs correspondent avec ceux des essais. Il y a des tourbillons issus de la surface libre, des parois latérales et de paroi arrière. Afin de modéliser numériquement le problème, ils ont résolu les équations de Navier Stokes moyennées (RANS) et les équations du modèle de turbulence  $k-\varepsilon$  dans un repère cartésien pour un maillage structuré. Pour les conditions aux limites Ils ont utilisé la pression au plan d'entrée, la symétrie au plan de la surface libre.

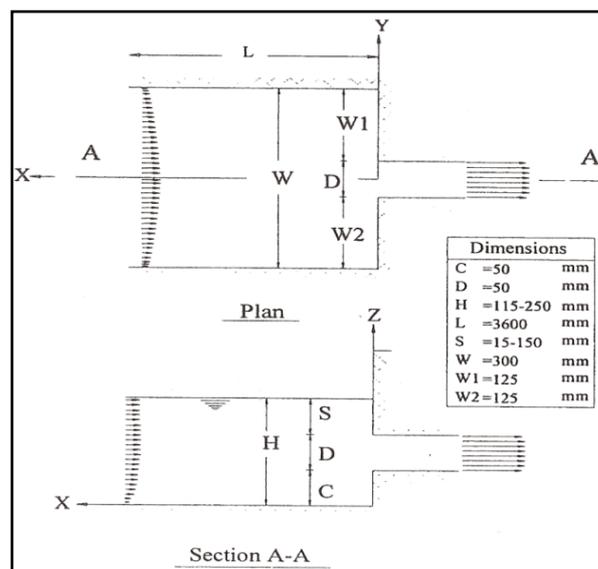


Figure.3.16 : configuration proposée par Marghzzar, et al (2002).

Les mêmes auteurs, en 2003, ont effectué des essais et des calculs pour un bassin (fig. 3.17) où le tuyau se situe face à l'entrée et au centre du mur, mais ils ont modifié la largeur d'entrée au niveau horizontal. Ils ont utilisé les mêmes conditions aux limites, le même maillage et le même modèle de turbulence. Les essais ont été effectués pour  $Re=50000$ ,  $Fr=1,43$ .

Cette étude montre que :

- Il y a des tourbillons issus de la surface libre, et d'autres parois.
- Il y a une correspondance entre les résultats d'expériences et numériques.
- Cette géométrie asymétrique provoque des tourbillons plus forts qu'une géométrie symétrique.
- Utiliser une entrée large pour le bassin est une solution favorable parce que cela occasionne de faibles tourbillons.

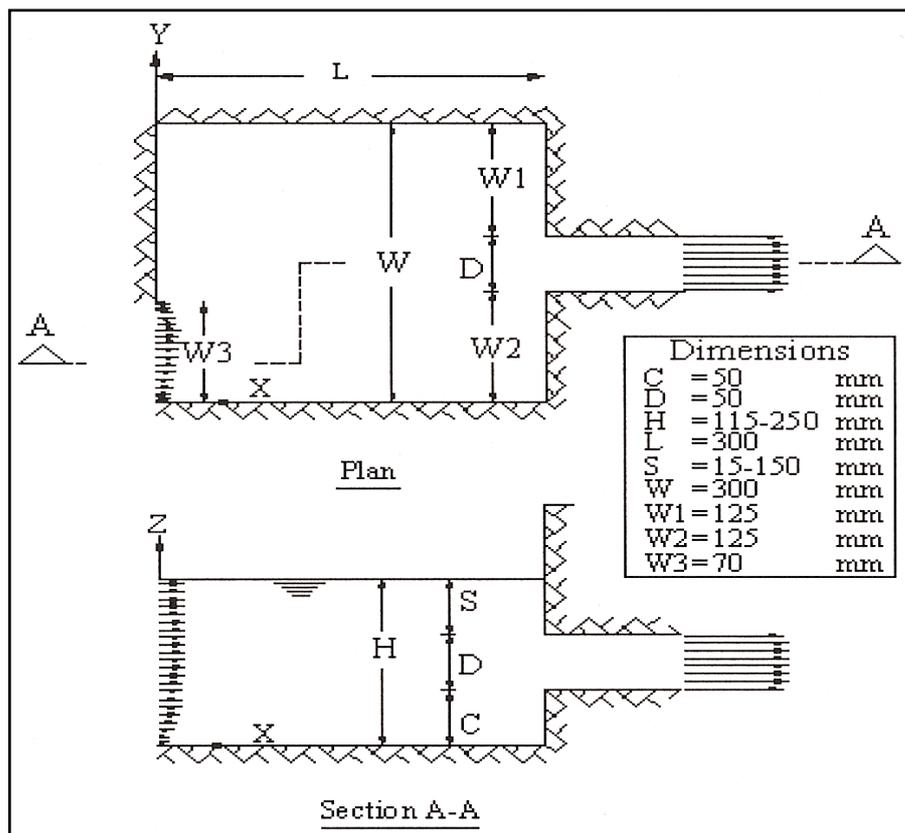


Figure.3.17: configuration proposée par Marghzzar, et al (2003).

F. Suerich-Gulick(2006) et al ont réalisé leurs études pour deux formes du bassin, le deuxième possède des séparateurs, figure 3.18 à droite par rapport à la figure de gauche.

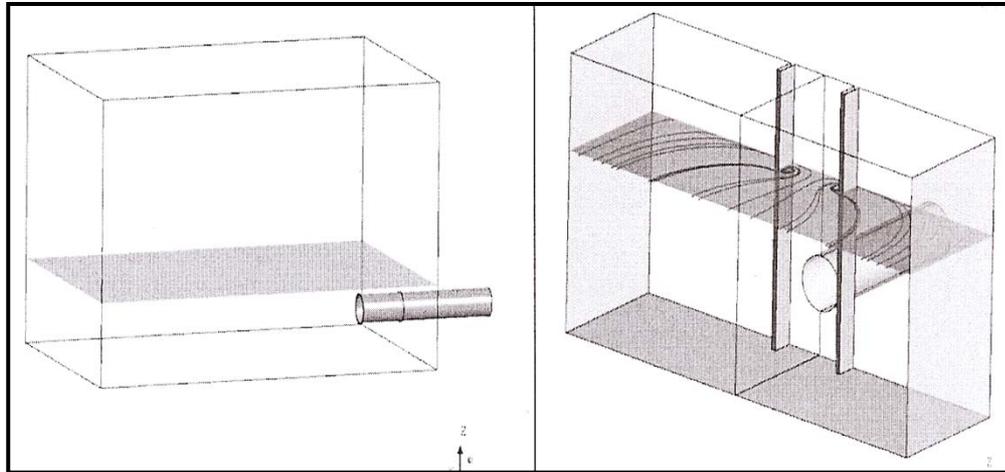


Figure 3.18 : configuration proposée par F. Suerich-Gulick (2006)

Pour les deux bassins, ils ont fait la simulation numérique dans le système cartésien, en utilisant le modèle VOF. Le maillage est structuré avec 300000 cellules pour le cas où il n'y a pas de trumeaux, pourtant, pour l'autre cas il y a 690000 cellules. Ils ont utilisé une vitesse uniforme pour le plan d'entrée, la pression pour le plan de sortie, et le plan d'interface pour la surface libre. Ils ont réalisé aussi des essais sur des maquettes physiques. Les résultats ont montré dans le tableau 3.4

cas	résultats expérimentaux	résultats numériques
<b>Bassin1</b>	Un tourbillon issu de la surface libre	Un tourbillon issu de la surface libre, et un autre issu du fond
<b>Bassin2</b>	deux tourbillons issus de la surface libre, et deux autres issus du fond	deux tourbillons issus de la surface libre, et deux autres issus du fond

Tableau. 3.4 : cas étudiés par Suerich-Gulick et al(2006)

Pourtant, d'après, les résultats expérimentaux les tourbillons issus de la surface libre pour le deuxième cas sont plus stable que les tourbillons présentent pour le cas numéro 1 par rapport au temps et à la position. De plus, la structure générale des tourbillons et ces places reproduisent bien numériquement, mais il y a une différence entre la vorticité de ces tourbillons et les tourbillons trouvés expérimentalement.

Ensuite, les mêmes auteurs ont réalisé des essais et une approche numérique(2006) pour le bassin se présente dans la figure 3.19.

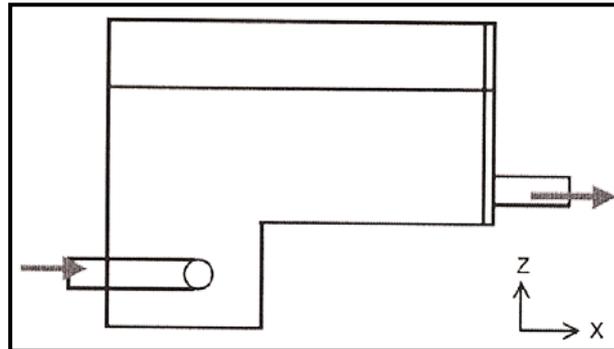


Figure 3.19 : la configuration testée par France Suerich-Gulick et al (2006)

Pour ce cas là ils ont réalisé leur travail pour les mêmes conditions qu'avant, et ils ont trouvé qu'il y a deux tourbillons issus de la surface libre, et deux autres issus du fond. Pourtant, ils ont constaté encore une fois une différence entre la vorticité des tourbillons générés numériquement et la vorticité des tourbillons générés pendant les essais.

Ils ont conclu qu'il y a plusieurs raisons pour la différence entre les résultats des essais, et les résultats numériques, mais les plus importants qu'ils ont besoin encore de plus des études se sont

- La taille du maillage n'est pas suffisamment fine
- Le modèle de turbulence utilisé.

Pourtant, ils ont observé aussi qu'il faut faire attention aux questions du coût et du temps pour les calculs, si on utilise un maillage très fin et de modèle de turbulence plus sophistiqué.

### 3.6.3. Synthèse des résultats numériques :

1. La majorité des chercheurs sont d'accord que le modèle de turbulence  $k-\epsilon$ , ou  $k-\omega$ , avec la supposition que l'écoulement est stationnaire montrent bien la structure générale des tourbillons et leurs positions dans le bassin d'aspiration, à condition que la surface libre

soit considérée comme un plan symétrie. Bien entendu, cette approche ne peut pas capter les instabilités temporelles et spatiales en particulier des tourbillons

2. Un petit nombre de travaux ont été effectués en utilisant le modèle de turbulence  $k-\varepsilon$ , ou  $k-\omega$ , avec la supposition que l'écoulement est non-stationnaire.
3. L'utilisation d'un maillage très fin permet d'avoir plus des résultats plus précis sur la vorticité et l'intensité des tourbillons,
4. Les approches de type VOF (volume of Fluid) et LES sont par nature plus prometteuses.
5. Il se trouve peu d'études numériques portant sur l'influence de la forme d'entrée du bassin.
6. Il reste toujours une différence entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux sur l'intensité de certains tourbillons issus des parois.



## 4. PARTIE EXPÉRIMENTALE

### 4.1. Introduction

La partie expérimentale a été menée dans le laboratoire d'Hydraulique à l'université de génie civil à Damas en Syrie. Elle se déroule sur une période qui précède d'un an le début de mes travaux numériques au sein du LML en France

Les contraintes géométriques des locaux du laboratoire étaient telles que la solution retenue pour effectuer cette partie expérimentale est la suivante :

La maquette du bassin est de forme rectangulaire. Elle est donnée de façon schématique en Figure.4.1.

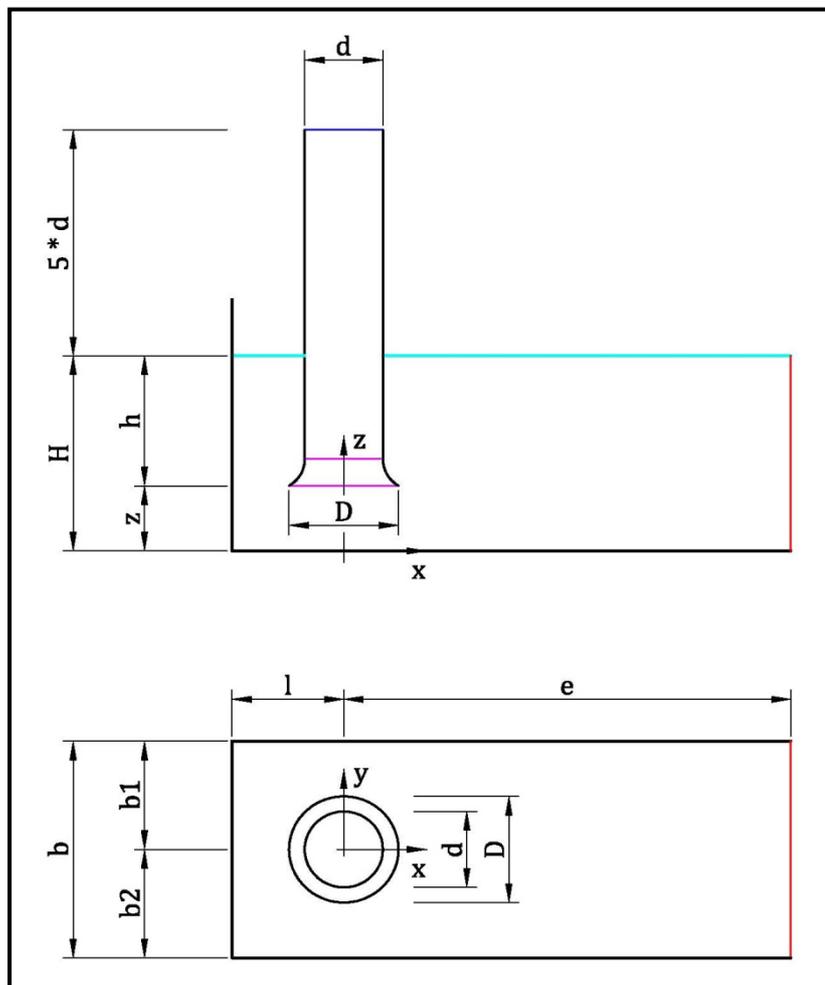


Figure. 4.1 : La maquette du bassin

## **4.2. Objectifs de travail**

1. Etudier l'influence des paramètres (b, z, l, h) (fig.4.1) qui présentent la position du tuyau d'aspiration par rapport aux parois latérales, et à l'auteur d'eau dans le bassin, sur la structure générale de l'écoulement dans le bassin, et dans le tuyau d'aspiration de la pompe.
2. Recenser la position du tuyau d'aspiration dans le bassin qui ne produit pas des effets désagréables à l'entrée de la pompe.
3. Comparer ces résultats avec la littérature de l'époque

## **4.3. L'installation d'essais**

La maquette d'essais (figes.4.2, et 4.3) se constitue en :

1. Un réservoir (longueur =200cm, largeur =150cm, hauteur =70cm)
2. Un bassin d'aspiration (longueur =100cm, largeur =75cm, hauteur =70cm), ces murs sont de plexiglas pour observer facilement l'écoulement.
3. Une pompe centrifuge dont les caractéristiques nominales sont :  $Q=90\text{m}^3/\text{h}$ ,  $H_p=18\text{m}$
4. Un tuyau de refoulement métallique  $d=100\text{ mm}$
5. Une partie du tuyau d'aspiration  $d=120\text{ mm}$  métallique
6. Un débit mètre.
7. Une vanne sur le tuyau de refoulement pour contrôler l'écoulement.
8. Un Capteur de pression.
9. Une partie du tuyau d'aspiration est en plexiglas pour observer facilement l'écoulement.
10. Un pavillon d'aspiration.
11. Le rota-mètre.
12. Le tableau pour mesurer la chute de la pression.
13. Une pompe à vide.
14. Des plateaux maillés pour calmer l'écoulement à l'entré du bassin.

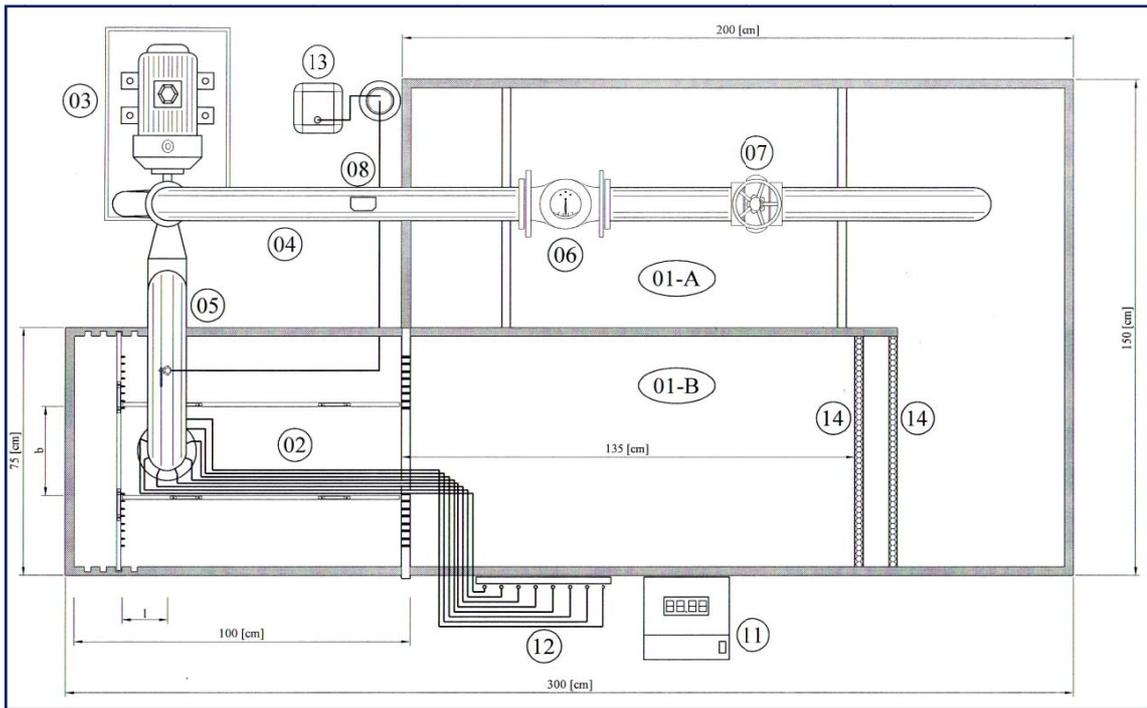


Figure.4.2 : Vue de dessus de la maquette d'essais

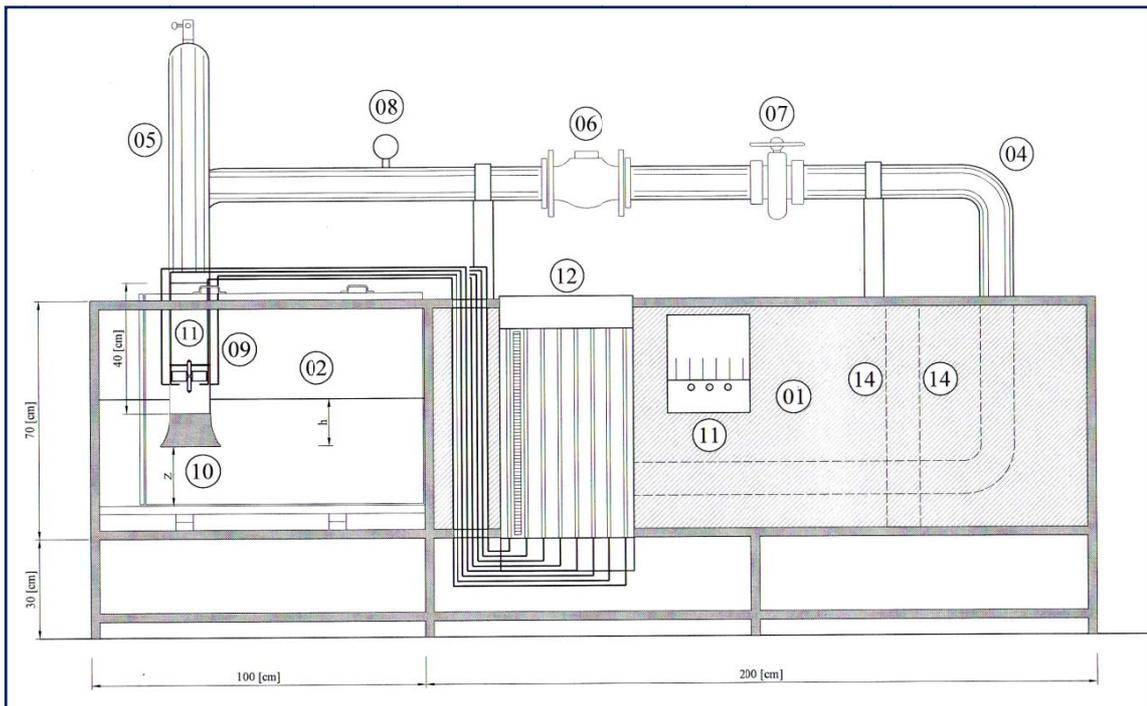


Figure.4.3 : Vue de face de maquette d'essais

L'écoulement d'eau dans cette maquette effectue un circuit fermé. Il s'écoule d'abord de la partie A du réservoir vers la partie 1B avant d'entrer dans le bassin où la pompe aspire l'eau

puis la refoule dans la partie 1 de maquette. Les parois du bassin ont été faites de plexiglas afin de visualiser l'écoulement, ainsi qu'une partie du tuyau plongé dans le bassin. Le tuyau d'aspiration était relié à un système de siphonage. Une partie du tuyau de refoulement, se prolonge dans le réservoir1 afin d'amortir l'énergie cinétique de l'écoulement en sortant du tuyau, et pour le même raison cette partie de tuyau a été percé de petits trous.

#### **4.4. Conditions expérimentales**

- Le débit est le même pour toutes les configurations d'essais. Il est égal à  $Q=0.018\text{m}^3/\text{s}$ .
- Le tuyau, toujours en position verticale, est placé au milieu des parois latérales. Il possède un pavillon à l'entrée de diamètre  $D= 18\text{cm}$ , alors que le tuyau d'aspiration  $d=12\text{cm}$ .
- La distance  $e$  entre l'axe du tuyau d'aspiration et l'entrée du bassin est telle que  $[e=4D]$ , afin que cette distance puisse à priori de pas avoir d'influence sur l'écoulement dans le bassin.

Les différentes valeurs des paramètres que l'on a choisi de faire varier sont les suivantes. Un grand nombre de combinaisons entre ces paramètres ont été testées :

b/D	1,5	2	2,5	3	soit	1d	1,3d	1,7d	2d
l/D	0,5	0,75	1	1,25	soit	0,3d	0,5d	0,7d	0,85d
z/D	0,3	0,5	0,75	1	soit	0,2d	0,3d	0,5d	0,7d
h/D	1,2	1,5	1,8		soit	0,8d	1d	1,2d	

#### **4.5. les paramètres adimensionnels pour réaliser les essais**

Nous avons montré dans le chapitre précédent qu'afin de modéliser l'écoulement et les tourbillons dans le bassin il faut respecter le nombre de Froude  $Fr=V/(g.d)^{0.5}$ .  $V$  est la vitesse dans le tuyau d'aspiration pour la maquette,  $d$  le diamètre du tuyau d'aspiration.

Nous avons choisi  $Fr=1,45$  pour être sûr de dépasser la valeur habituellement autorisée de 1.

La vitesse dans le tuyau est alors de :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.d}} = 1,45 \Rightarrow 1,45 = \frac{V}{\sqrt{9,81.0,12}} \Rightarrow V = 1,57 \text{ m/s},$$

Ce qui conduit au débit de : 0,018 m<sup>3</sup>/s.

Pour le domaine d'étude considéré, il est convenu que les nombres de Reynolds et Weber doivent respecter certaines valeurs pour négliger l'influence de la viscosité et de la tension superficielle à savoir :

$$Re_d = \frac{V.d}{\nu} \geq 10^5 \quad \text{Nombre de Reynolds basé sur le diamètre du tuyau}$$

$$Re_h = \frac{Q}{\nu.h} \geq 3.10^4 \quad \text{Nombre de Reynolds basé sur l'hauteur d'immersion du tuyau}$$

$$We = \frac{\rho.V^2.d}{\sigma} \geq 600 \quad \text{Nombre Weber dans le tuyau}$$

Pour notre cas expérimental, nous obtenons les valeurs suivantes :

$$Re = \frac{V.d}{\nu} = \frac{1,57.0,12}{10^{-6}} = 1,8.10^5 \geq 10^5$$

$$Re_h = \frac{Q}{\nu.h} = \frac{0,018}{10^{-6}.0,324} = 5,5.10^4 \geq 3.10^4, \text{ pour } h=1,8 D$$

$$We = \frac{\rho.V^2.d}{\sigma} = \frac{1000.1,57^2.0,12}{0,072} = 4108 \geq 600$$

#### ***4.6. les paramètres servant à évaluer les conséquences de l'écoulement dans le bassin***

Pour des raisons essentiellement budgétaires, les moyens mis à notre disposition pour quantifier les effets des écoulements rencontrés dans la maquette du bassin sont assez rudimentaires. Il ne nous est pas possible d'obtenir, en particulier des champs de vitesses dans des zones jugées sensibles du bassin. Aussi, la campagne de mesure nous a permis d'obtenir les informations suivantes :

#### 4.6.1. Le critère de giration ( $\theta$ )

La composante tangentielle de la vitesse d'écoulement entrant dans le tuyau a été mesurée en utilisant le rota-mètre montrée dans le figure.4.4, il se compose de quatre ailes perpendiculaires reliées à un arbre qui peut tourner librement ; cet appareil se situé à une distance égale à  $4D$  de l'entrée du tuyau comme il est conseillé par HIS (2005).



Fig. 4.4 : Le rota-mètre dans le tuyau

L'affichage du nombre de tours du rota-mètre permet de calculer la vitesse tangentielle afin de déduire la valeur de l'angle de la giration d'écoulement entrant dans le tuyau, Fig.4.5.

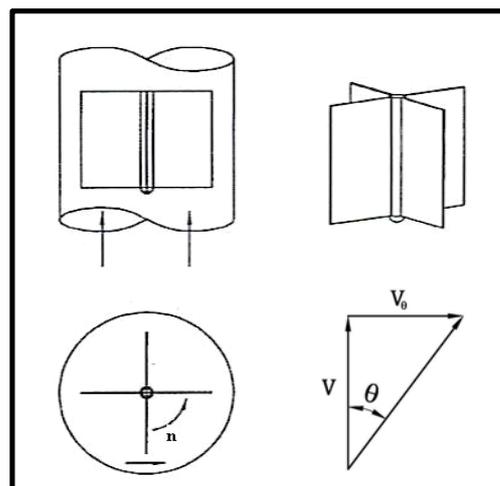


Fig.4.5 : l'angle  $\theta$  entre l'axe du tuyau et la vitesse moyenne, et le rota-mètre

On peut alors calculer l'angle par la relation :

$$V_{\theta} = \frac{\pi \cdot n \cdot d}{60} \Rightarrow \theta = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{V_{\theta}}{V} \right)$$

V : la vitesse axiale= la vitesse moyenne dans le tuyau :  $V=Q/A$

A : la surface de l'entrée du tuyau d'aspiration

$V_{\theta}$ = la vitesse tangentielle.

D'après les majorités des chercheurs il ne faut pas que le degré de la giration dépasse  $5^{\circ}$ .

#### 4.6.2. Le critère de la distribution de la pression statique de paroi dans le tuyau

La distribution de pression pariétale au niveau du tuyau est obtenue par le montage de 8 prises de pression pariétales également réparties sur la périphérie du tuyau comme l'indique la figure.4.6. Ces prises sont reliées à un multi manomètre, figure.4.7, permettant la lecture de la pression statique en cm de colonne d'eau par rapport à la pression atmosphérique On obtient ainsi directement la lecture de la pression dynamique augmentée de la perte de charge par rapport au niveau d'eau amont dans le bassin entre le niveau d'eau dans le bassin et la section du tuyau ou les prises de pression sont pratiquées.

En supposant que les valeurs de la chute de la pression sont  $p_1, p_2, \dots, p_8$ , on utilise un autre paramètre  $\Delta$  qui peut être considéré comme un écart quadratique tel que:

$$\Delta = \frac{\sigma_n}{\bar{P}}$$

$\bar{P}$  : La valeur moyenne de la chute de pression mesurer dans les 8 tuyaux.

La variance  $\sigma_n$  s'exprime alors par

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (P_i - \bar{P})^2}{8}}$$

### 4.6.3 La formation des tourbillons

Une observation visuelle en particulier des tourbillons complète la séquence des essais.



Figure.4.6 : distribution de pression pariétale sur la périphérie du tuyau



Figure.4.7 : multi manomètre pour lire la dépression

## 4.7. Les résultats

Pour des raisons de clarté, nous avons extrait quelques résultats significatifs.

### 4.7.1. L'influence des paramètres sur le degré de la giration

#### 4.7.1.1. Effet de la largeur du bassin $b$

Les figures (4.8 ...4.11) montrent que diminuer la valeur de  $b$ , le degré de la giration va augmenter, surtout pour des grandes valeurs de  $z$  et pour une moindre mesure de grandes valeurs de  $l$ .

Pour l'ensemble des figures, on constate que le niveau de giration est d'autant plus grand que la hauteur d'immersion  $h$  est faible.

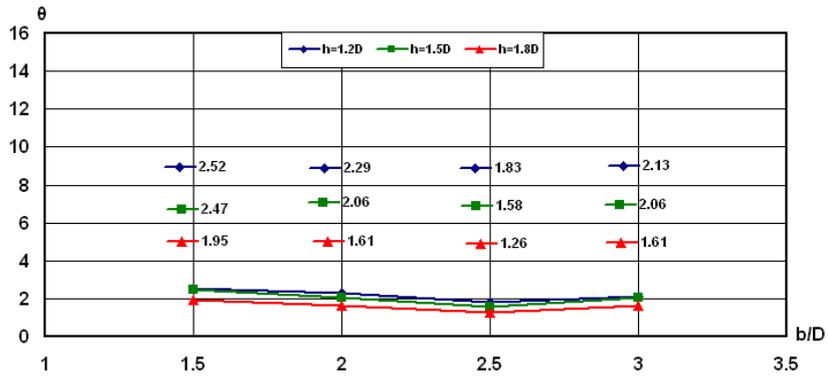


Figure.4-8: Le degré de giration par rapport à b, dans le bassin ( $z=0,3D$ ,  $l=D$ )

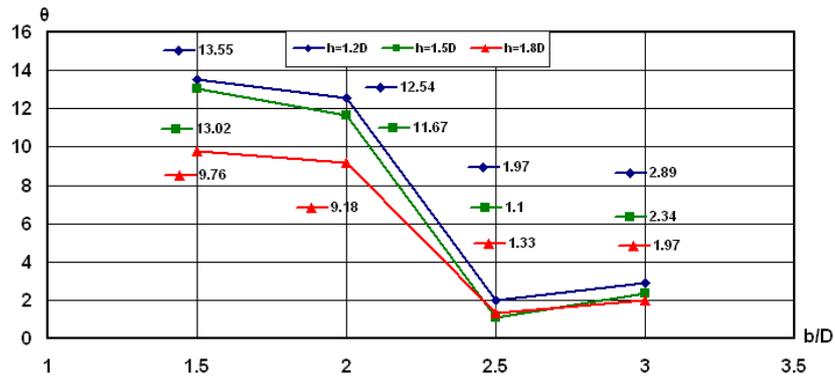


Figure.4-9: Le degré de giration par rapport à b, dans le bassin ( $z=D$ ,  $l=D$ )

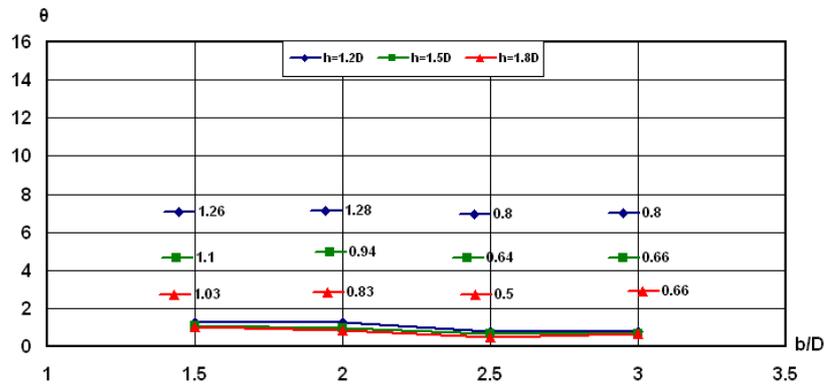


Figure.4-10: Le degré de giration par rapport à b, dans le bassin ( $z=0,5D$ ,  $l=0,5D$ )

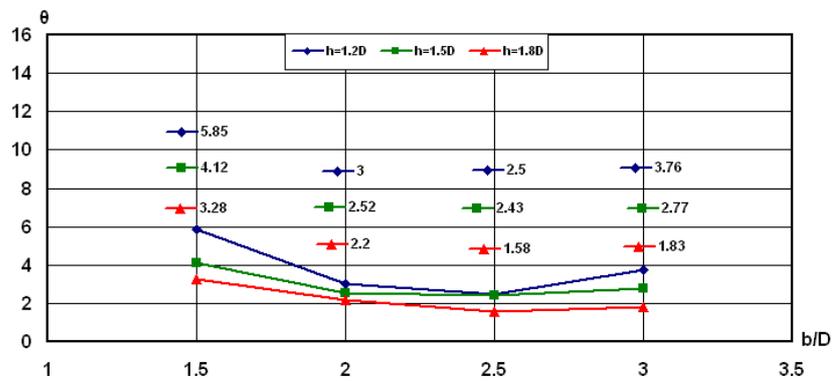


Figure.4-11: Le degré de giration par rapport à b, dans le bassin ( $z=0,5D$ ,  $l=1,25D$ )

#### 4.7.1.2. Effet de la longueur $l$

L'augmentation de la longueur  $l$ , fait augmenter légèrement le degré de la giration, et ce d'autant plus que la largeur du bassin diminue (figes. 4.12, 4.13), Pour  $z=D$  et  $b=1,5D$ , la giration est maximale. Elle s'attenué lorsque  $b$  est petit (figes. 4.14, 4.15). Le cas présente en figure 4.14 est le seul qui fait apparaître un maximum dans les courbes. Ici encore, et pour tous les cas, on retrouve les effets d'une petite hauteur d'immersion  $h$  sur la giration.

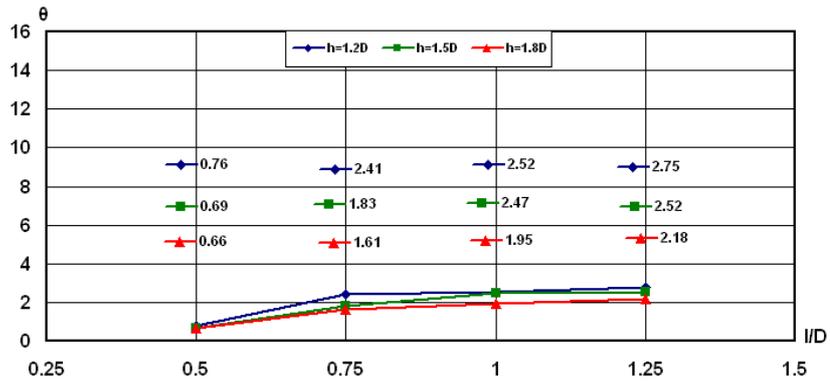


Figure.4-12: Le degré de giration par rapport à  $l$ , dans le bassin ( $z=0.3D, b=1,5D$ )

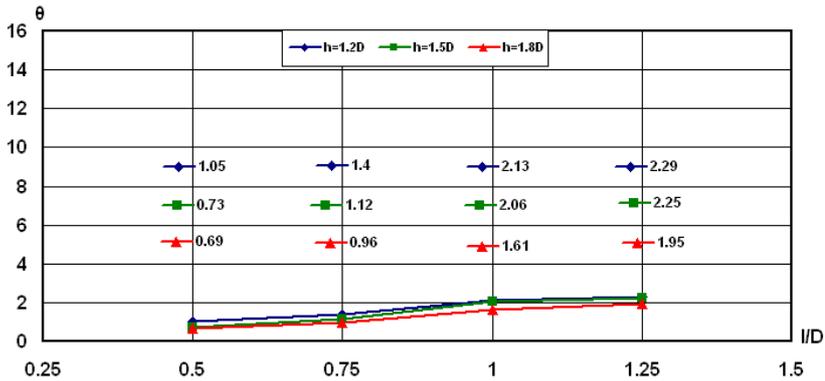


Figure.4-13: Le degré de giration par rapport à  $l$ , dans le bassin ( $z=0.3D, b=3D$ )

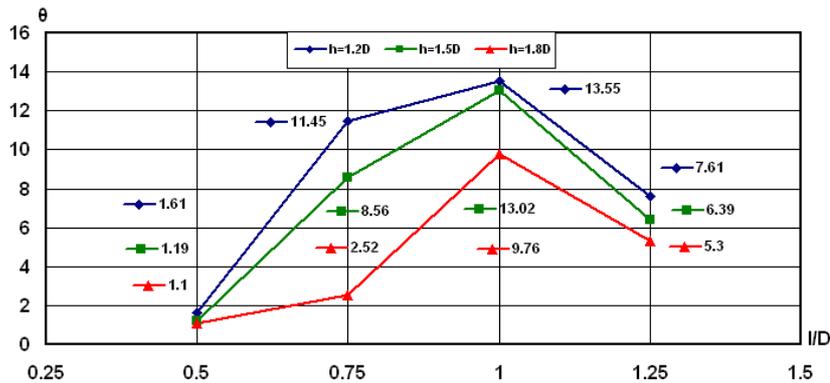


Figure.4-14: Le degré de giration par rapport à  $l$ , dans le bassin ( $z=D, b=1,5D$ )

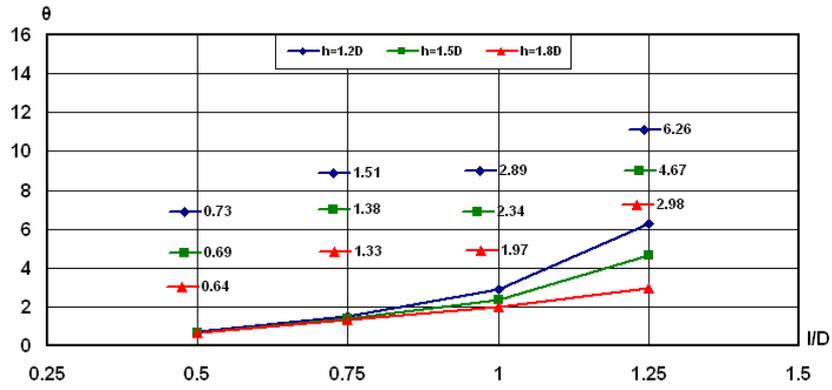


Figure.4-15: Le degré de giration par rapport à l, dans le bassin ( $z=D$ ,  $b=3D$ )

#### 4.7.1.3. Effet de z

Si on augmente la valeur de z, le degré de la giration augmente, surtout dans les bassins qui ont des petites valeurs de b, associés avec de grandes valeurs de l, (figs. 4.16, 40.17).

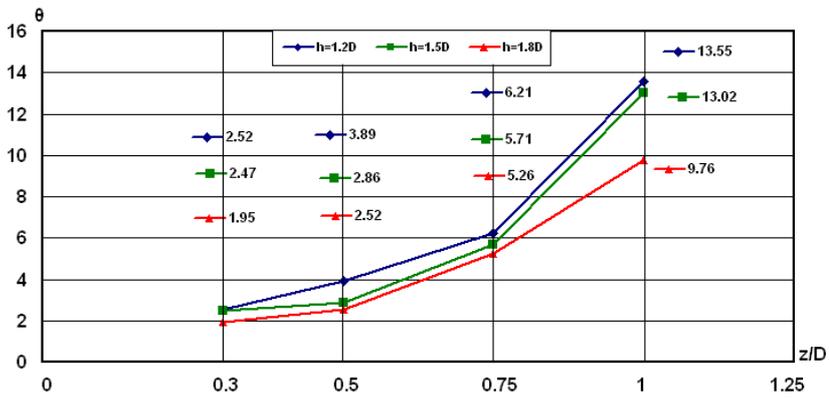


Figure.4-16: Le degré de giration par rapport à z, dans le bassin ( $l=D$ ,  $b=1,5D$ )

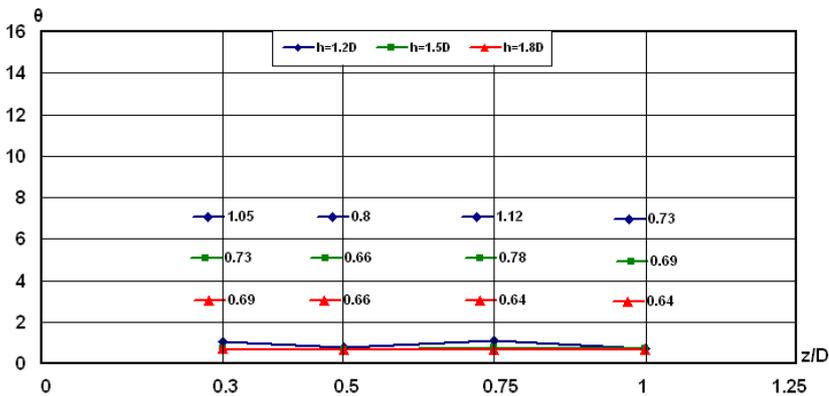


Figure.4-17: Le degré de giration par rapport à z, dans le bassin ( $l=0,5D$ ,  $b=3D$ )

#### 4.7.1.4. Effet de h

Les faibles hauteurs de h affectent la giration que lorsque z et l augmente. Dans ces cas, les faibles valeurs de b accentuent la giration (figs. 4-18, 4.19, 4.20, 4.21).

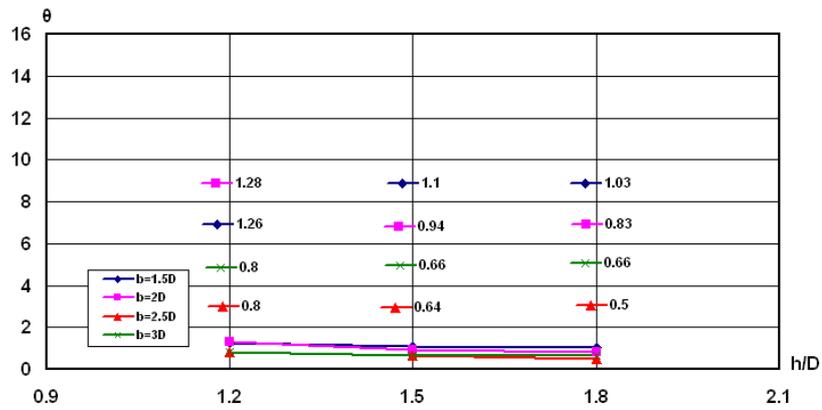


Figure.4.18: Le degré de giration par rapport à h, dans le bassin ( $z=0,5D$ ,  $l=0,5D$ )

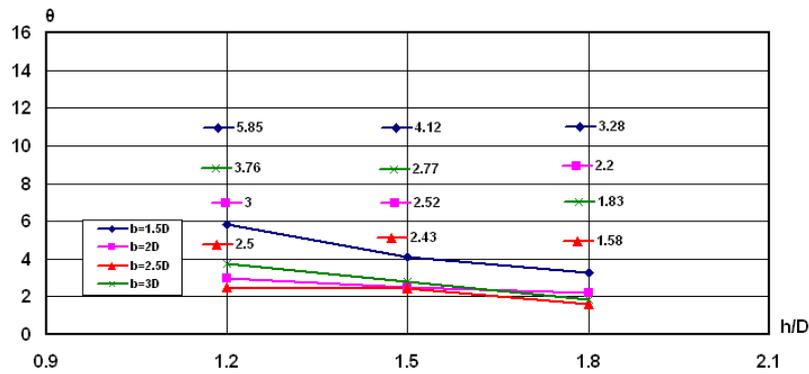


Figure.4.19: Le degré de giration par rapport à h, dans le bassin ( $z=0,5D$ ,  $l=1,25D$ )

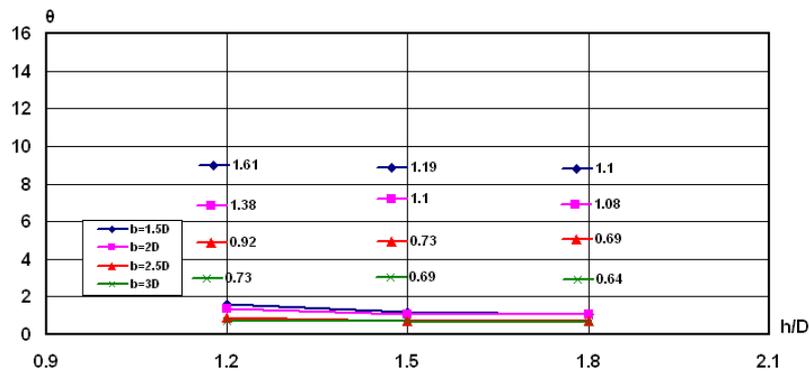


Figure.4.20: Le degré de giration par rapport à h, dans le bassin ( $z=D$ ,  $l=0,5D$ )

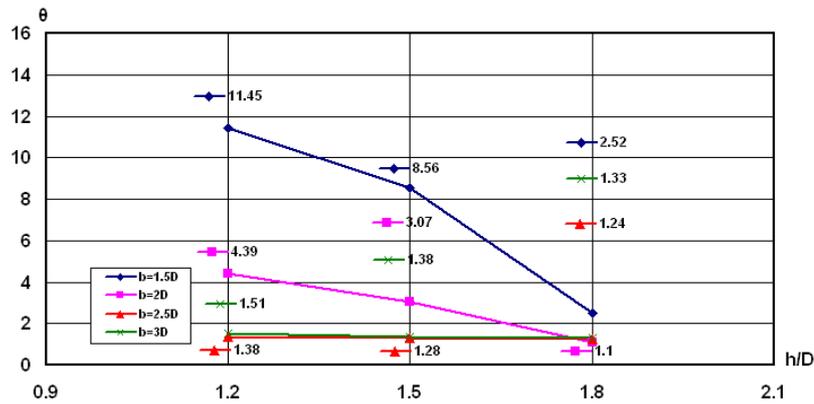


Figure.4.21: Le degré de giration par rapport à h, dans le bassin ( $z=D$ ,  $l=1,25D$ )

#### 4.7.1.5. Conclusion

- On peut constater que, pour tous les cas étudiés, la giration, même faible, est toujours présente. Cela pose le problème de la symétrie supposée de l'écoulement.
- Les faibles hauteurs d'immersion h, accompagnées par de faible largeur de bassin b et pour des distances z et l de l'ordre de D. Si on considère que les effets de la giration sont associés à un comportement anormal de l'écoulement dans le bassin, alors, on peut dire que les résultats correspondent à ceux de la littérature.

### 4.7.2. L'influence de paramètres sur la distribution de la pression

Chaque courbe présentée dans ce paragraphe montre la distribution azimutale de la pression statique pariétale en fonction des configurations géométriques du bassin.

Toutes les configurations ne sont pas montrées ici pour des raisons de clarté.

#### 4.7.2.1. L'influence de b

Les figures 4.22 et 4.23, représentent une configuration type d'une distribution irrégulière de la pression pariétale à l'entrée du tuyau d'aspiration. Cela correspond à la configuration où z est le plus faible tout comme b et l varie sur deux valeurs faibles également; Soit  $z=0,3D$ ;  $b=1,5D$  avec  $l=0,5D$  et  $l=0,75D$  respectivement.

Pourtant, il suffit d'augmenter la valeur de b pour que la distribution de la pression devienne pratiquement constante, quoi que soit la valeur de l comme le montrent la figure 4.24 choisie pour montrer l'influence de b.

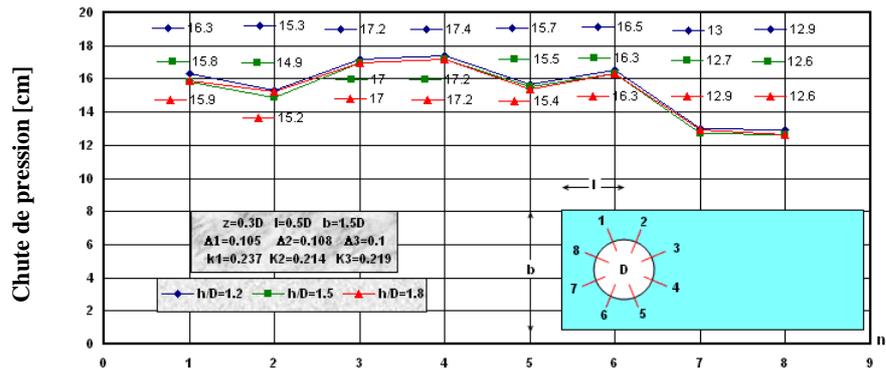


Figure 4.22: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin

$$(b=1.5D, l=0.5D, z=0.3D)$$

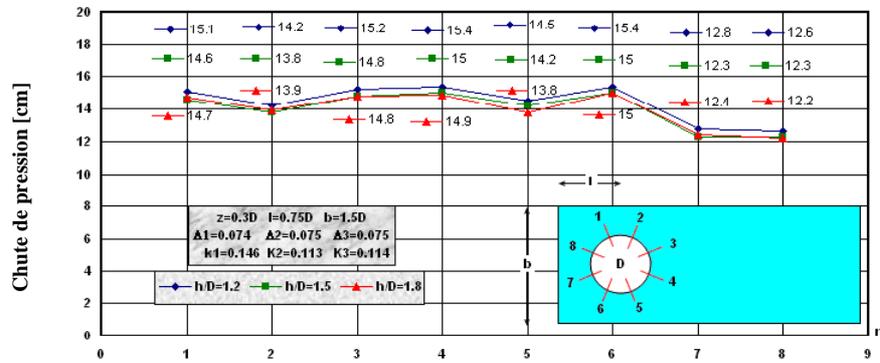


Figure 4.23: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin

$$(b=1.5D, l=0.75D, z=0.3D)$$

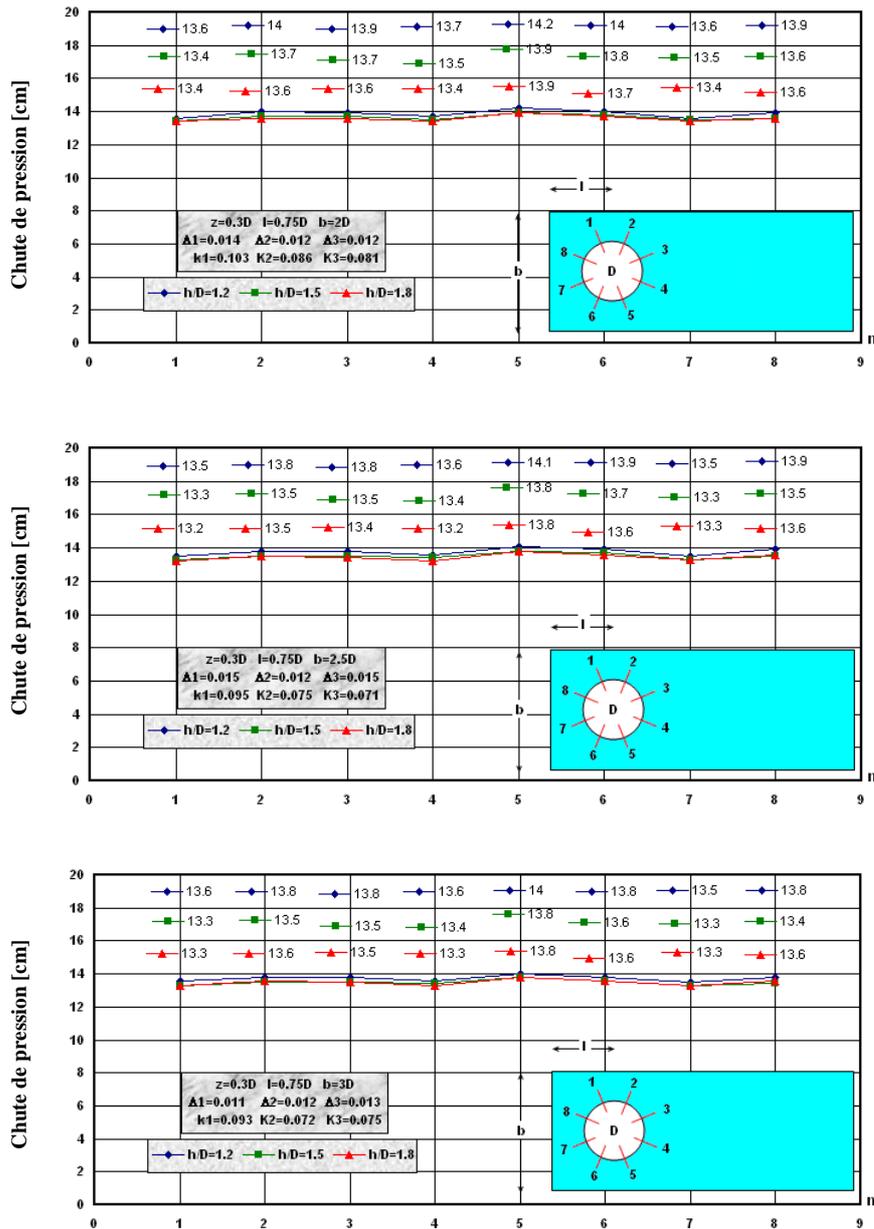


Figure 4.24: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans les bassins

$$[(b=2D-2.5D-3D), l=0.75D, z=0.3D)]$$

#### 4.7.2.2. L'influence de $l$

D'après le figure 4.25, la distribution de la pression à l'entrée du tuyau d'aspiration apparaît irrégulière dans les bassins pour  $l=0.5D$ . Mais si on fait grandir la valeur de  $l$ , pour les mêmes valeurs de  $b, z, h$  la distribution de la pression redevient régulière selon la figure 4.26.

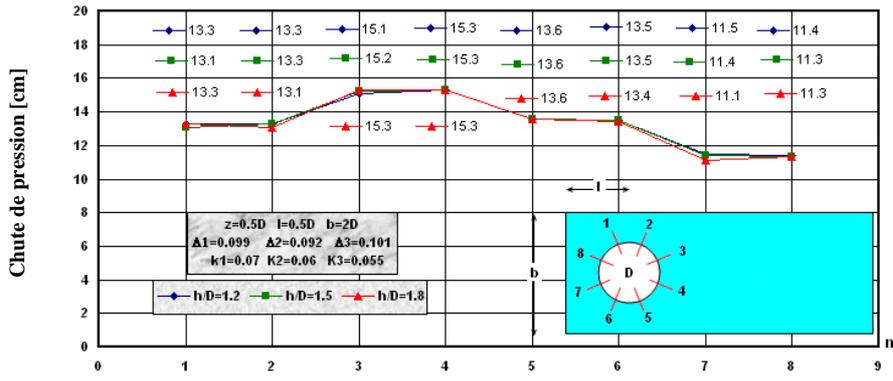


Figure 4.25: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin  $z=0.5D, l=0.5D, b=2D$

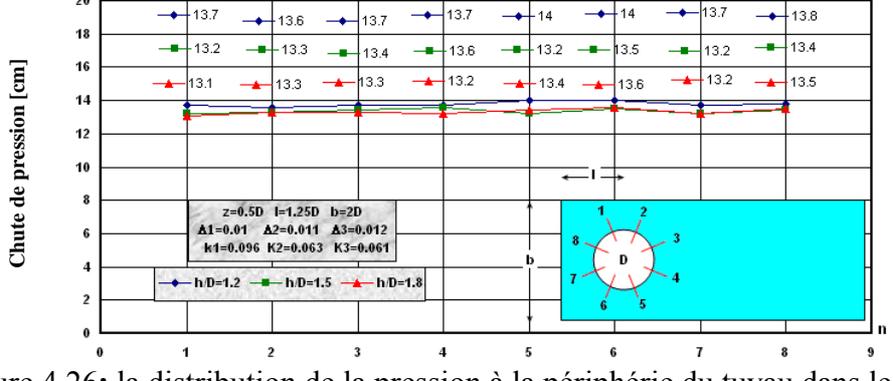
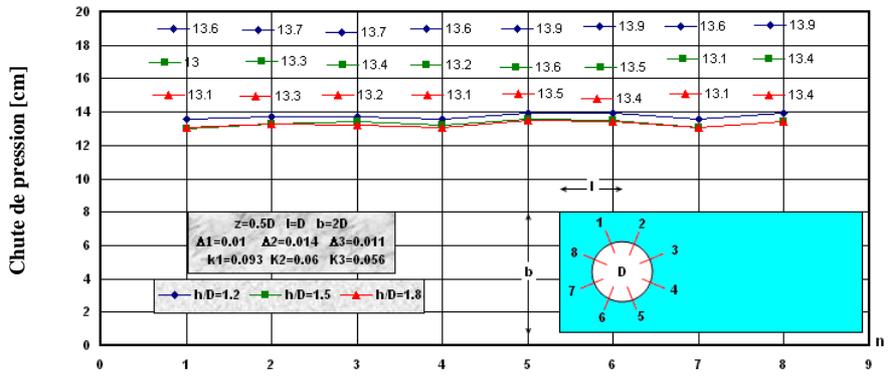
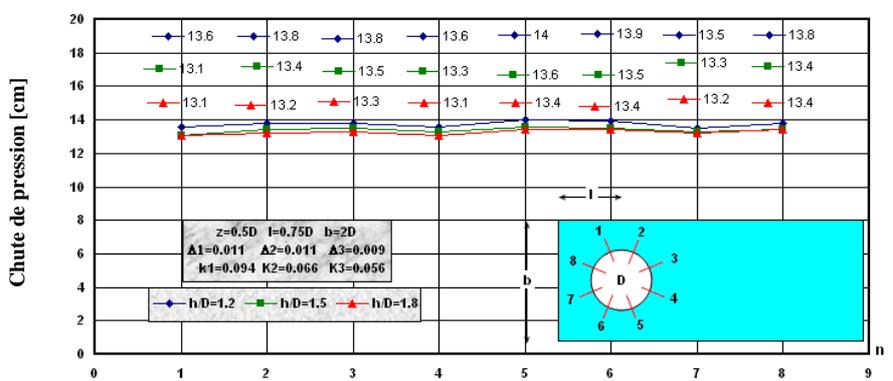


Figure 4.26: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans les bassins  $[(z=0,5D, b=2D), (l=0,75D-D-1,25D)]$

### 4.7.2.3. L'influence de z

La distance z ne modifie pas la distribution de la pression comme la figure 4.27, à condition que l et b dépasse des valeurs de 0,5D et 1,5D respectivement.

### 4.7.2.4. L'influence de h

Les figures 4.28 et 4.29 confirment les résultats antérieurs pour d'autres valeurs des paramètres géométriques.

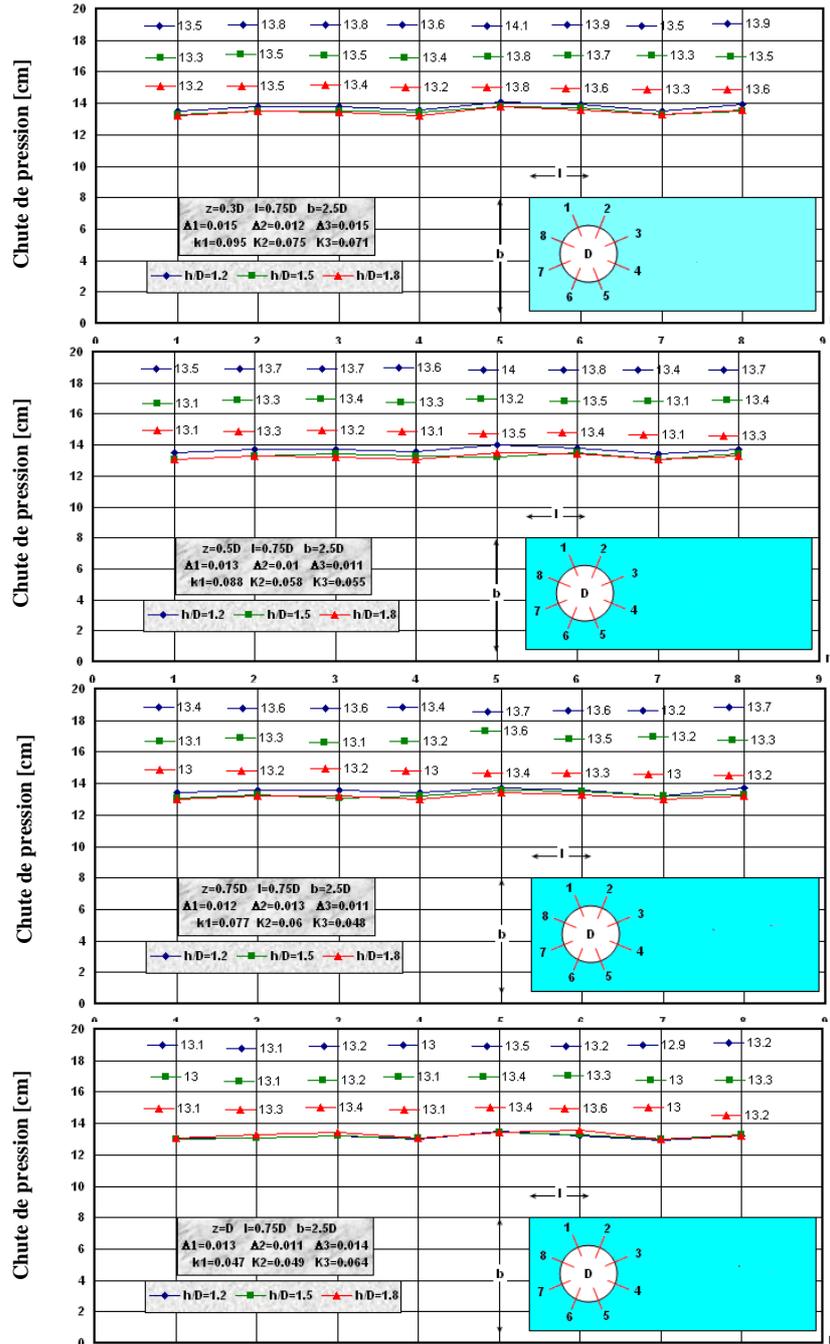


Figure 4.27: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans les bassins [(z=0,3D -0,5D-0,75D-D), b=2,5D, l=0,75D]

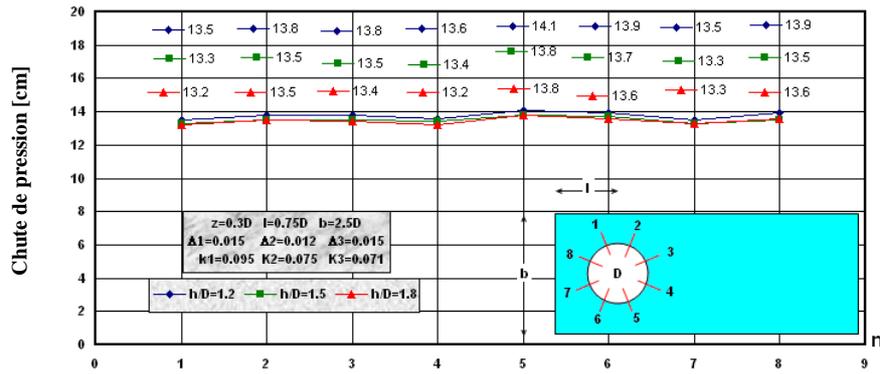


Figure 4.28: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin  $z=0.3D$ ,  $b=2.5D$ ,  $l=0.75D$

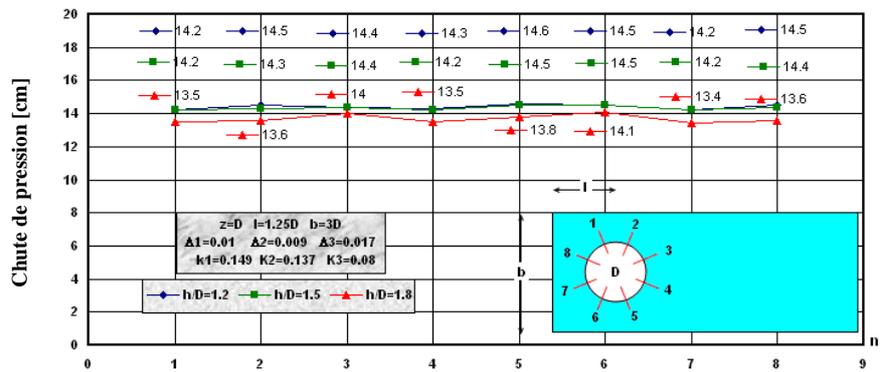


Figure 4.29: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin  $z=D$ ,  $l=1.25D$ ,  $b=3D$

#### 4.7.2.5. Conclusion

De l'analyse des résultats, on peut voir que les paramètres géométriques ne jouent pas le même rôle par rapport à l'intensité de la giration et la distribution de la pression pariétale. En effet, la pression pariétale est la signature, à la fois de la perte de charge, mais également de la répartition de la vitesse dans le tuyau.

Si on revient à la distribution de pression pariétale, on peut considérer que la moyenne reste aux environs de 140 mm de colonne d'eau. Si on considère un écoulement purement axial dans le tuyau, on obtient une pression dynamique de l'ordre de 125 mm de colonne d'eau. Cela donne une idée de la faiblesse des pertes de charge que l'on peut donc estimer à 15 mm de colonne d'eau soit 10% de la pression dynamique, ce qui est normal pour un pavillon d'aspiration.

Un complément d'analyse peut également être fait pour des configurations qui montrent une distribution azimutale non uniforme comme par exemple sur la figure 4.30 qui est reprise ci-dessous. On constate en fait une symétrie des résultats par rapport à l'axe médian du bassin.

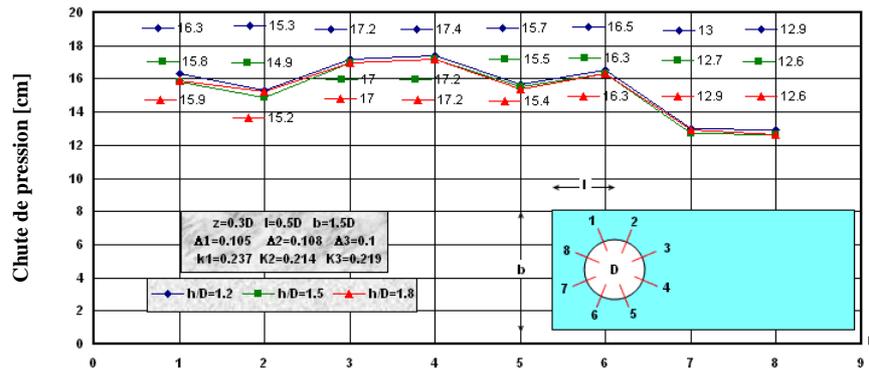


Figure 4.30: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin  $z=0,3D$ ,  $l=0,5D$ ,  $b=1,5D$

Les pressions 7 et 8 sont les plus faibles mais égales entre elles. On retrouve une égalité pour les pressions 3 et 4 mais avec des valeurs plus importantes qui peuvent donner à penser que les pertes de charges sont plus fortes ou que la vitesse est faible. Le gradient entre les prises 2 et 3 se retrouve entre 5 et 4, celui entre 1 et 8 est le même qu'entre 6 et 7. La zone des pressions faibles correspondent au côté du tuyau le plus proche de la paroi arrière. En réalité, c'est la zone de plus faible perte de charge et la chute de pression la plus forte est celle de la zone opposée.

Dans ce cas, on peut comprendre que des faibles valeurs de  $l$  et  $b$  combinées contraignent l'écoulement à avoir des vitesses d'écoulements dans le bassin plus grandes, des tourbillons de surface contraints à se développer dans des bassins aux dimensions étroites et donc d'avoir plus d'intensité avec des dimensions réduites.

Si on libère un des paramètres géométriques comme la largeur du bassin  $b$ , alors les écarts de pression s'amenuisent, puisque les tourbillons ont plus de place pour se développer.

### 4.7.3. L'influence de paramètres sur la formation de tourbillons

#### 4.7.3.1. Les tourbillons issus de la surface libre

Nous avons constaté que :

- Tous les tourbillons observés se développent le long de la hauteur entre le tuyau d'aspiration et la paroi arrière.
- Lorsque  $b$  augmente, les tourbillons aérés diminuent en intensité, se transforment en tourbillon non aérés, ou se réduisent à un simple filet sans air ou bien disparaissent.
- Si  $b$  est petit, il peut arriver qu'un seul tourbillon issu de la surface libre apparaisse de façon intermittente, avec un cœur aéré, comme le montre la figure 4.31. Il est en général situé en milieu de largeur du bassin
- Augmenter la valeur de  $l$  renforce la possibilité que des tourbillons apparaissent. La dimension de ces tourbillons et leurs intensités peut également augmenter.

Par exemple pour  $l=1,25D$ , on observe cette fois-ci, l'existence de deux tourbillons situés symétriquement par rapport à l'axe vertical du bassin, tournant à contre sens, l'un par rapport à l'autre comme le montre la fig. 4.32.

Il est tout à fait concevable que, pour ce cas, les tourbillons qui se développent naturellement à l'arrière du tuyau, soient moins contraints dans leur évolution si  $l$  augmente. Ils peuvent d'ailleurs avoir un caractère d'autant plus instables que  $l$  est grand ; leur comportement peut alors être celui d'un échappement tourbillonnaire du type tourbillons alternés de Karman.

- L'apparition des tourbillons et leurs intensités diminuent avec l'augmentation des valeurs de  $z$ . A partir de  $z=D$ , les tourbillons issus de la surface libre ont une faible intensité si  $b$  est grand, ce qui correspond à des vitesses de fluide faibles en surface ( $b/D$  supérieur à 2,5 et  $l$  petit)
- Augmenter la valeur de  $h$  fait diminuer la possibilité de formation de ces tourbillons.



Figure.4.31 : un tourbillon issu de la surface libre



Figure.4.32 : deux tourbillons issus de la surface libre

#### **4.7.3.2. Les tourbillons issus du fond du bassin**

Nous avons constaté que :

- l'augmentation de la valeur de  $b$  fait diminuer la possibilité que ces tourbillons se forme, et fait diminuer aussi leur intensité. On peut alors avoir un simple filament tourbillonnaire issu du fond. Lorsque  $b$  est petit, on peut observer un tourbillon issu du fond jusqu'à l'entrée du tuyau, (fig.4.33).
- Augmenter la valeur de  $l$  renforce la possibilité que ces tourbillons apparaissent.

- L'apparition de ces tourbillons et leurs intensités diminuent avec l'accroissement de la valeur de  $z$
- Agrandir la valeur de  $z$  fait diminuer la possibilité que ces tourbillons se forment ainsi que leurs intensités.

#### ***4.8. Les meilleures configurations par rapport à la giration***

Parmi les 192 configurations testées nous avons trouvé que les configurations qui donnent de faibles valeurs de giration sont pour  $b=3D$ ,  $l=D$ ,  $h$  max,  $z$  mini.



Figure.4.33 : tourbillon issu du fond du bassin

#### ***4.9. Synthèse des résultats expérimentaux***

Nous avons constaté que les caractéristiques géométriques du bassin influencent énormément la formation de tourbillons dans le bassin. Et d'après les résultats des essais on peut résumer que :

1. Réduire la largeur  $b$  du bassin fait augmenter le degré de la giration, la possibilité de l'apparition de tourbillons issus de la surface libre et les tourbillons issus du fond, et

aussi fait augmenter leurs intensités. De plus, Réduire la largeur  $b$  modifie la distribution de la pression à l'entrée du tuyau d'aspiration.

2. Augmenter la distance  $l$  fait augmenter le degré de la giration, pourtant, cela va diminuer la non- uniformité de la distribution des pressions à l'entrée du tuyau d'aspiration. Le fait de grandir  $l$  favorise l'extension des tourbillons issus de la surface libre, et ceux du fond.
3. Augmenter les valeurs de  $z$ , et  $h$  fait augmenter la possibilité de générer les tourbillons ainsi que leurs intensités. L'effet de ces deux paramètres sur la distribution de la vitesse à l'entrée du tuyau est un peu important. D'ailleurs, augmenter  $z$  augmente le degré de la giration, contrairement à l'augmentation de  $h$  seul en modifiant  $H$ .
4. D'autre part, l'observation visuelle de l'écoulement dans le bassin nécessite parfois du temps pour pouvoir détecter la présence des tourbillons souvent parce que ces tourbillons ne sont pas stables en espace et en temps.
5. On ne connaît pas l'influence réelle sur la pompe Il faudrait donc faire des mesures systématiques précises sur les modifications éventuelles des performances de la pompe.



# 5. PARTIE NUMERIQUE

## 5.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats numériques qui mettent en évidence l'influence de certains paramètres géométriques ou cinématiques.

Avant de faire varier ces paramètres, et pour des conditions géométriques fixées, l'influence des paramètres numériques tels que la taille du maillage, les conditions aux limites, et le modèle de la turbulence seront étudiés.

La géométrie retenue pour les calculs ne correspond pas exactement à celle des essais mais elle correspond à celle, présentée par Patel (1998), figure 5.1. On peut constater que cette géométrie est en similitude géométrique avec celle de mes essais (à part qu'il n'y a pas de pavillon à l'entrée) et en similitude hydraulique.

Comme Patel avait pu réaliser à la fois des essais et des résultats numériques, nous avons préféré rester sur cette géométrie.

Pour la partie expérimentale, on rappelle que le nombre de Reynolds, basé sur le diamètre du tuyau, est de  $1,8 \cdot 10^5$  (vitesse de 1,57 m/s et diamètre  $d$  de 12 cm), alors que les résultats numériques de Patel sont donnés pour deux nombres de Reynolds  $3 \cdot 10^4$  et  $6 \cdot 10^4$ .

Pour notre partie numérique, nous avons gardé le même nombre de Reynolds de  $3 \cdot 10^4$ , pour éviter d'avoir de trop grandes vitesses d'écoulement et rester compatible avec certaines hypothèses, en particulier sur le fait que le fluide est supposé monophasique. Dans cette partie nous avons étudié aussi l'influence de certains paramètres déjà montrés dans la partie expérimentale sur l'écoulement dans le bassin, et d'autres paramètres consacrés à cette partie là. Le tableau 5.1 montre les paramètres communs entre la partie expérimentale et la partie numérique.

Afin de réaliser nos simulations, nous avons choisi le code commercial FLUENT 6, que nous allons présenter dans le paragraphe suivante.

<i>les paramètres d'étude communs entre la partie expérimentale et la partie numérique</i>
<b><i>b</i></b> : la largeur du bassin
<b><i>z</i></b> : la distance entre le tuyau d'aspiration et le bassin
<b><i>h</i></b> : l'immersion du tuyau d'aspiration
<b><i>H</i></b> : l'hauteur total d'eau dans le bassin

Tableau.5.1 : les paramètres communs entre la partie expérimentale et la partie numérique

## **5.2. Présentation du code du calcul**

Ce logiciel est composé de trois éléments : le préprocesseur, le solveur et le post processeur

La définition du problème à résoudre s'effectue à l'aide du **préprocesseur** GAMBIT. Il permet de représenter la géométrie du système, de définir le type de conditions limites aux frontières du domaine, de spécifier les caractéristiques du fluide. Il fournit aussi la possibilité de discrétiser le domaine, en proposant plusieurs algorithmes de maillage suivant sa géométrie.

Le **solveur** permet de définir numériquement les conditions opératoires (gravité, pression) dans lesquelles est effectuée la simulation, ainsi que la spécification des conditions aux limites. Enfin, il permet de choisir le processus itératif, en proposant notamment plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de la vitesse et de la pression. Il offre également une interface permettant de contrôler à tout moment l'état d'avancement des calculs.

Le **post processeur** est l'élément qui permet de visualiser la géométrie et le maillage du domaine, mais surtout d'afficher les résultats obtenus. Il est ainsi possible de visualiser les champs de vitesse, de pression, et de turbulence ainsi que toutes les grandeurs calculées comme les champs de vitesse sur un segment, une section du domaine ou sur tout le volume. Il offre aussi la possibilité de tracer des courbes et de visualiser les lignes de courant ou la trajectoire de particules.

## **5.3. Les types de Maillage**

L'opération de maillage est très importante. De sa qualité dépend la précision des calculs. Un nombre de mailles insuffisant fera diverger les calculs ou sera responsable d'une diffusion numérique trop importante. Il faut trouver un compromis entre le nombre de mailles et le temps de calcul qui augmente considérablement avec le raffinement de la discrétisation du domaine.

### **5.3.1. Maillage du cas principal**

Le bassin d'aspiration est représenté par une forme rectangulaire avec une surface libre, et un tuyau d'aspiration situé verticalement à l'extrémité avale du bassin, au milieu des deux parois latérales comme le montre la figure 5.1. Les dimensions données dans le tableau 5.2 sont présentées par rapport à  $d$ , diamètre du tuyau. Notons que le tuyau ne possède pas de pavillon.

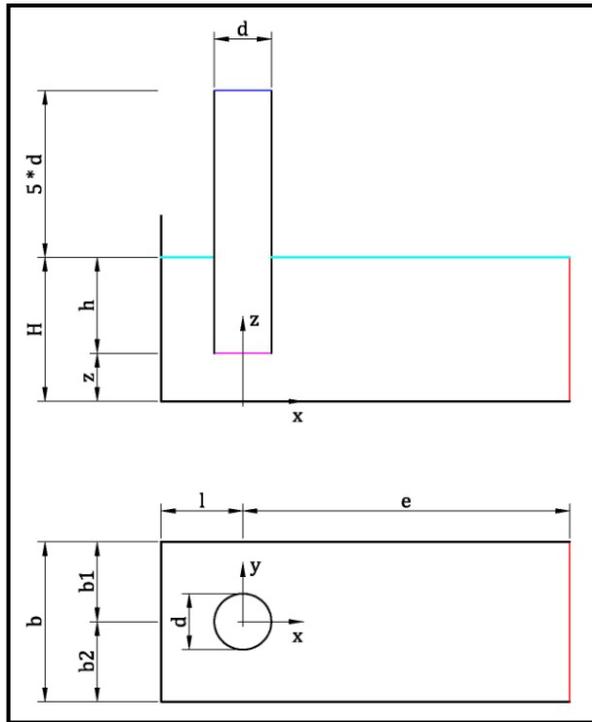


Fig.5.1 : géométrie du cas principal

d	0.1m
z	0,75 d
h	2 d
H	2,75 d
b1	1,3 d
b2	1,3 d
b	2,6 d
l	0,9 d
e	6,5 d

Tableau.5.2 : dimensions caractéristiques du bassin

### 5.3.2. Création du maillage

Notre objectif était de créer un maillage structuré semblable à celui de Patel. Pour cela, nous avons choisi de diviser le domaine de calcul en 3 blocs, fig. 5.2. De façon à simplifier la géométrie et le maillage nous avons négligé l'épaisseur du tuyau. Les trois parties sont maillées à l'aide d'un maillage curviligne hexaédrique, qui suit l'écoulement. Un tel maillage peut être raffiné très facilement près des parois et peut capturer plus facilement les tourbillons issus des parois, preuve en est que pour des maillages beaucoup moins raffinés près des parois, les tourbillons n'ont pas pu être observés.

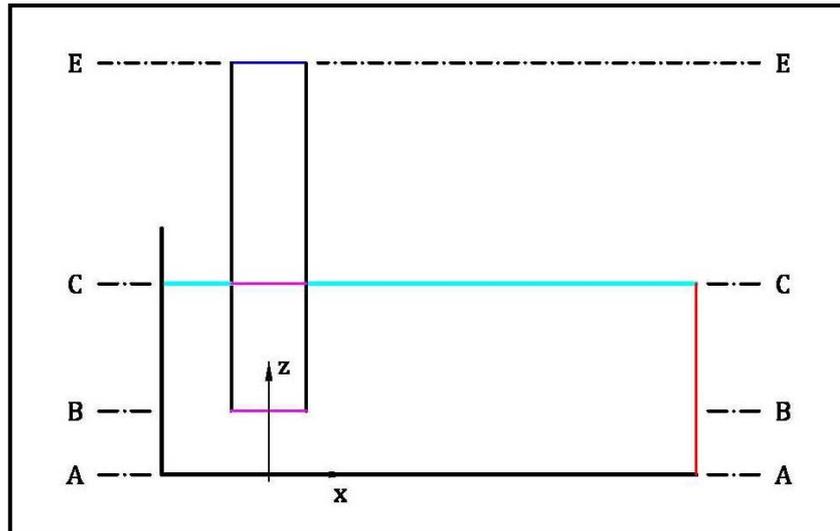


Figure. 5.2 : les trois blocks du maillage dans le plan  $(x, z)$

La première portion A-B contient la partie du bassin située sous l'entrée du tuyau. La coupe d'une section dans cette partie est représentée dans la figure 5.3 dans laquelle on peut distinguer la coupe du tuyau de la coupe du reste du bassin.

La deuxième partie B-C contient la portion du tuyau immergée dans le bassin et le reste du bassin jusqu'à la surface libre. La troisième partie C-E comporte uniquement le tuyau hors bassin, située au dessus de la surface libre. Les tableaux, donné en annexe A, détaille les différentes parties et précisent leurs dimensions, et leur densité.

Afin de tester l'influence du maillage nous en avons créé deux : un maillage contenant 171900 cellules et un autre de 592042 cellules. L'avantage de ce type de maillage est qu'on peut en modifier facilement la densité, la progression géométrique et les dimensions. La densité et la structure de maillage, ainsi que le maillage final sont données dans les figures suivantes 5.4, 5.5 et 5.6.

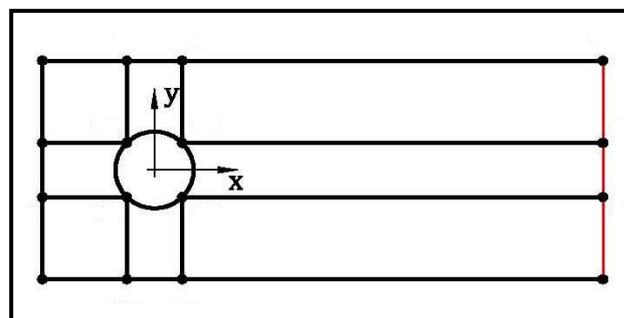


Figure 5.3 : le coup dans la section A-A

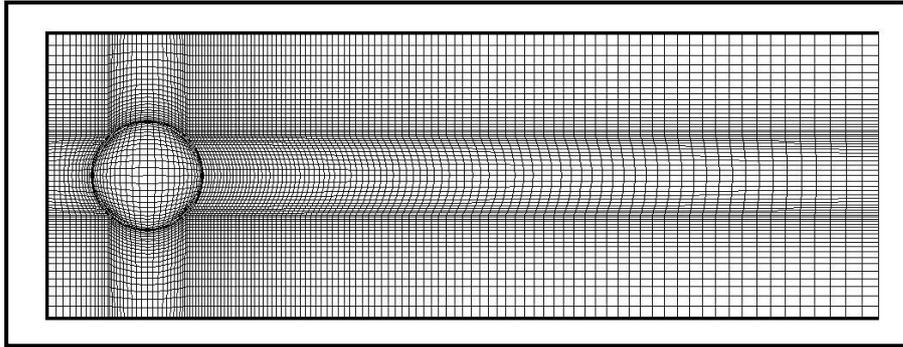


Figure.5.4 : maillage structuré dense pour 592042 cellules pour z constant

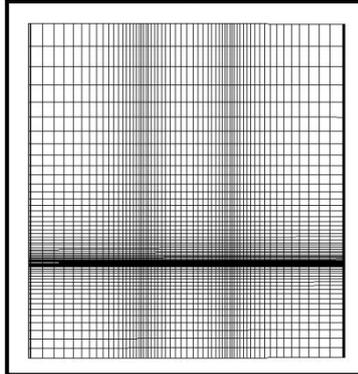


Figure.5.5 : maillage structuré dense pour 592042 cellules pour x constant

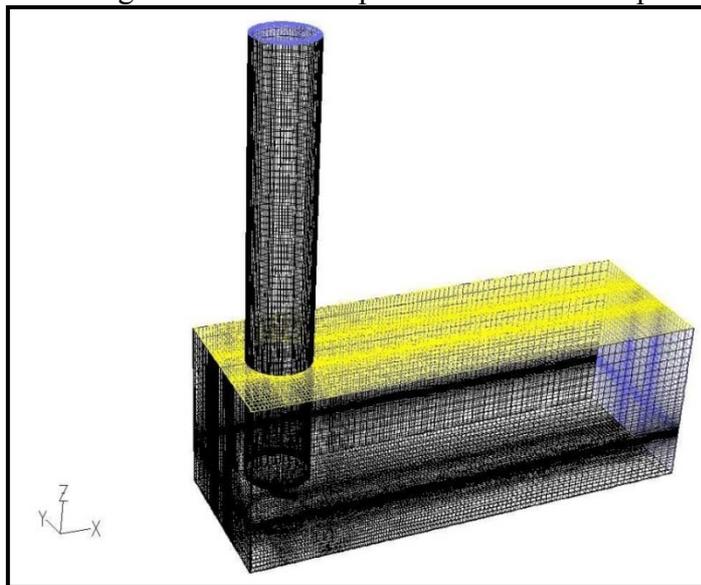


Figure.5.6 : vue 3D du maillage dense pour 592042 cellules

## 5.4. Conditions aux limites

### 5.4.1. Choix des conditions

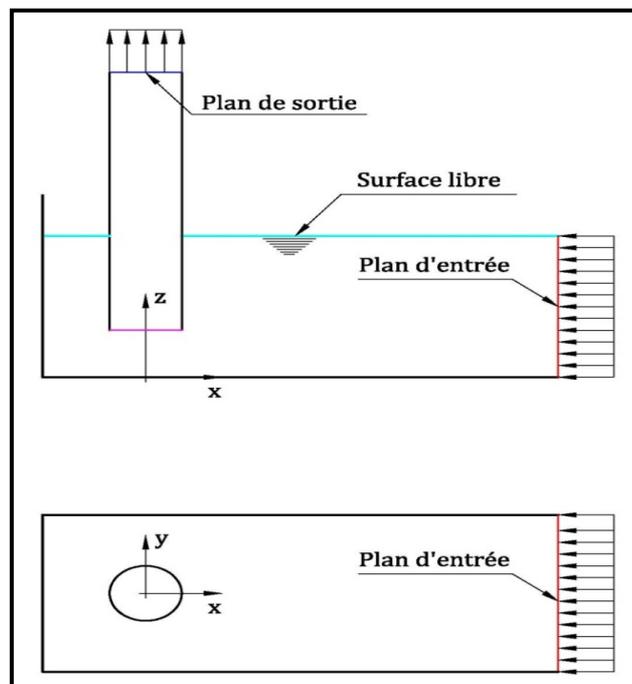
Une fois le maillage réalisé, il faut pour lancer la procédure des calculs, fixer les conditions aux limites du domaine. Parmi les possibilités offertes par le code, le choix s'est porté sur les conditions aux limites suivantes, (voir figure 5.7):

- pression constante dans le plan d'entrée à l'infini amont,
- vitesse à la sortie,
- pour la surface libre, il est possible de choisir entre une condition de paroi, une pression uniforme et une condition de symétrie.

#### 5.4.1.1. Les résultats pour les conditions de pression sur la surface libre

La condition de paroi est difficilement adaptable car il s'agit d'un fluide à surface libre. La vitesse ne peut donc pas être nulle.

Deux calculs différents avec les deux conditions aux limites restantes ont été effectués. Les résultats sont donnés figure 5.8 et 5.9 respectivement pour chacun des modèles de turbulence pour une condition de pression constante sur la surface libre. Aucun des résultats obtenus sont capables de montrer l'existence de tourbillons en surface. Effectivement, imposer une pression constante est incompatible avec la formation de tourbillons car il est bien connu que la pression statique diminue vers le centre d'un tourbillon.



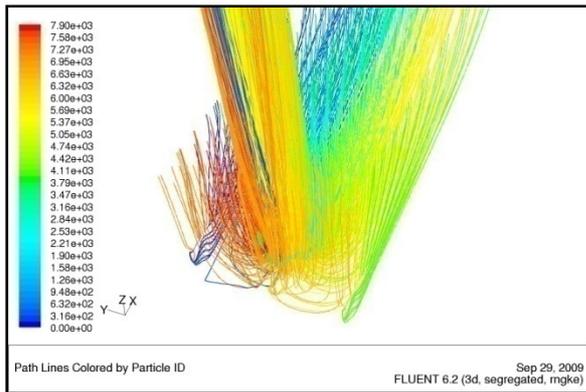


Figure 5.8 : lignes de courant pour une condition de pression k-ε-592042 cellules

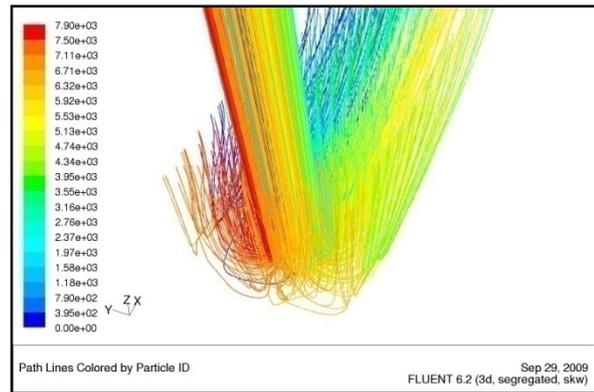


Figure 5.9 : lignes de courant pour une condition de pression- k-ω-592042 cellules

#### 5.4.1.2. La condition de symétrie sur la surface libre

Si l'on ne prend pas en compte la déformation de la surface libre, les conditions limites imposées sont les suivantes :

La composante de la vitesse perpendiculaire à la surface libre est nulle, soit  $\vec{v} \cdot \vec{n} = 0$

Avec  $\vec{n}$  vecteur sortant normal à la limite. Cela signifie qu'il n'y a pas de flux convectif à travers la surface libre.

La dérivée normale des composantes de la vitesse, ainsi que celle de  $k$  et  $\epsilon$  ou  $\omega$  est nulle :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$$

Pour  $\Phi = v_i, k$  et  $\epsilon$  ou  $\omega$ . Le flux diffusif de ces grandeurs physiques est donc nul, à travers cette limite.

#### 5.4.1.3. Les résultats pour les conditions de symétrie sur la surface libre

Pour un maillage grossier (171900), des tourbillons issus de la surface libre ont été détectés dans ces conditions quels que soient les modèles de turbulence comme le montrent les figures 5.10 et 5.11.

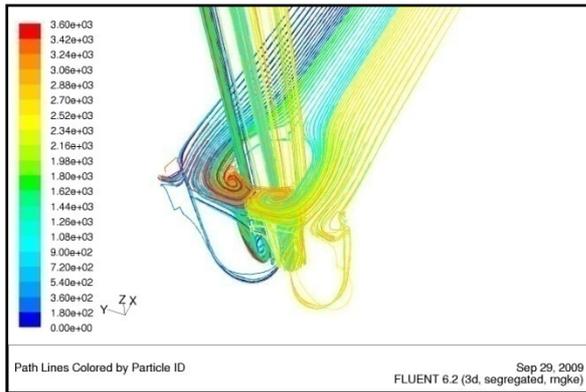


Figure 5.10 : lignes de courant pour la condition de symétrie- k-ε-171900cellules

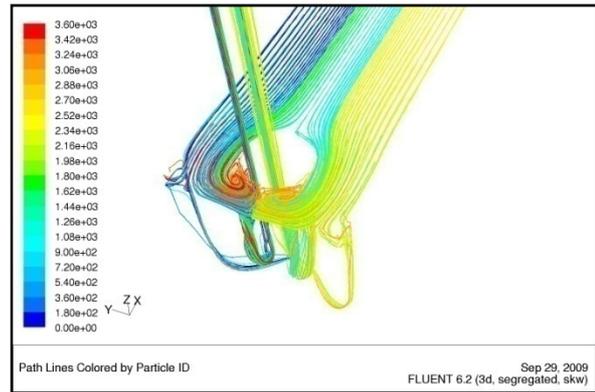


Figure 5.11 : lignes de courant pour la condition de symétrie- k-ω-171900cellules

### 5.5. Influence de la densité de maillage

Pour bien confirmer que ce n'est pas la densité du maillage qui est en cause pour capter les tourbillons de surface, des calculs complémentaires ont été effectués avec un maillage plus dense (592046 cellules). Les résultats sont donnés figures 5.12 et 5.13 pour k-ε et k-ω.

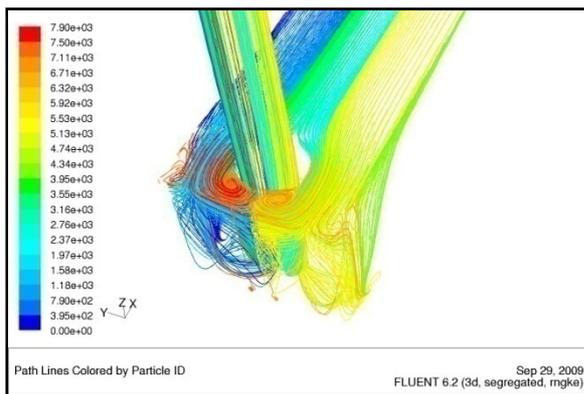


Figure 5.12 : lignes de courant pour la condition de symétrie- k-ε-592042 cellules

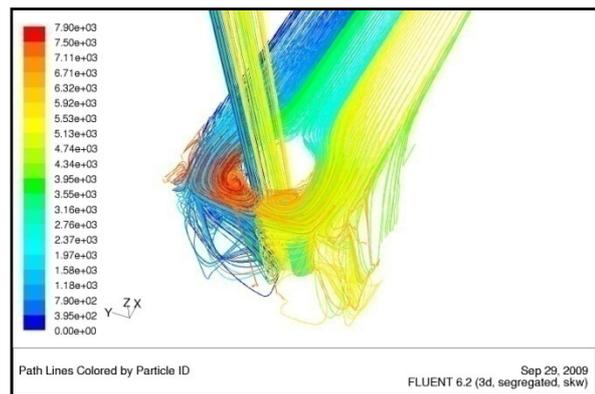


Figure 5.13 : lignes de courant pour la condition de symétrie - k-ω-592042 cellules

Ainsi, les calculs effectués avec un maillage dense mettent en évidence un nombre de tourbillons plus grand qu'avec le maillage plus grossier quelles que soient les conditions aux limites ou les modèles de turbulence. Les figures 5.14, 5.15 présentent, outre les lignes de courant issues de la surface libre, celles qui montrent qu'il y a des tourbillons issus de paroi arrière et des murs latéraux, non captés par le maillage grossier, pour le même modèle de turbulence k-ε et les mêmes conditions aux limites. Le même résultat est obtenu pour le modèle de turbulence k-ω avec les mêmes conditions aux limites, selon les figures 5.16 et 5.17. Cela confirme les résultats de Patel et al (1998) ; la différence entre les résultats sur un maillage grossier et fin peut être de l'ordre de 4%.

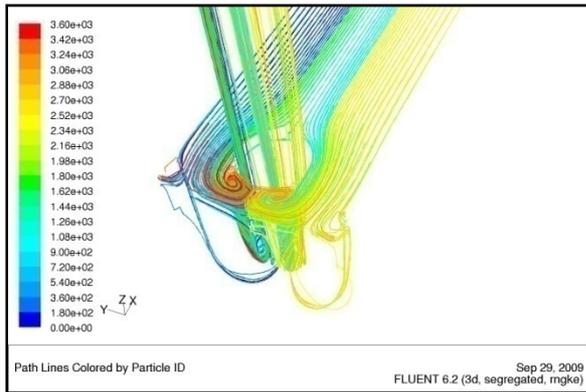


Figure 5.14: lignes de courant pour maillage de 171900 cellules- k- $\epsilon$

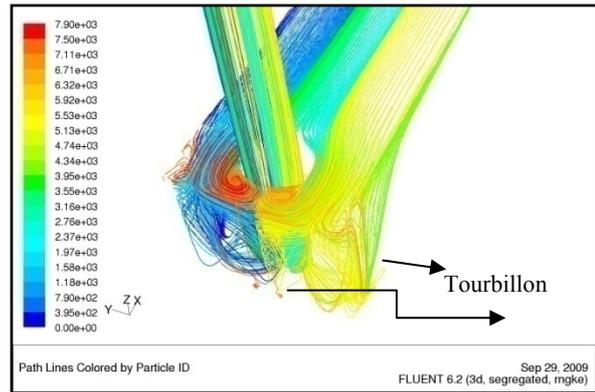


Figure 5.15 : lignes de courant pour maillage de 592042 cellules - k-  $\epsilon$

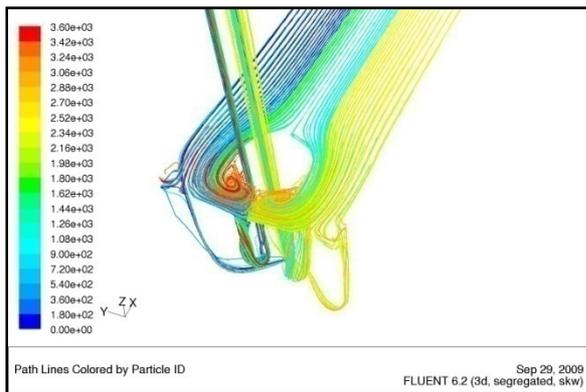


Figure 5.16 : lignes de courant po pour maillage de 171900 cellules - k-  $\omega$

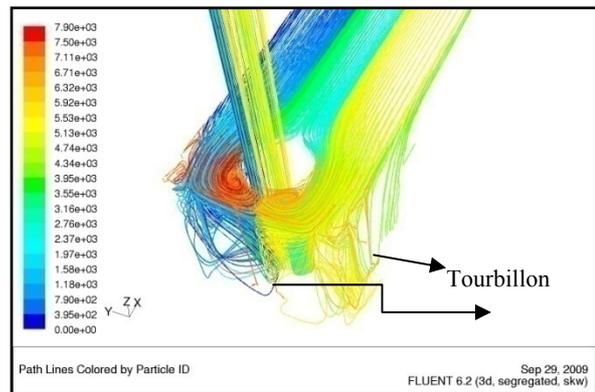


Figure 5.17 : lignes de courant pour maillage de 592042 cellules - k- $\omega$

## 5.6. La convergence

Avec la condition de symétrie sur la surface libre, les calculs convergent mieux en utilisant la condition de pression à l'entrée et la vitesse à la sortie. Les figures 5.18 et 5.19 montrent les schémas de convergence pour les deux cas de turbulence. Pourtant, en utilisant d'autres conditions à l'entrée et à la sortie, les calculs ne convergent pas quelque soit le modèle de turbulence. Comme exemple, Les figures 5.20 et 5.21 montrent deux schémas de convergences pour la vitesse à l'entrée et la pression à la sortie pour deux modèles de turbulence. Pour s'assurer de la convergence des calculs, nous affichons une valeur des résidus inférieurs à  $10^{-5}$ .

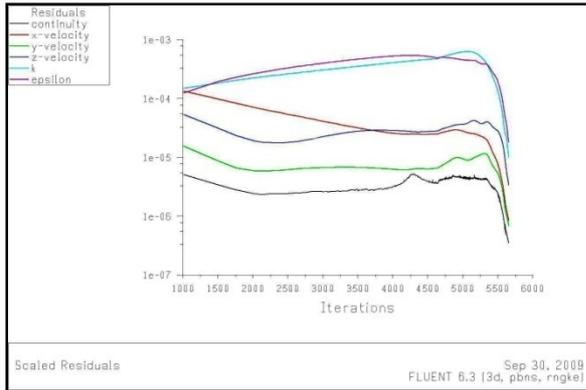


Figure 5.18: Convergence pour - k- $\epsilon$

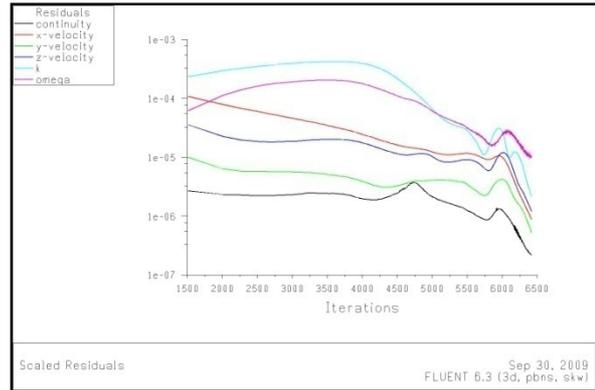


Figure 5.19: Convergence pour - k- $\omega$

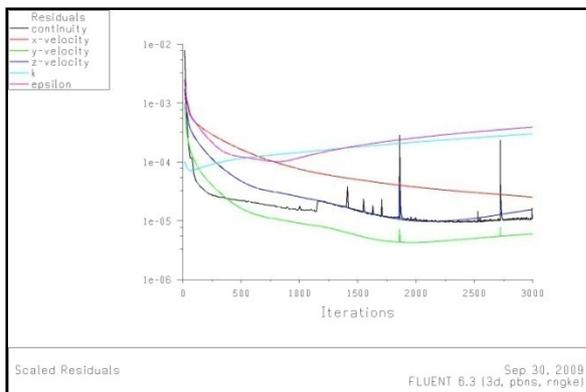


Figure 5.20 Convergence pour - k-  $\epsilon$

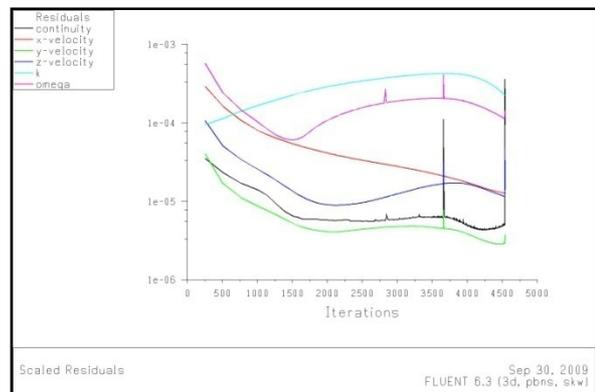


Figure 5.21 Convergence pour k-  $\omega$

## 5.7. Présentation des résultats issus de la modélisation

### 5.7.1. Introduction

Les résultats sont présentés en général selon quatre types de figures :

- Vues en 3D des lignes de courant issues de la surface libre à l'amont du domaine
- Iso valeurs de la vorticité projetée sur le plan médian (x, z) pour  $y=0$  et (y, z) pour  $x=0$
- Iso valeurs de la vitesse tangentielle et axiale pour quatre différentes cotes  $Z/d$  à l'intérieur de tuyau ( $Z=0$  correspondant au fond du bassin)
- Iso valeurs de la pression statiques à l'intérieur du tuyau pour différentes valeurs de  $Z$ .

Pour une grande partie des cas, nous en avons profité pour tester également deux modèles de turbulence.

### 5.7.2. L'influence de z

Ce paragraphe concerne la configuration géométrique suivante : ( $b=2.6d$ ,  $H=2.75d$ ,  $l=0.9d$ ). Le tuyau placé au milieu entre les murs latéraux du bassin. Il ne possède pas de pavillon en entrée. Les conditions d'écoulement à l'amont du bassin sont uniformes. Cette configuration a été choisie, car identique à celle de Patel (1998) (fig.5.1) pour tester deux modèles de turbulence : modèle  $k-\varepsilon$  et  $k-\omega$ . Dans le tableau 5.3 se trouve les différentes valeurs de z choisies.

Paramètres constants		Re=28600	We=115
cas	z	h	Fr
	0,5d	2,25d	0.0212
	0,75d	2d	0.0225
	d	0,75d	0.0224

Tableau 5.3 : cas étudiés pour le paramètre z

Les lignes de courant issues de la surface libre sont montrées figures (5.22.a) à (5.24b) pour les trois valeurs distinctes de z. Pour chaque valeur de z, l'indice (a) correspond aux résultats utilisant le modèle  $k-\varepsilon$  et l'indice (b) pour  $k-\omega$ .

Notons que si il existe une influence supplémentaire, on pourrait faire intervenir le nombre de Webeer qui représente les effets de tensions superficielles. Elles peuvent avoir une importance relativement forte si les dimensions du bassin diminuent (ex : b la largeur plus faible), ce n'est le cas ici parce que le nombre de Webeer a été choisi relativement grand.

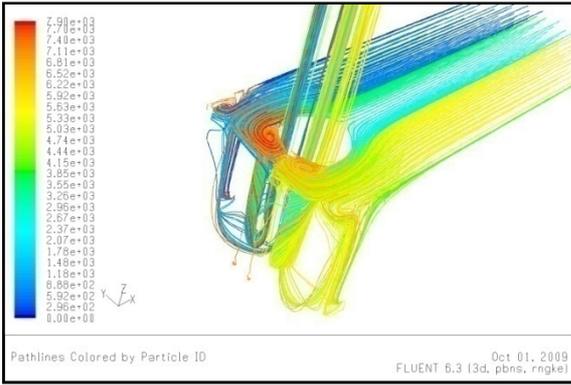


Figure 5.22.a : lignes de courant- $z=0,5d$

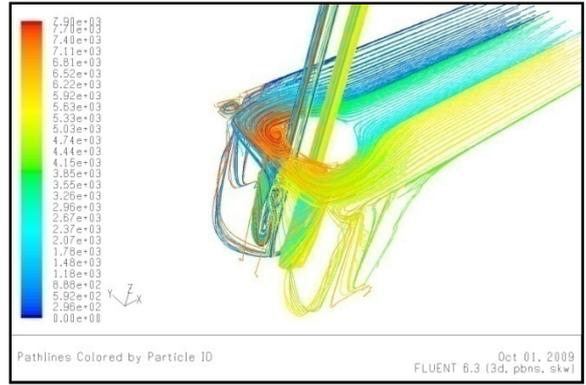


Figure 5.22.b : lignes de courant- $z=0,5d$

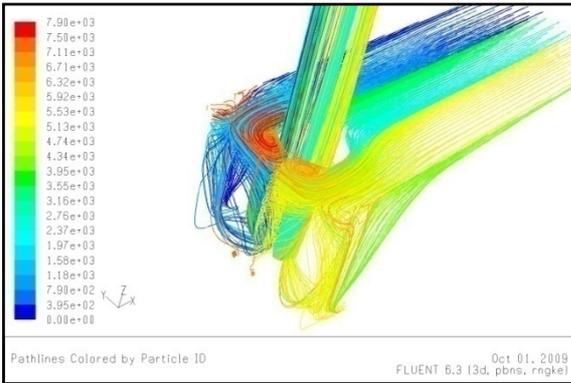


Figure 5.23.a : lignes de courant- $z=0,75d$

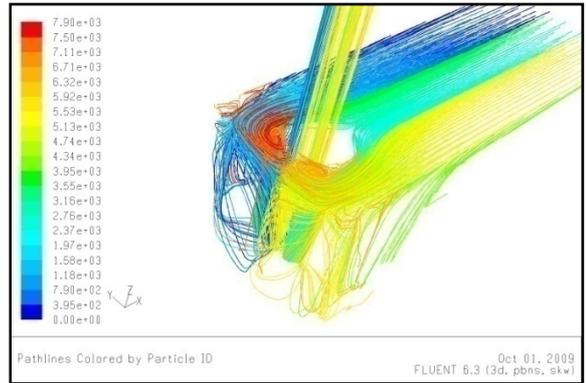


Figure 5.23.b : lignes de courant- $z=0,75d$

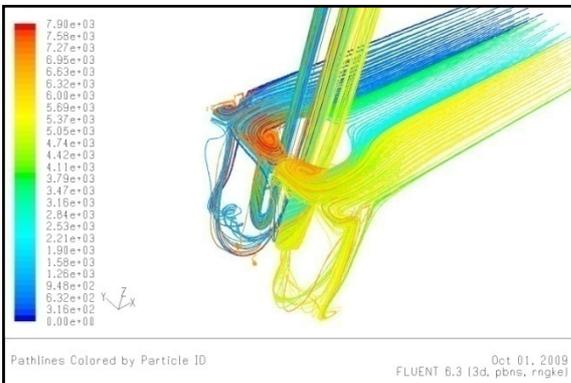


Figure 5.24.a : lignes de courant- $z=d$

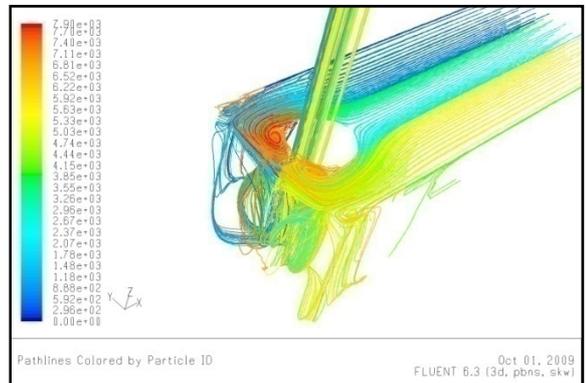


Figure 5.24.b : lignes de courant- $z=d$

### 5.7.2.1. Vorticité

Les figures (5.25.a) à (5.27.b) présentent les iso-valeurs de vorticité dans le plan(x, z) respectivement pour k- $\epsilon$  et k- $\omega$  et ce, pour différentes distances z croissantes donnant la position du tuyau par rapport au fond du bassin. Les résultats montrent qu'une importante différence des évolutions de la vorticité existe entre les deux modèles. Cette différence est très significative à l'intérieur même du tuyau où on peut observer d'importants gradients dans des zones dont on voit par ailleurs qu'elles correspondent à des zones décollées pour le modèle k- $\epsilon$ . Cette zone est plus étendue pour la partie du tuyau opposée au mur arrière.

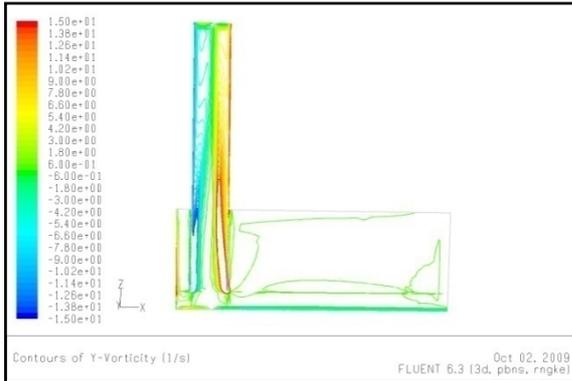


Fig.5.25.a : la vorticité dans le plan (x-z) pour z=0,5d

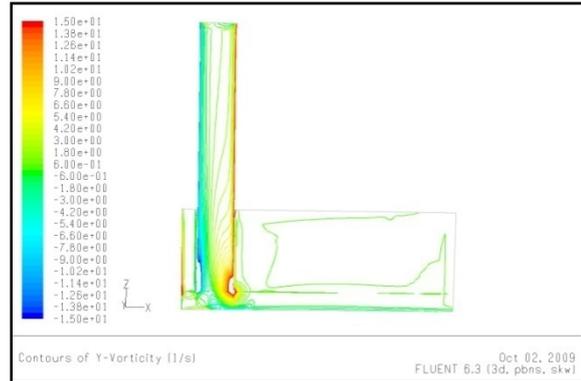


Fig.5.25.b : la vorticité dans le plan (x-z) pour de z=0,5d

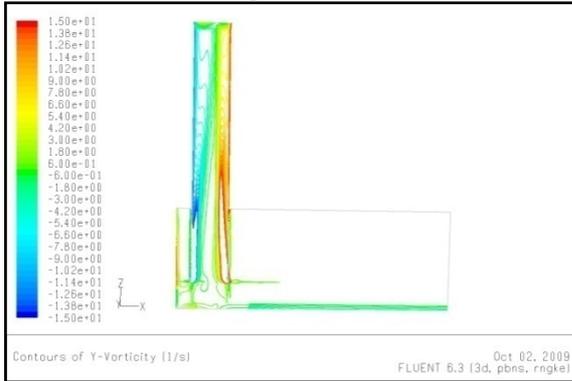


Fig.5.26.a: la vorticité dans le plan (x-z) pour z=0,75d

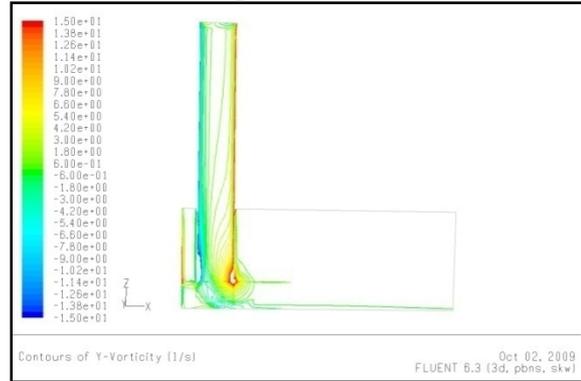


Fig.5.26.b: la vorticité dans le plan (x-z) pour z=0,75d

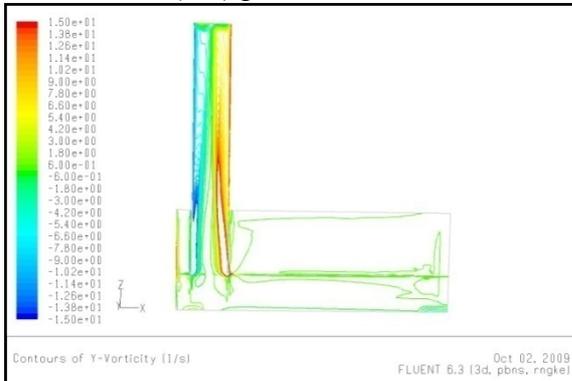


Fig.5.27.a: la vorticité dans le plan (x-z) pour z=d

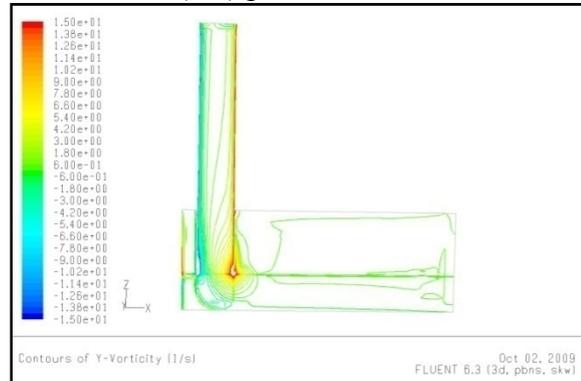


Fig.5.27.b: la vorticité dans le plan (x-z) pour z=d

Pour les résultats issus du modèle  $k-\omega$  par contre, on constate que ces zones sont nettement moins étendues. Les mêmes types de configurations pour les figures (5.28.a) à (5.30.b) pour les plans  $(y, z)$ . Pour cette série de figures, on constate également une symétrie des résultats par rapport au plan  $x=0.$ , ce qui est logique. Les résultats obtenus avec le modèle  $k-\omega$  montrent qu'il existe une influence de la position  $z$  sur la structure de l'écoulement dans le tuyau ; les gradients tendent à diminuer lorsque l'entrée du tuyau s'éloigne du fond du bassin, ce qui semble logique puisqu'il y a de moins en moins d'effet de blocage de l'écoulement local.

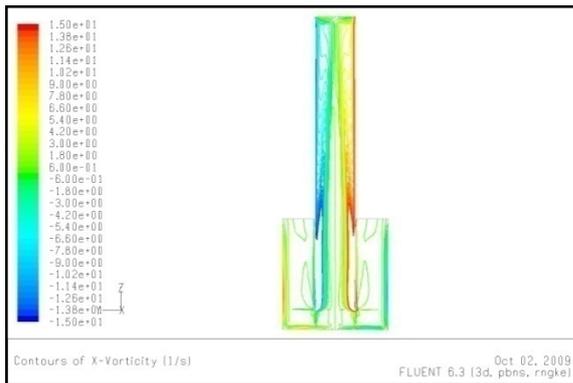


Fig.5.28.a: la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour  $z=0, 5d$

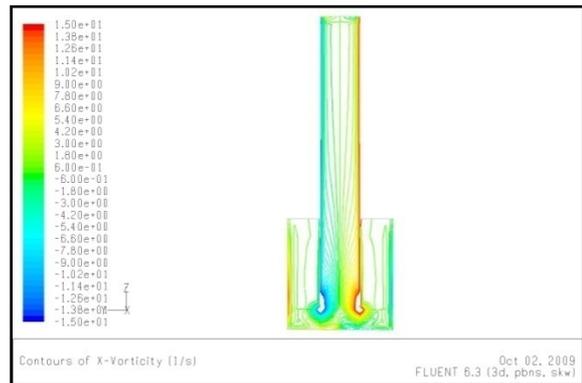


Fig.5.28.b : la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour de  $z=0,75d$

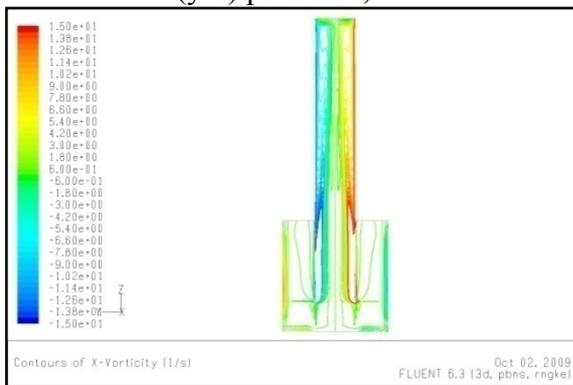


Fig.5.29.a: la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour  $z=0,75d$

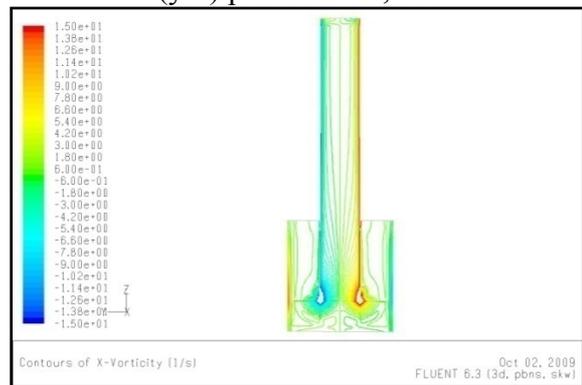


Fig.5.29.b : la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour de  $z=0,75d$

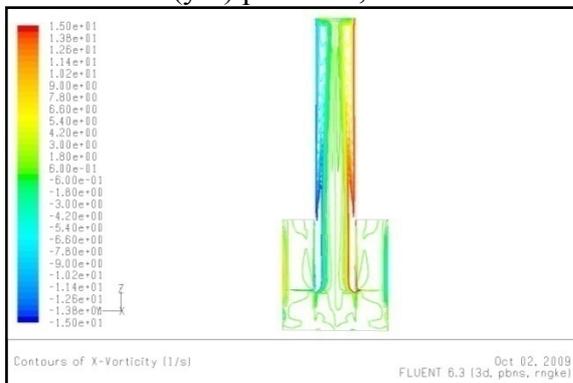


Fig.5.30.a: la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour  $z=d$

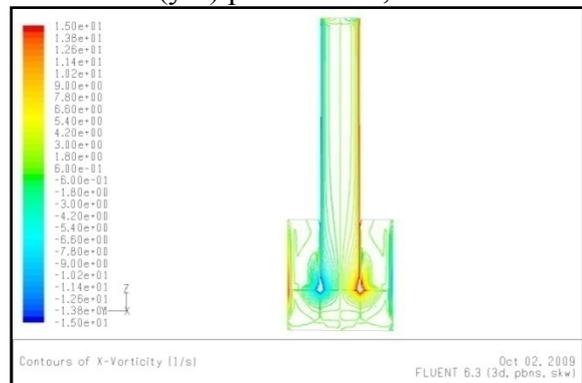


Fig.5.30.b: la vorticité dans le plan  $(y-z)$  pour  $z=d$

Cette tendance n'est pas observée pour les résultats obtenus avec le modèle  $k-\varepsilon$ . Enfin, les évolutions de cette quantité dans le bassin et à l'approche de l'entrée du tuyau sont très différentes entre l'entrée du modèle et en particulier sur les effets conjoints de la vorticité provenant des couches limites pariétales du fond du bassin, des parois latérales et de l'écoulement provenant de la surface libre à ce stade, rien ne permet de faire un choix entre les deux modèles.

### **5.7.2.2. Vitesses axiales et tangentielles**

Les résultats portant sur les évolutions des vitesses axiales, figures (5.31.a)    (5.34.b), et tangentielles, figures (5.35.a)    (5.38.b), à l'intérieur du tuyau sont respectivement portées pour les deux modèles et pour quatre sections différentes  $Z$ , pour  $z=0,5d$ .

On constate bien une zone de vitesses axiales négatives le long des parois du tuyau pour les résultats utilisant le modèle  $k-\varepsilon$ . Un décollement plus fort apparaît dans la zone opposée au mur arrière, ce qui est cohérent avec les évolutions déjà constatées pour les iso valeurs de la vorticité dans le plan  $(x, z)$ .

Il en résulte un fort blocage de l'écoulement et du gradient de vitesse axiale plus prononcés que pour les résultats issus du modèle  $k-\omega$

Les iso valeurs des vitesses tangentielles montrent une symétrie logique pour les deux modèles, mais bien entendu avec des distributions différentes

L'influence de la position du tuyau  $z$  par rapport au fond du bassin est montrée dans les figures (5.39.a)    (5.46.b) et (5.47.a)    (5.54.b) respectivement pour  $z=0,75d$  et  $z=d$ . On y retrouve les mêmes écarts, mais toujours une symétrie des résultats. Cependant, on décèle une influence plus marquée sur les gradients de vitesses axiales lorsque  $z$  varie avec le modèle  $k-\omega$ . Les vitesses tangentielles semblent également plus importantes à l'entrée du tuyau lorsque  $z$  augmente.

Ainsi, l'écoulement perd de plus en plus son caractère théoriquement axisymétrique lorsque  $z$  augmente, autrement dit quant le tuyau remonte. Cela est à rapprocher de nos essais qui montrent une augmentation de la giration dans ces cas là.

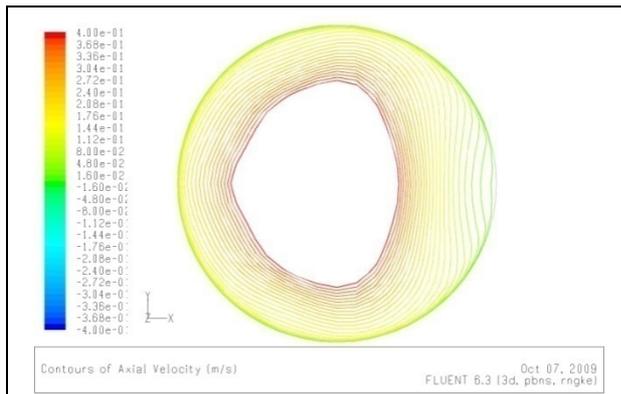


Fig.5.31.a : cas de  $z=0,5d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

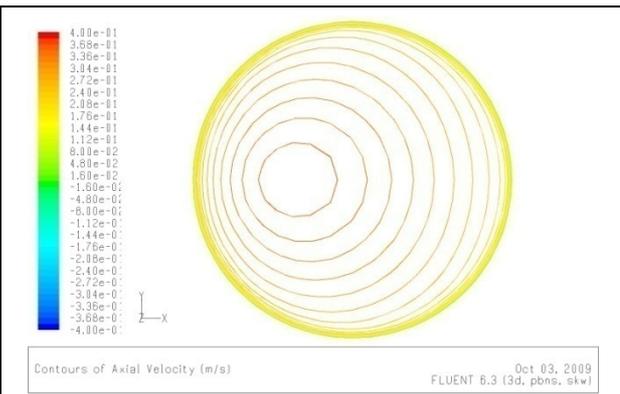


Fig.5.31.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

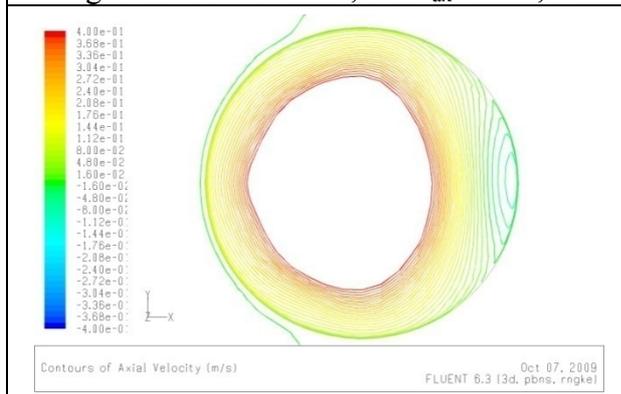


Fig.5.32.a : cas de  $z=0,5d$ - $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

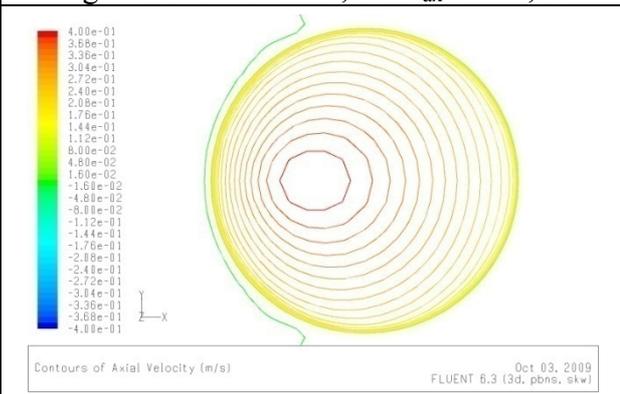


Fig.5.32.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

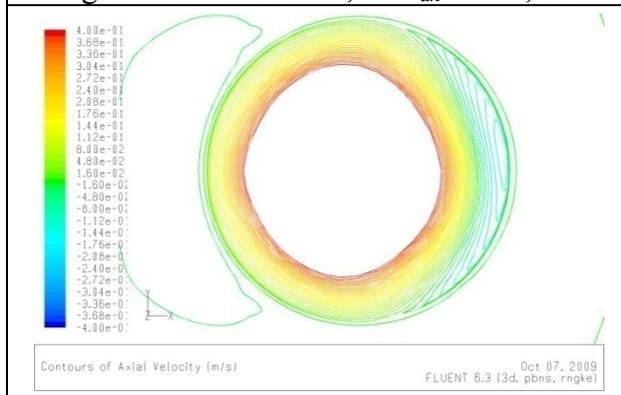


Fig.5.33.a : cas de  $z=0,5d$ - $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

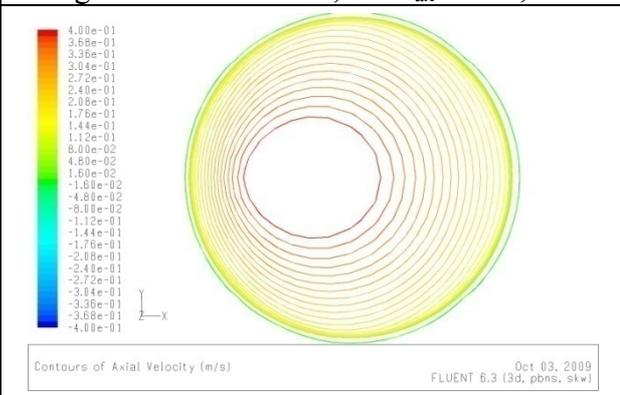


Fig.5.33.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

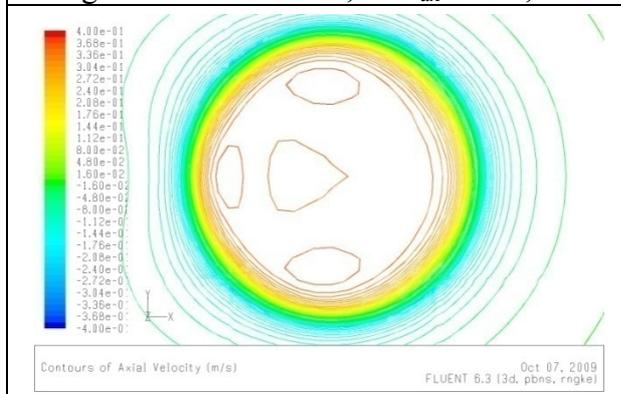


Fig.5.34.a : cas de  $z=0,5d$ - $V_{ax}$  à  $Z=0,5d$

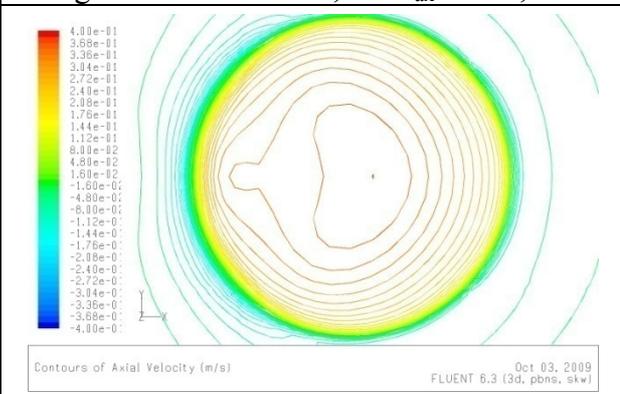


Fig.5.34.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,5d$

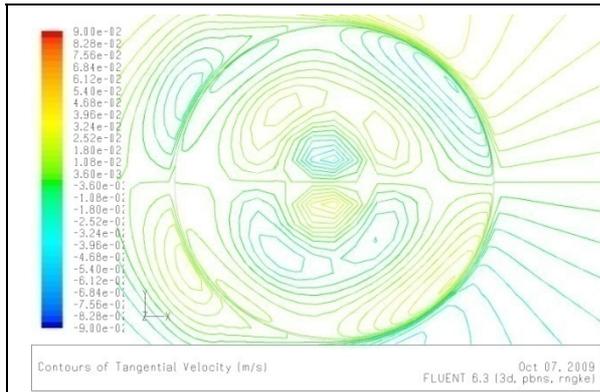


Fig.5.35.a: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=2, 5d$

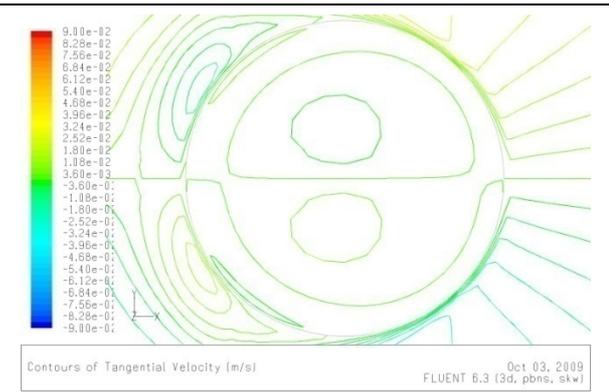


Fig.5.35.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=2, 5d$

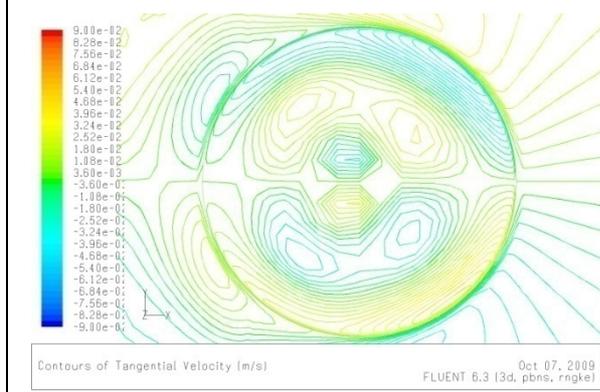


Fig.5.36.a: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=1,75d$

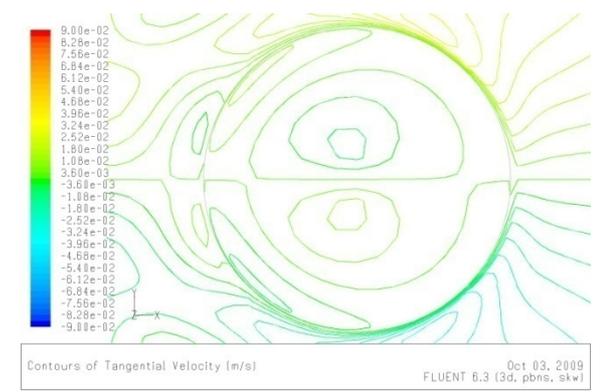


Fig.5.36.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=1,75d$

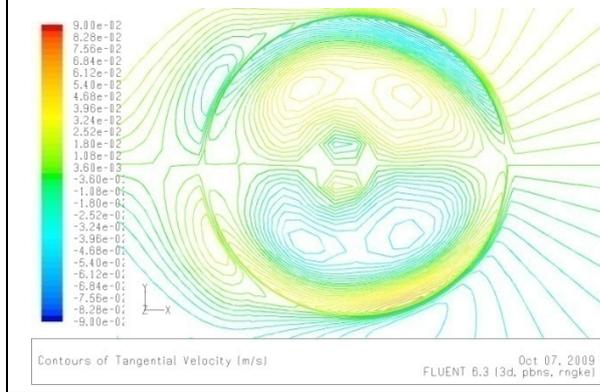


Fig.5.37.a: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=1,25d$

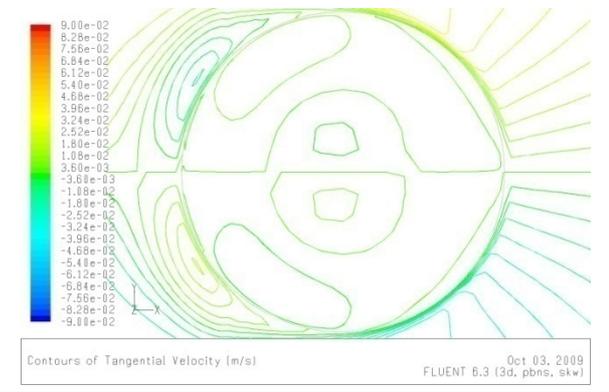


Fig.5.37.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=1,25d$

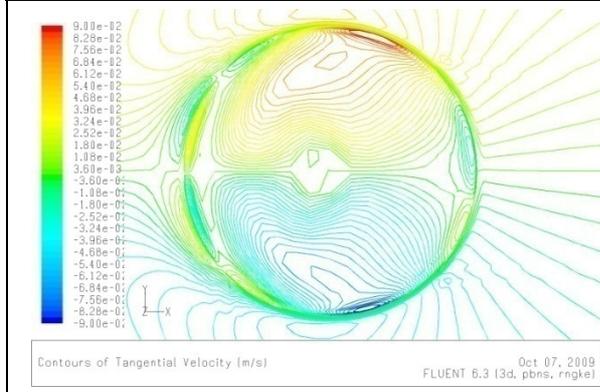


Fig.5.38.a: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=0,5d$

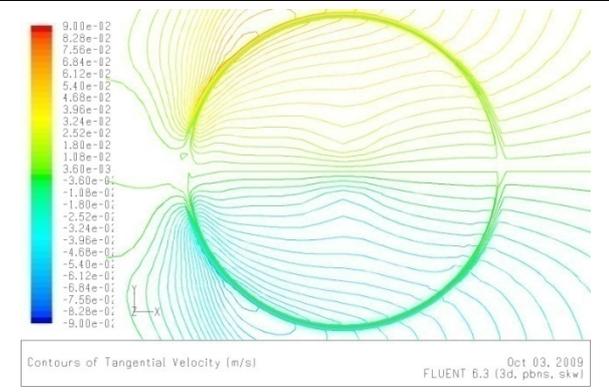


Fig.5.38.b: cas de  $z=0,5d$ -  $V_\theta$  à  $Z=0,5d$

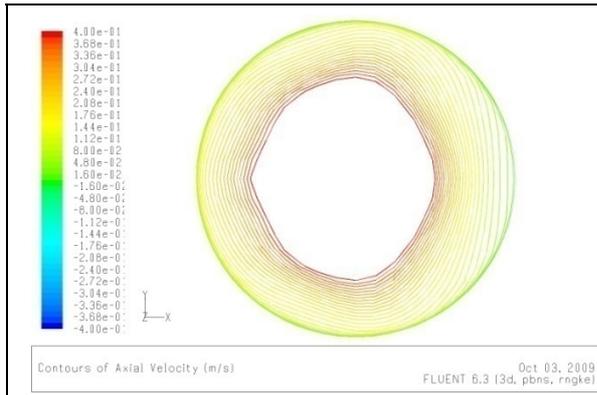


Fig.5.39.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

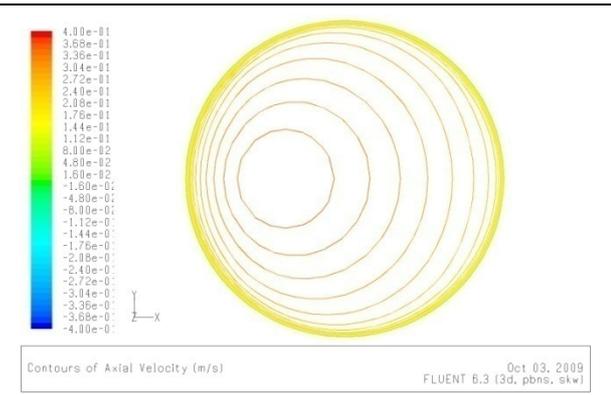


Fig.5.39.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

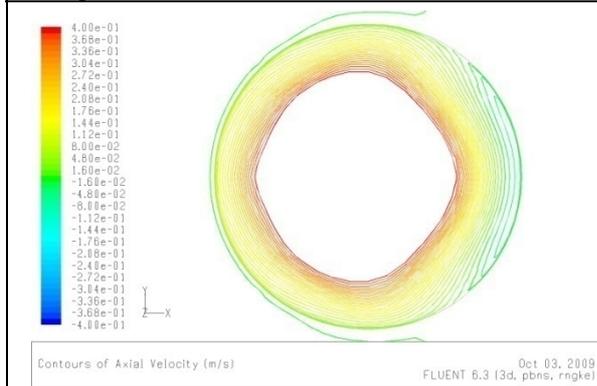


Fig.5.40.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$



Fig.5.40.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

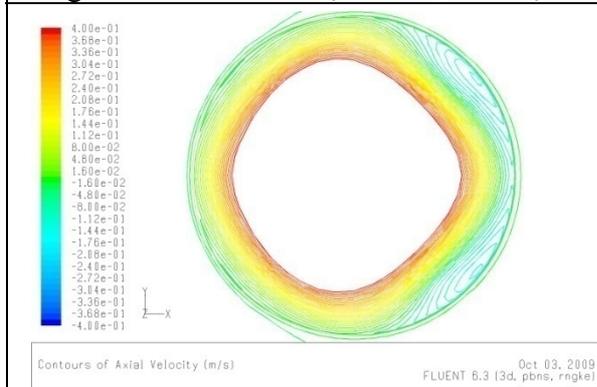


Fig.5.41.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

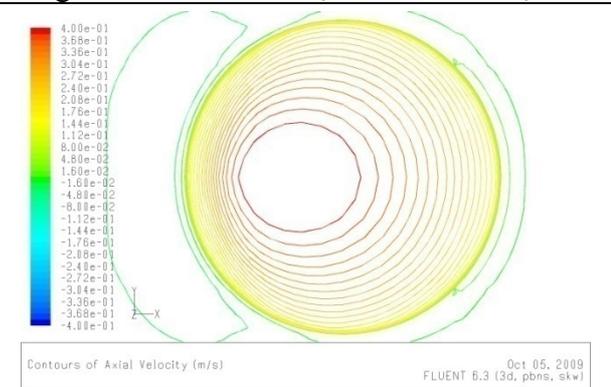


Fig.5.41.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

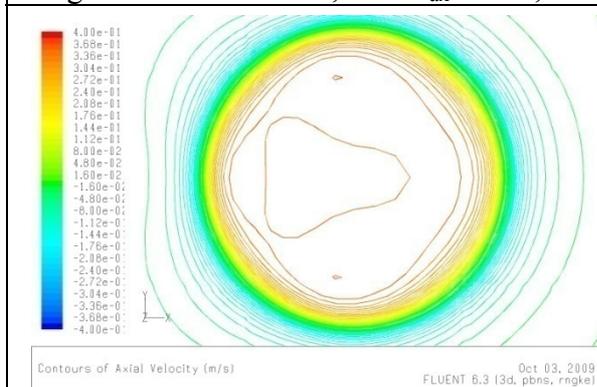


Fig.5.42.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75$

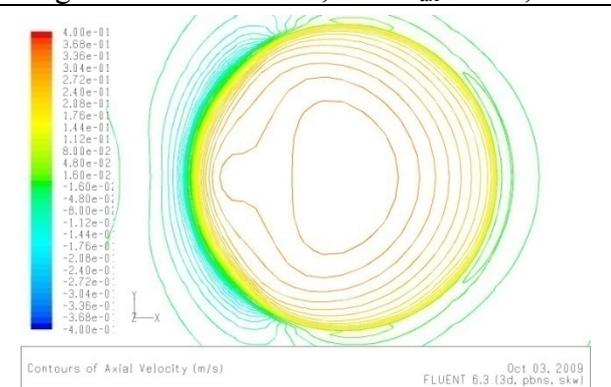


Fig.5.42.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

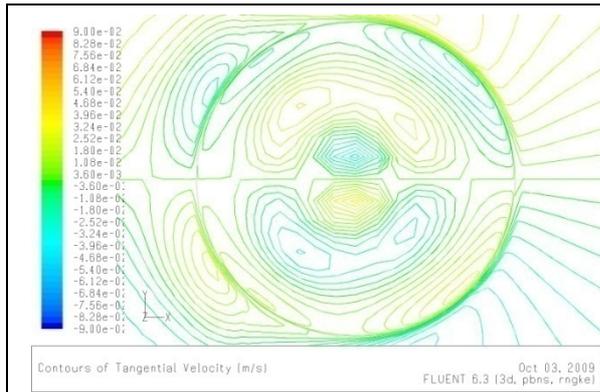


Fig.5.43.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

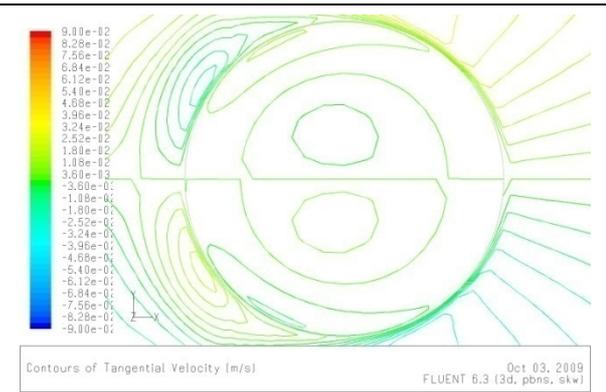


Fig.5.43.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

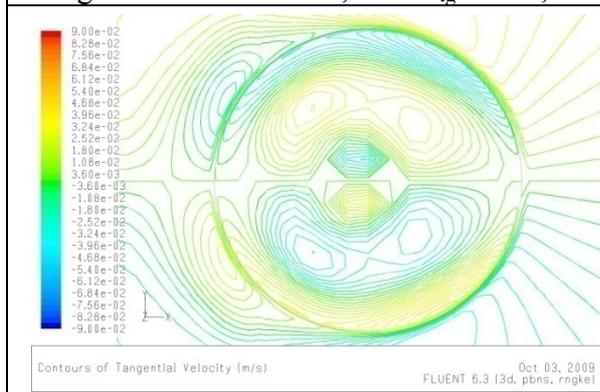


Fig.5.44.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

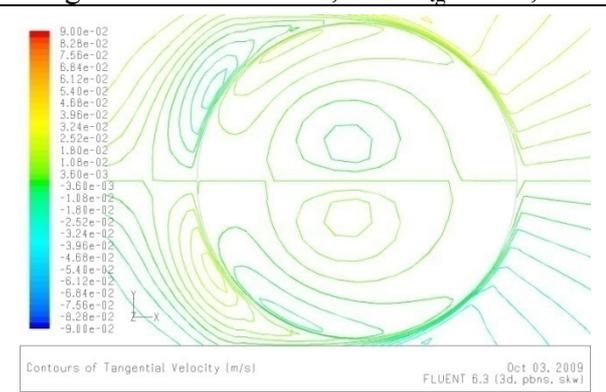


Fig.5.44.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

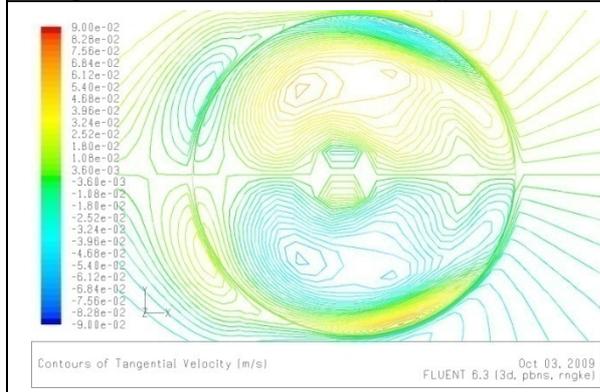


Fig.5.45.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

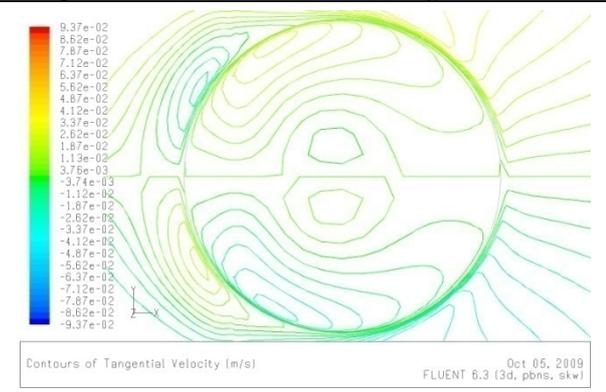


Fig.5.45.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

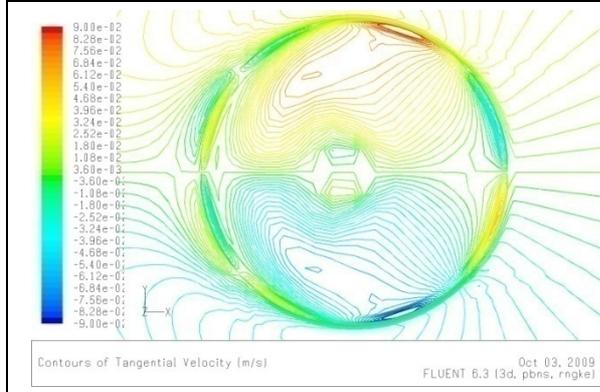


Fig.5.46.a : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

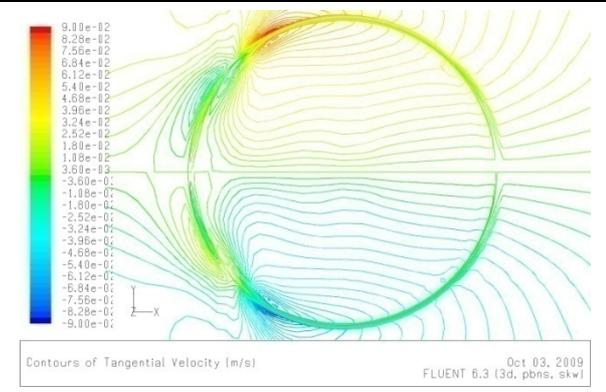


Fig.5.46.b : cas de  $z=0,75d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

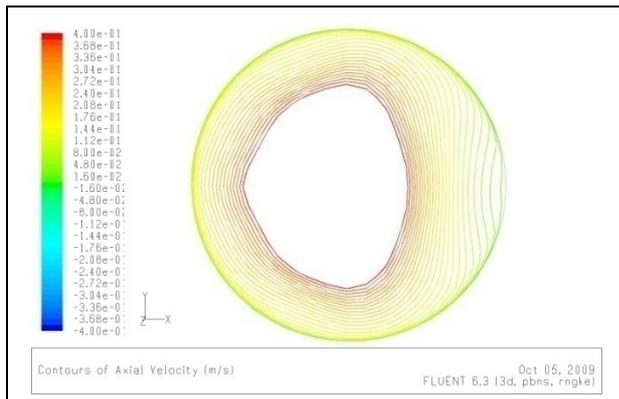


Fig.5.47.a : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

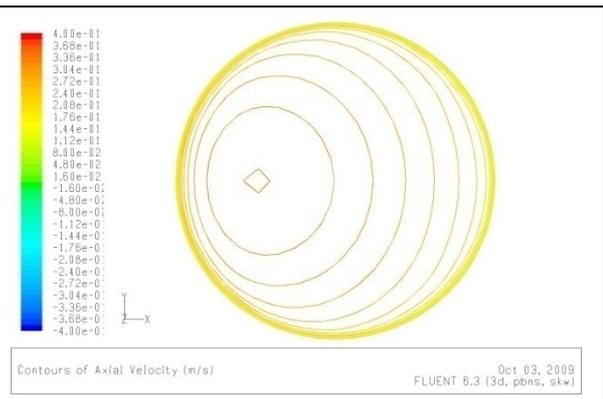


Fig.5.47.b : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

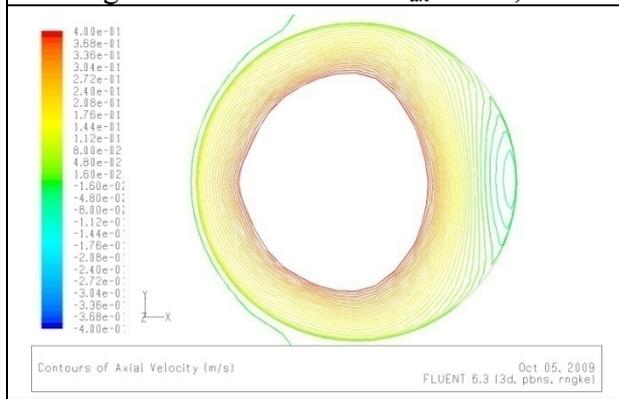


Fig.5.48.a : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

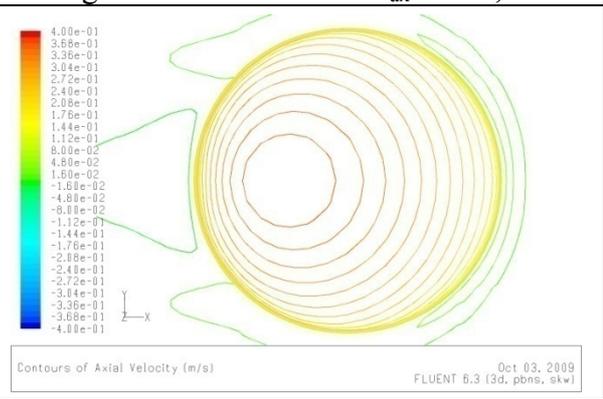


Fig.5.48.b : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

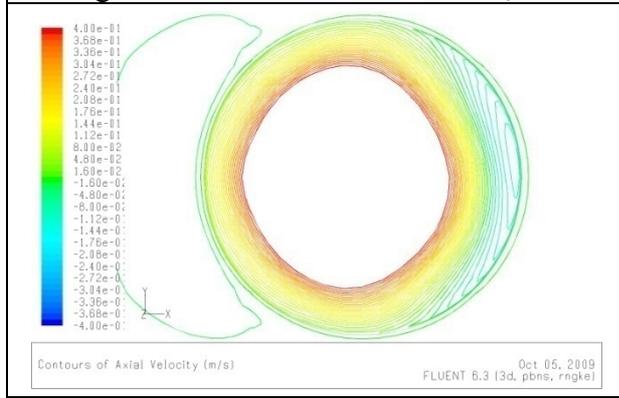


Fig.5.49.a : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

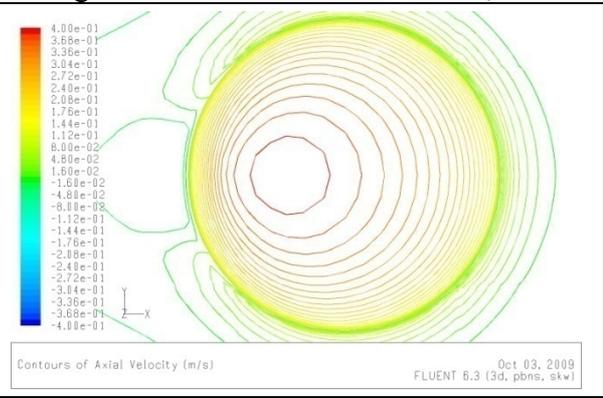


Fig.5.49.b : cas de  $z=d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

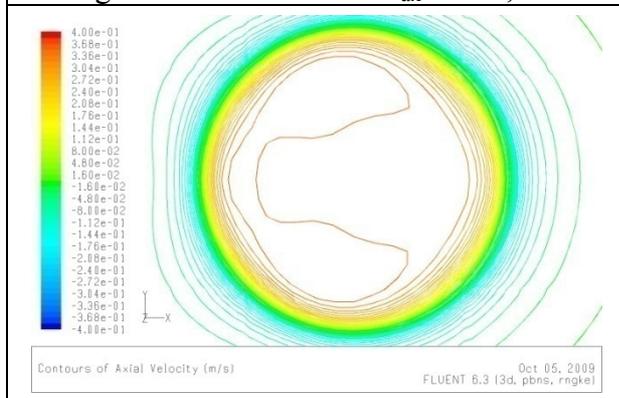


Fig.5.50.a : cas de  $z=d$ - $V_{ax}$  à  $Z=d$

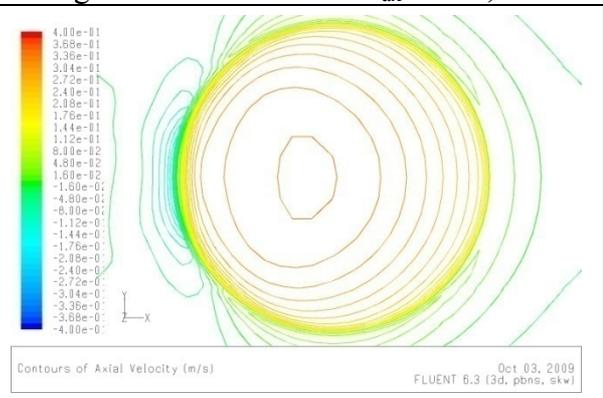


Fig.5.50.b : cas de  $z=d$ - $V_{ax}$  à  $Z=d$

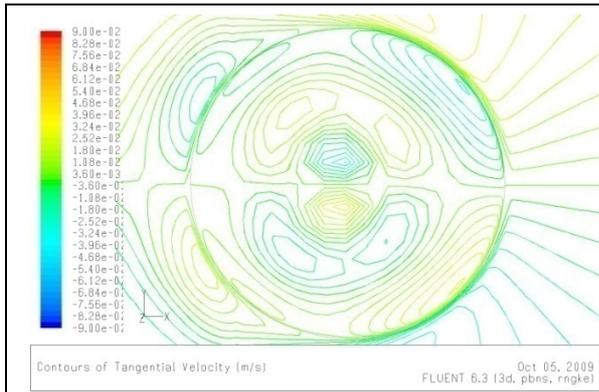


Fig.5.51.a : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

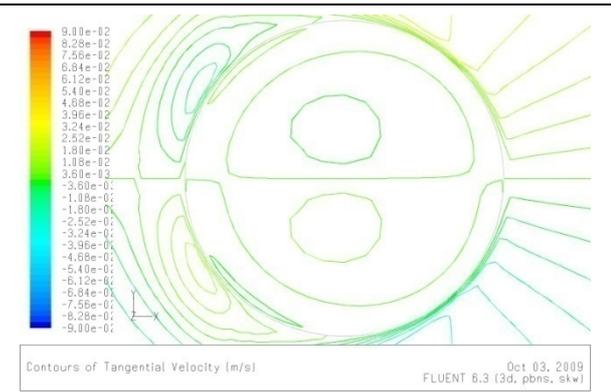


Fig.5.51.b : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

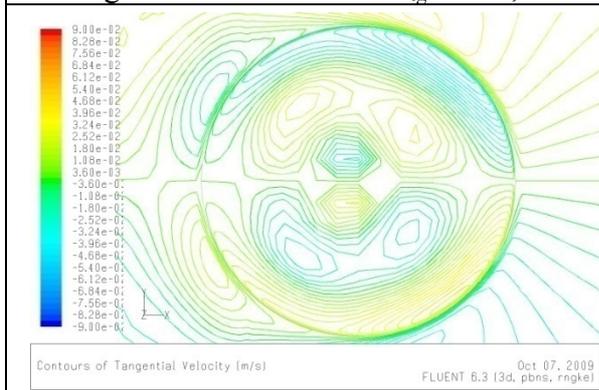


Fig.5.52.a : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

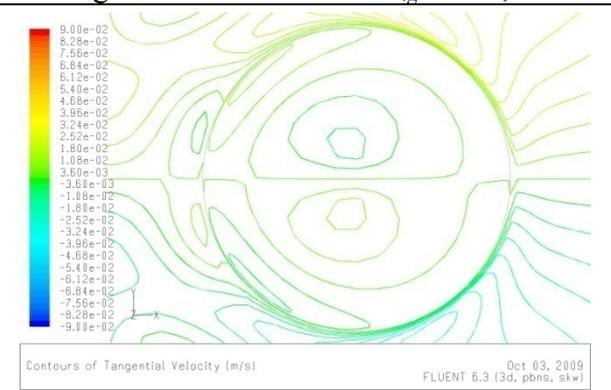


Fig.5.52.b : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

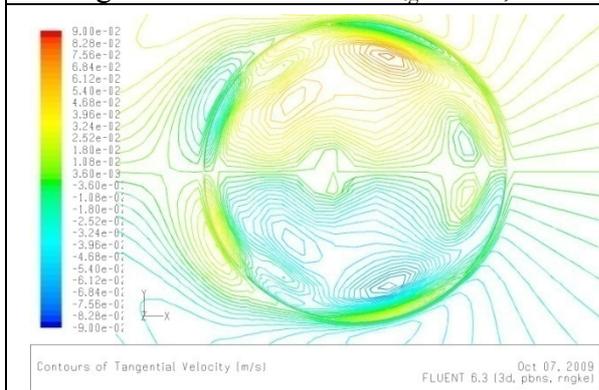


Fig.5.53.a : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

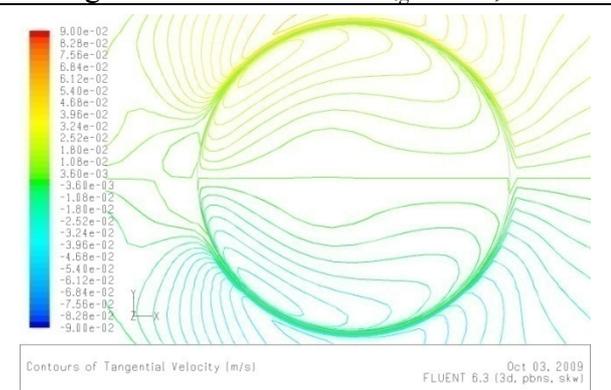


Fig.5.53.b : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

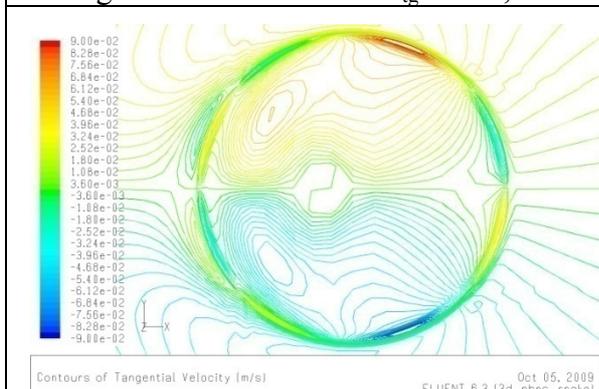


Fig.5.54.a : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=d$

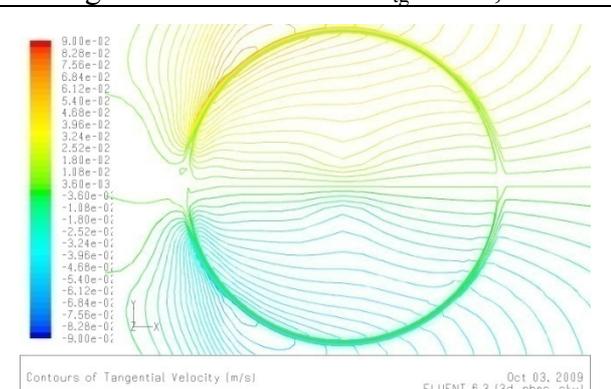


Fig.5.54.b : cas de  $z=d$ -  $V_{tg}$  à  $Z=d$

### 5.7.3. L'influence de la hauteur H

Pour la même configuration de bassin, la valeur de H a été diminuée avec  $H=1,6d$  au lieu de  $H=2,75d$  avec  $z=0,85d$  (et donc  $h=0,75d$ ). Pour ce cas, les nombres de Reynolds et de Weber sont respectivement égaux à  $Re=28600$ ,  $We=115$ ,  $Fr=0,05$ .

#### 5.7.3.1. Lignes de courant

Les lignes de courants sont présentés figures (5.55a) à (56.b)

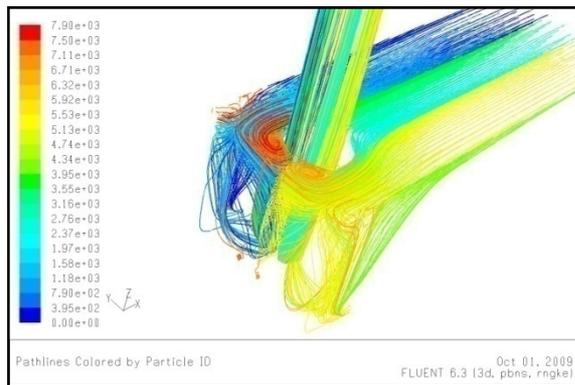


Figure 5.55.a : lignes de courant- $H=2,75d$

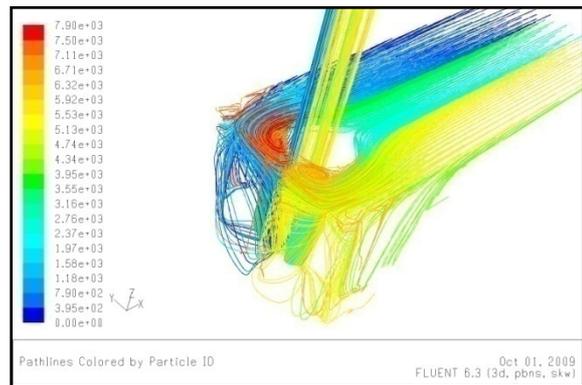


Figure 5.55.b : lignes de courant- $H=2,75d$

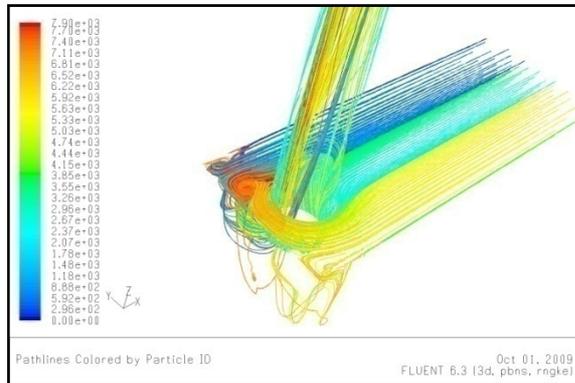


Figure 5.56.a : lignes de courant- $H=1,6d$

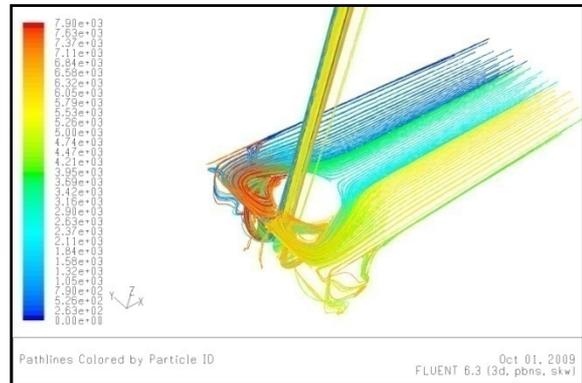


Figure 5.56.b : lignes de courant- $H=1,6d$

#### 5.7.3.2. Vorticité

Une comparaison de la vorticité dans le plan (x-z), puis dans le plan (y-z), est montrée respectivement pour  $H=2.75d$  et  $H=1,6d$ , figures (5.57.a) à (5.60.b). La vorticité est légèrement plus faible à l'intérieur du tuyau lorsque H diminue. En effet, les zones de frottement sont moins étendus dans le bassin lorsqu'il y a moins d'eau.

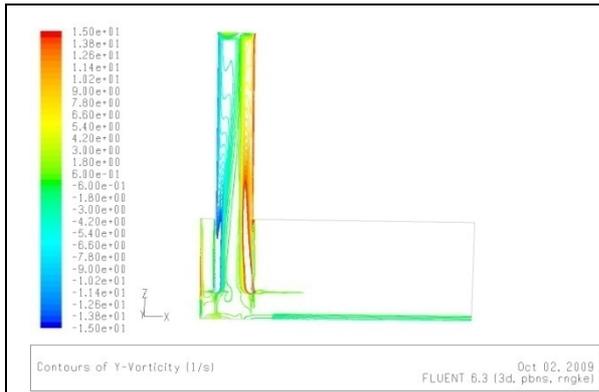


Fig.5.57.a : vorticité (x-z) - cas de H=2,75d

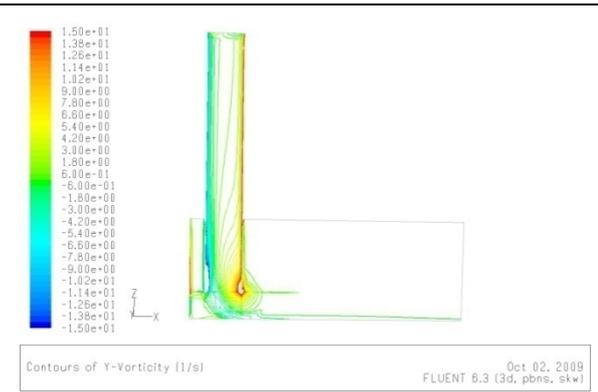


Fig.5.57.b : vorticité (x-z) - cas de H=2,75d

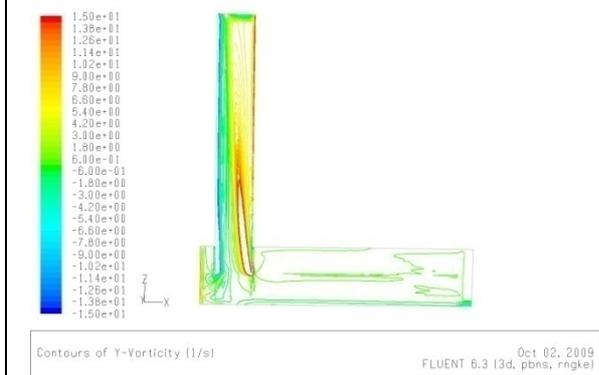


Fig.5.58.a : vorticité (x-z) - cas de H=1,6d



Fig.5.58.b : vorticité (x-z) - cas de H=1,6d

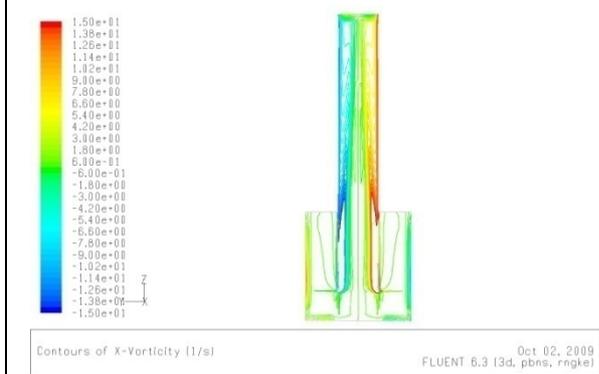


Fig.5.59.a : vorticité (y-z) -cas de H=2,75d

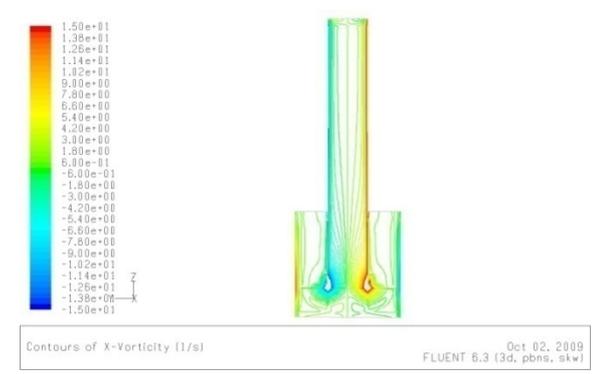


Fig.5.59.b : vorticité (y-z) - cas de H=2,75d

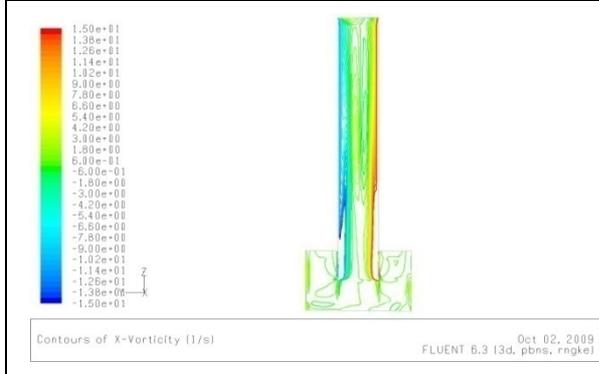


Fig.5.60.a : vorticité (y-z) - cas de H=1,6d

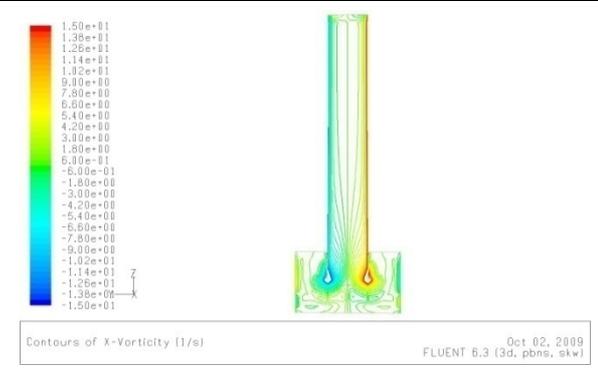


Fig.5.60.b: vorticité (y-z) - cas de H=1.6d

### **5.7.3.3. Vitesses axiales**

Concernant les vitesses axiales, les résultats obtenus, pour les deux modèles sont portés figures (5.61.a) à (5.64.b) pour seulement deux sections différentes à l'intérieur du tuyau, parce la hauteur a été diminuée. Pour cette configuration, on remarque que les résultats obtenus avec le modèle  $k-\varepsilon$  ne sont plus symétriques ; par contre ils le restent pour le modèle  $k-\omega$ .

Sans que cela puisse être considéré comme un critère de validité, les résultats symétriques semblent logiques compte tenu des conditions géométriques testées.

Il faut cependant faire un commentaire à propos des résultats entre  $k-\varepsilon$  et  $k-\omega$  pour une faible hauteur de  $H$ . Cela peut aussi vouloir dire que, s'il y a un décollement à l'entrée du tuyau, et que cela crée des gradients différents dans le plan  $x, z$ , alors on peut avoir un basculement des écoulements qui tendent à ne plus avoir un écoulement symétrique dans le tuyau.

Ainsi,  $H$  est également un paramètre important. Les résultats obtenus numériquement sont donc qualitativement en accord avec les essais.

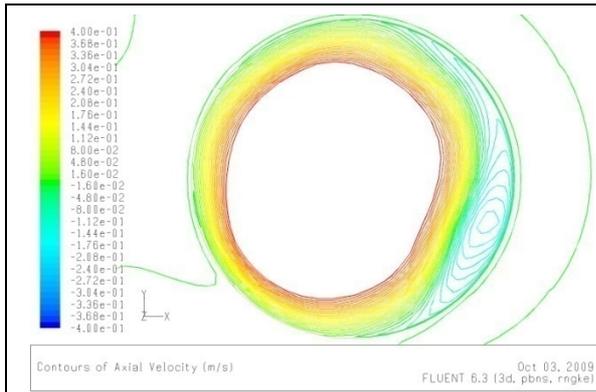


Fig.5.61.a: cas de H=1,6d- $V_{ax}$  à Z=1,25d

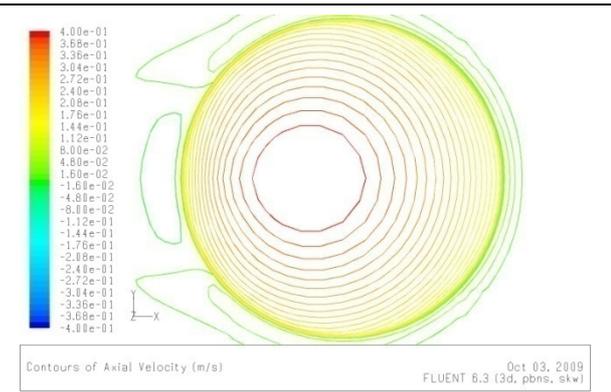


Fig.5.61.b: cas de H=1,6d- $V_{ax}$  à Z=1,25d

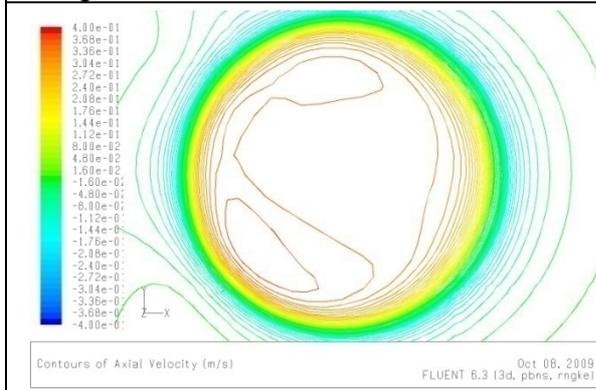


Fig.5.62.a: cas de H=1,6d- $V_{ax}$  à Z=0,85d

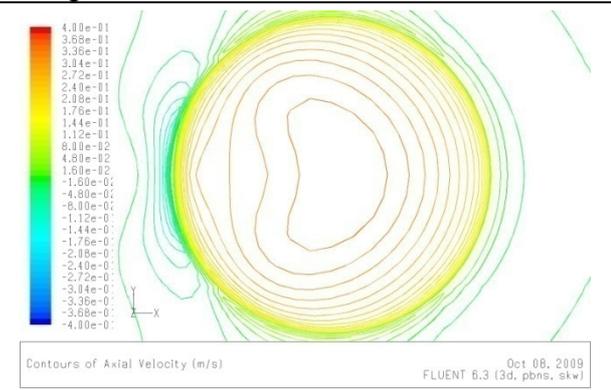


Fig.5.62.b: cas de H=1,6d- $V_{ax}$  à Z=0,85d

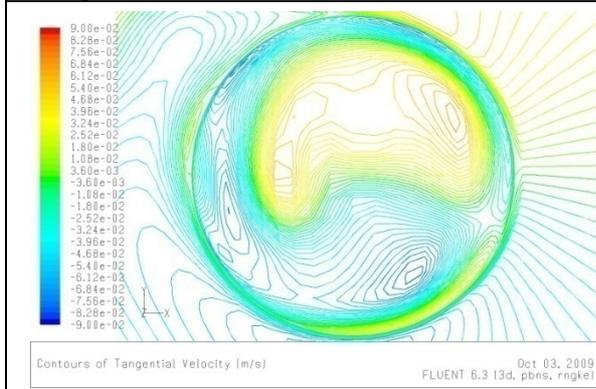


Fig.5.63.a: cas de H=1,6d- $V_{tg}$  à Z=1,25d

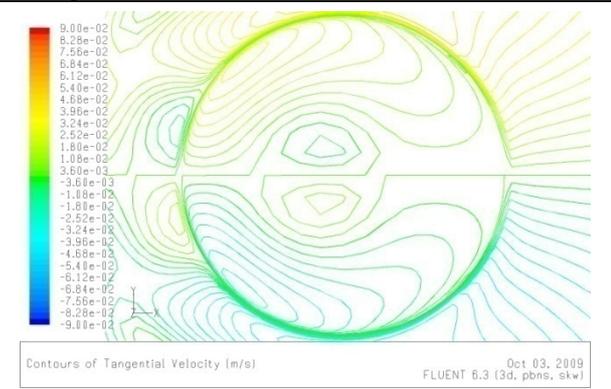


Fig.5.63.b: cas de H=1,6d- $V_{tg}$  à Z=1,25d

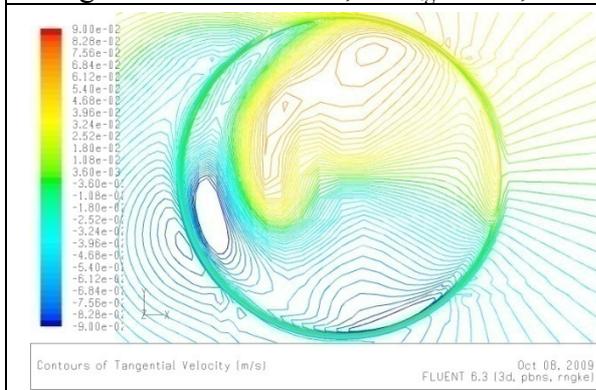


Fig.5.64.a: cas de H=1,6d- $V_{tg}$  à Z=0,85d



Fig.5.64.b: cas de H=1,6d- $V_{tg}$  à Z=0,85d

#### 5.7.4. L'influence d'autres paramètres

Le prochain paragraphe est consacré à l'influence de l'épaisseur de la couche limite amont. Les autres paragraphes portent sur des modifications de position du tuyau par rapport aux murs latéraux, puis pour des conditions d'alimentation non symétriques, le tuyau reprenant sa position initiale au milieu du bassin. Pour ces résultats, l'influence de l'épaisseur de couche limite amont n'est pas prise en compte.

##### 5.7.4.1. Influence de l'épaisseur de couche limite aux parois

La configuration retenue est la même que pour le paragraphe 5.5.2. Pour obtenir une couche limite plus épaisse, le domaine amont a été rallongé de  $10d$  soit  $e = 16,5d$ , (figure 5.65) avec le maillage approprié. On garde  $Re=28600$ ,  $We=115$ ,  $Fr=0,025$ . Les deux profils de vitesse dans le plan  $z=H$  sont montrés en figures 5.66 I et 5.66 II, respectivement dans le plan de la surface libre et dans le plan  $(x, z)$  ; l'ensemble pour une position  $x=3,5d$ .

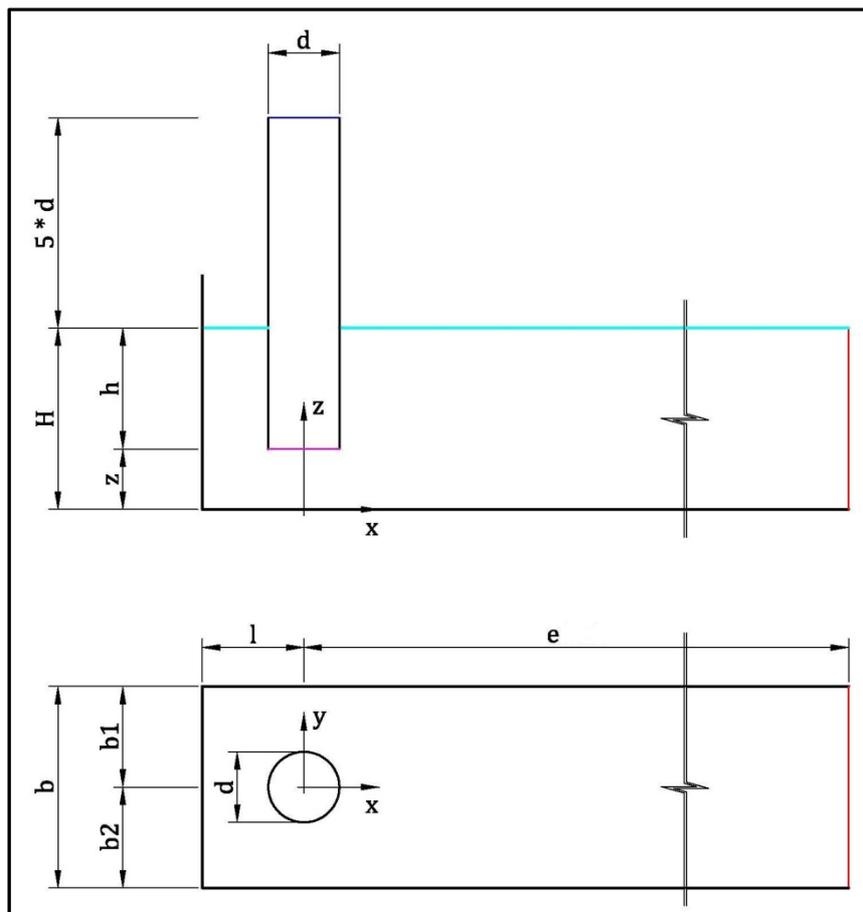


Fig.65 : configuration pour couche limite épaisse

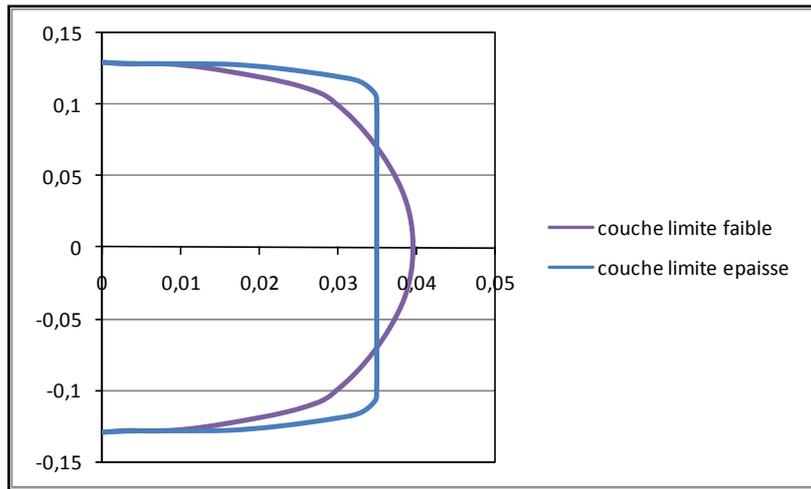


Fig.66.I : profils de vitesse dans le plan de la surface libre

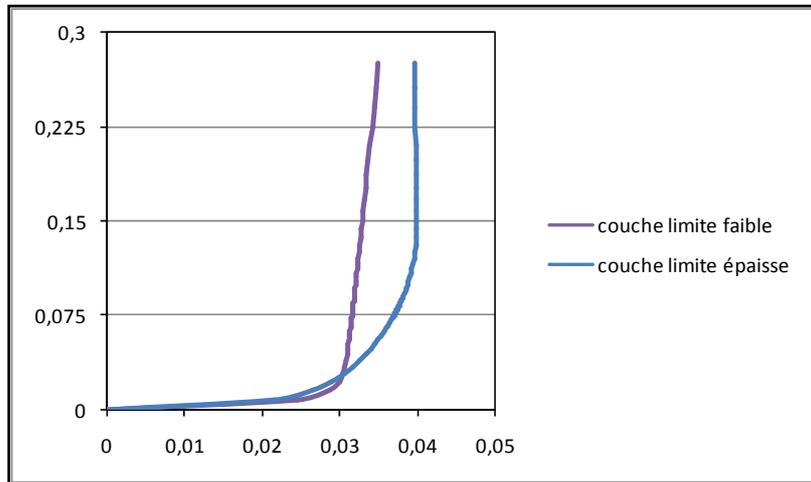


Fig.66.II : profils de vitesse dans le plan le plan (x, z)

Comme pour les autres séries de résultats, on présente les lignes de courant dans les figures 5.67a à 5.68b, avec l'indice A qui présente le cas de couche limite faible, et l'indice B qui présente le cas de couche limite épaisse. Puis on montre les différentes vorticités figures 5.69a à 5.72b et enfin les vitesses axiales et tangentielles pour différentes valeurs de  $Z$  figures (5.73a) à (5.80a) et (5.81a) à (5.88a) donnent les résultats obtenus pour le modèle  $k-\epsilon$ , respectivement pour les vitesses axiales et tangentielles pour différentes valeurs de  $Z$ .

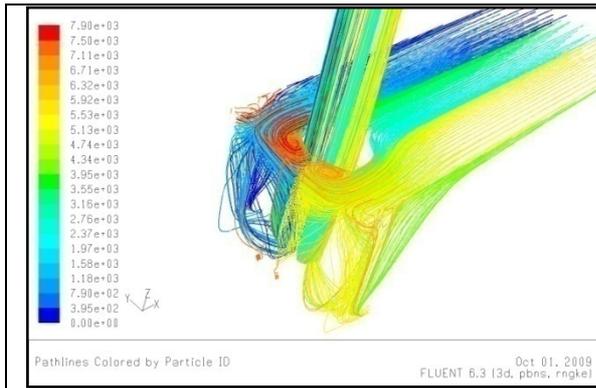


Figure 5.67.a : lignes de courant-A

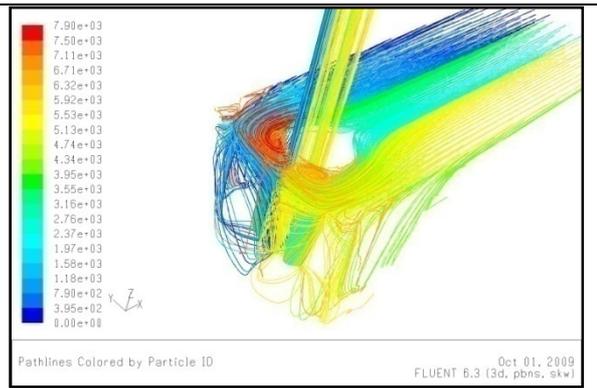


Figure 5.67.b : lignes de courant-A

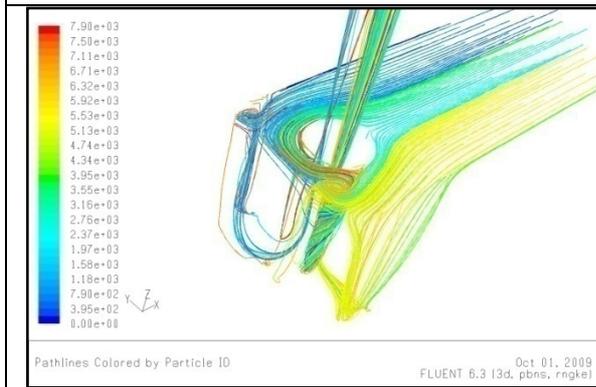


Figure 5.68.a : lignes de courant-B

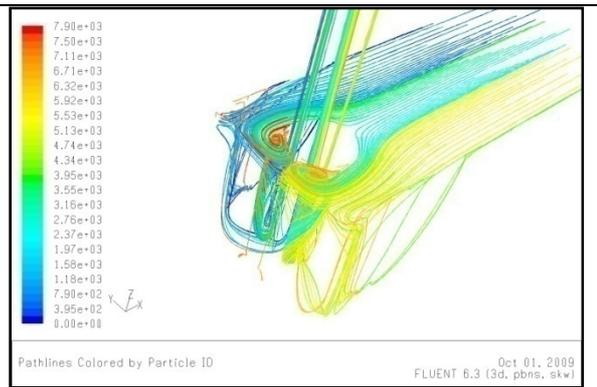


Figure 5.68.b : lignes de courant-B

Les figures (5.73b) à (5.80b), puis (5.81b) à (5.88b) correspondent aux résultats obtenus avec le modèle  $k-\omega$

On peut remarquer que dans la première série de résultats et en particulier pour les cas où les couches limites pariétales sont épaisses, il n'y a plus de symétrie dans les résultats sur les vitesses axiales et tangentielles.

Seuls les résultats issus du modèle  $k-\omega$  sont cohérents avec les conditions de symétrie. Pour cette série de résultats, la sensibilité du calcul est décelable tant sur les profils de vitesses axiales que tangentielles. Les évolutions sont compatibles avec les effets de blocage, puisque pour ces différents cas, le débit est conservé.

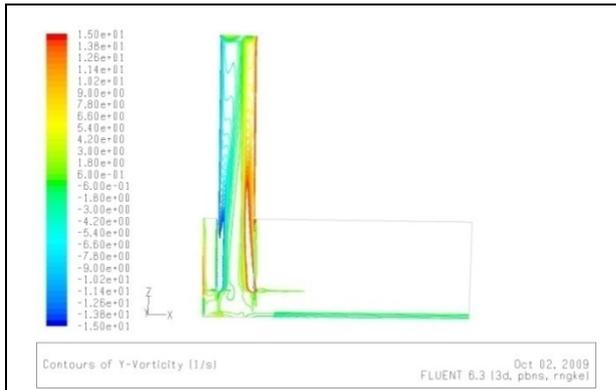


Fig.5.69.a : la vorticité dans le plan (x-z) -A

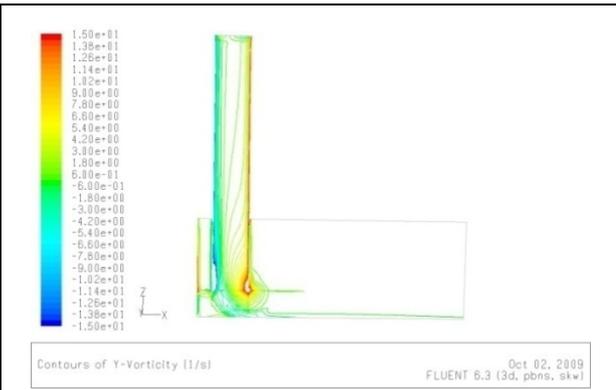


Fig.5.69.b : la vorticité dans le plan (x-z) -A

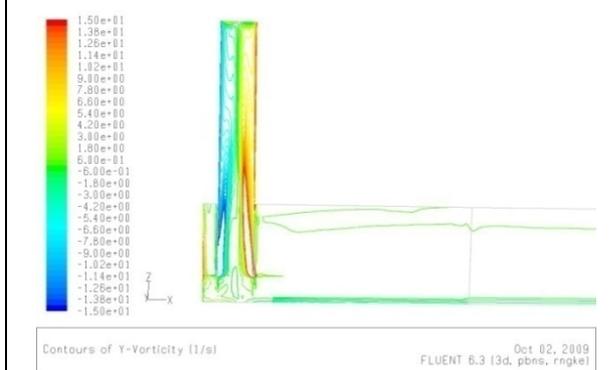


Fig.5.70.a : la vorticité dans le plan (x-z)-B



Fig.5.70.b : la vorticité dans le plan (x-z)-B

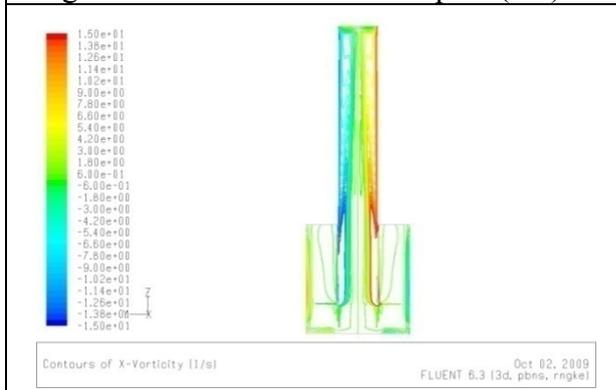


Fig.5.71.a : la vorticité dans le plan (y-z)-A

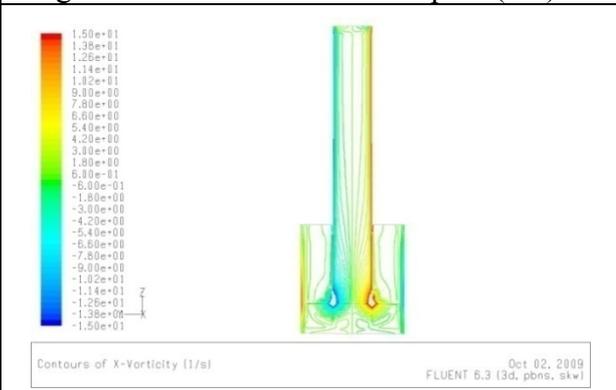


Fig.5.71.b : la vorticité dans le plan (y-z)-A



Fig.5.72.a : la vorticité dans le plan (y-z)-B

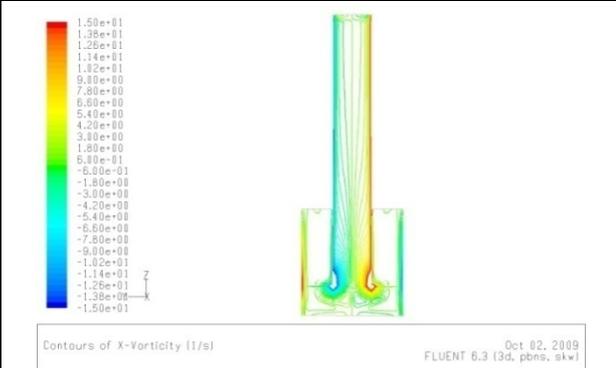


Fig.5.72.b : la vorticité dans le plan (y-z)-B

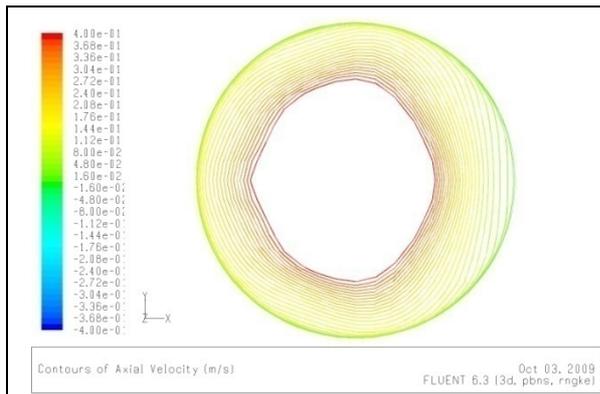


Fig.5.73.a :  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d-A$

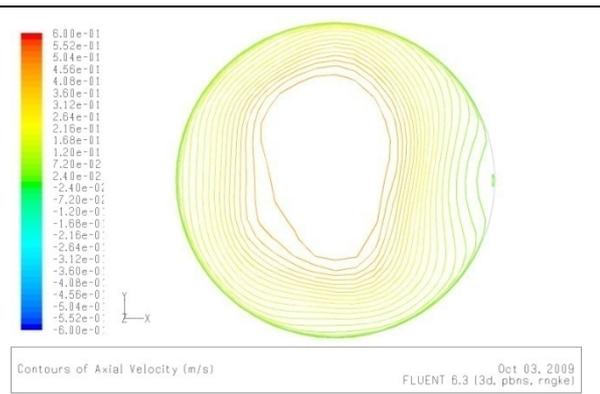


Fig.5.74.a :  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d-B$

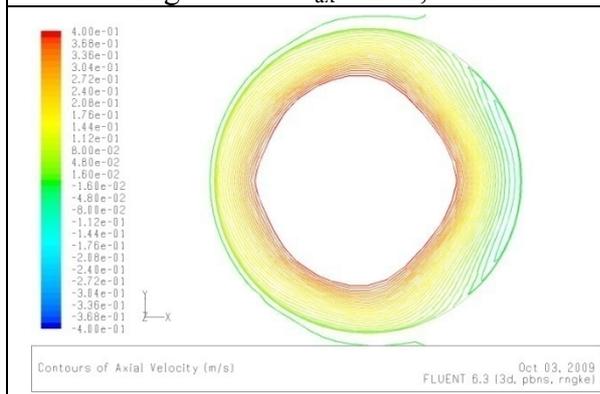


Fig.5.75.a :  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d-A$

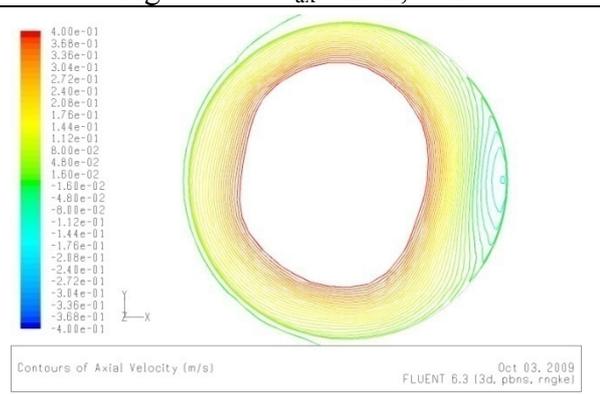


Fig.5.76.a :  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d-B$

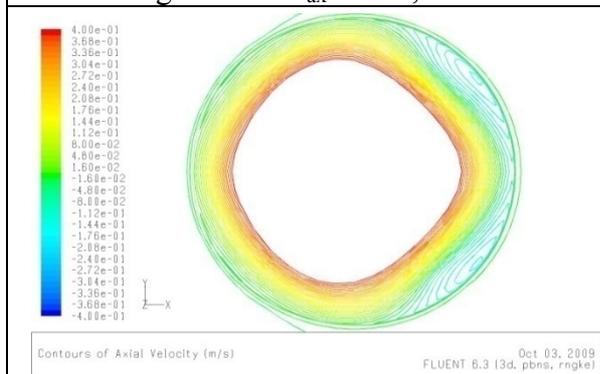


Fig.5.77.a :  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d-A$

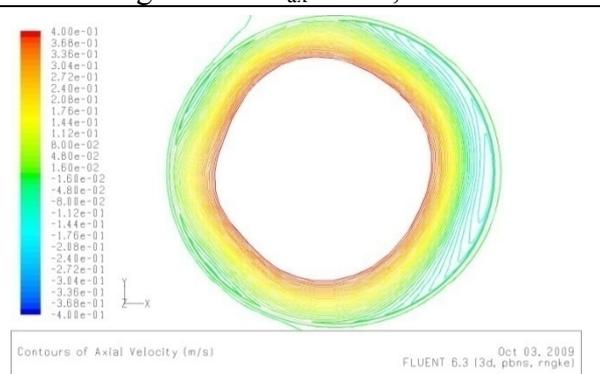


Fig.5.78.a :  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d-B$

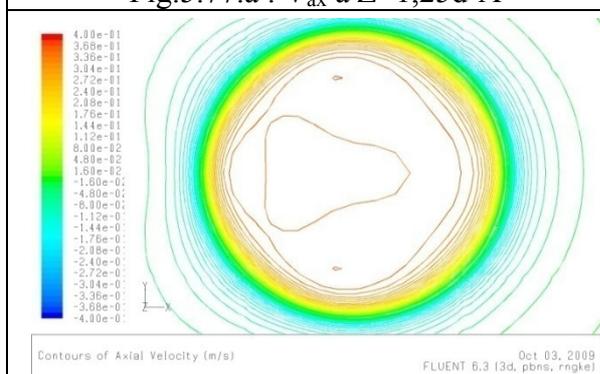


Fig.5.79.a :  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d-A$

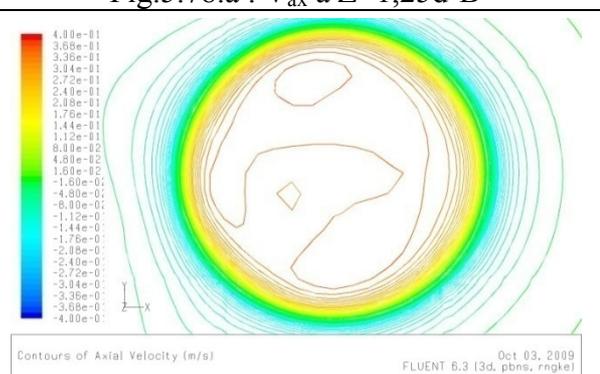


Fig.5.80.a :  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d-B$

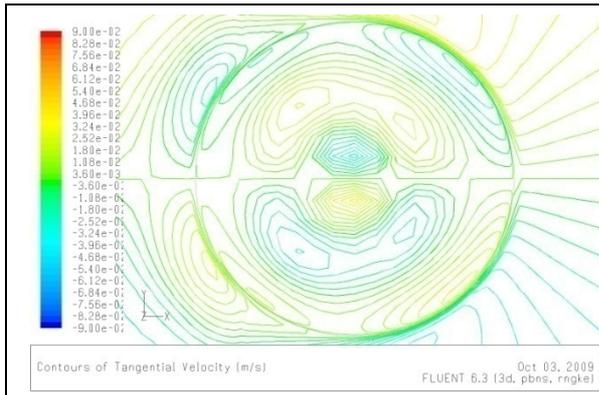


Fig.5.81.a  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d-A$

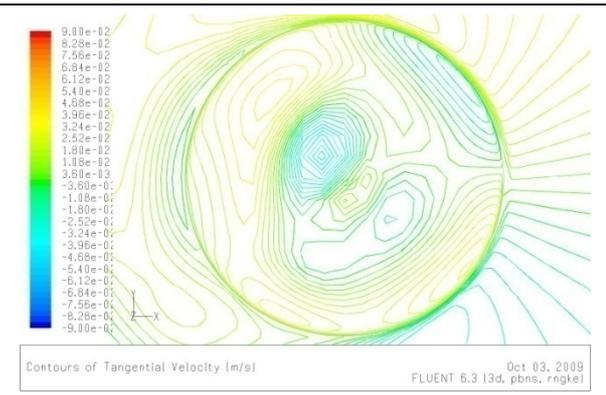


Fig.5.82.a:  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d-B$

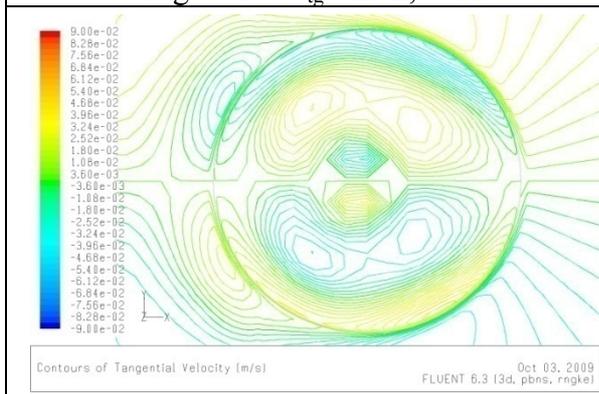


Fig.5.83.a :  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d-A$

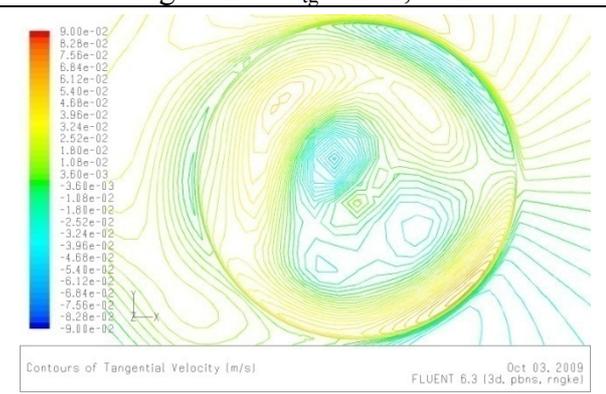


Fig.5.84.a :  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d-B$

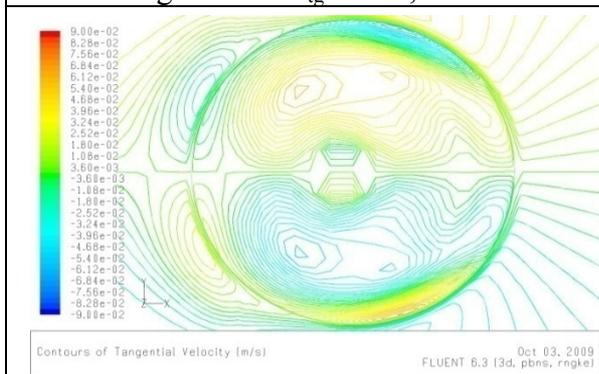


Fig.5.85.a :  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d-A$

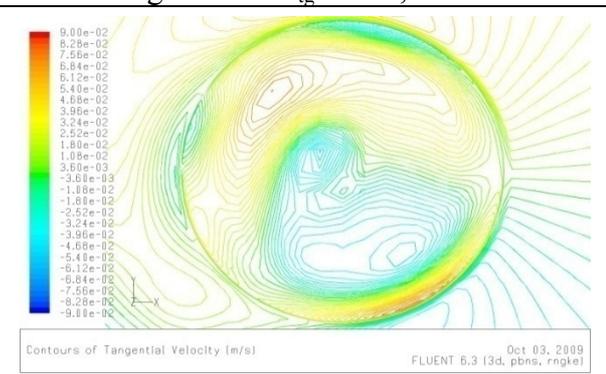


Fig.5.86.a :  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d-B$

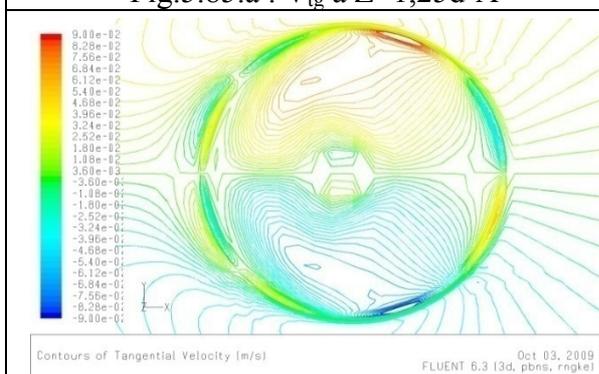


Fig.5.87.a :  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d-A$

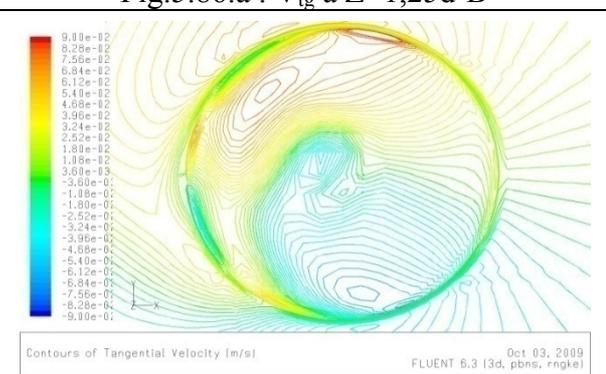


Fig.5.88.a :  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d-B$

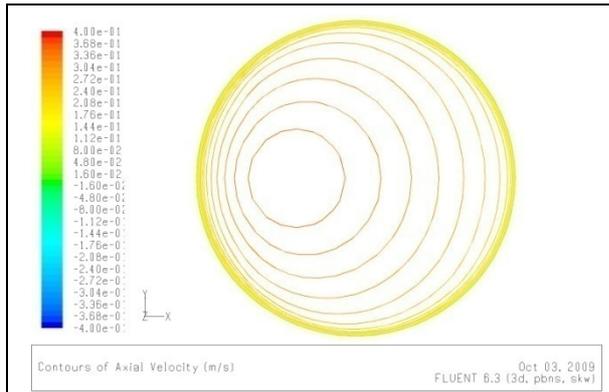


Fig.5.73.b :  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d-A$

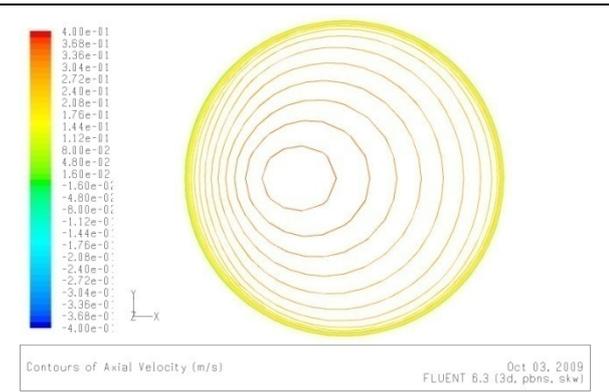


Fig.5.74.b :  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d-B$

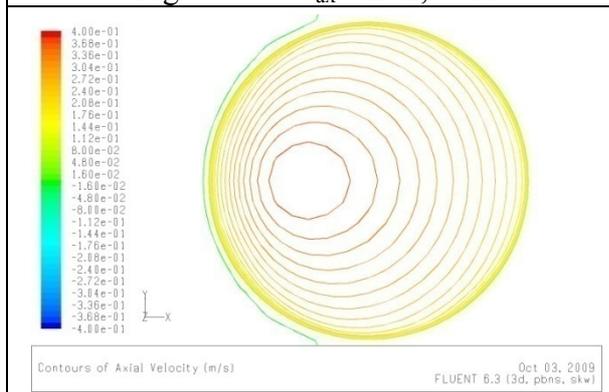


Fig.5.75.b :  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d-A$

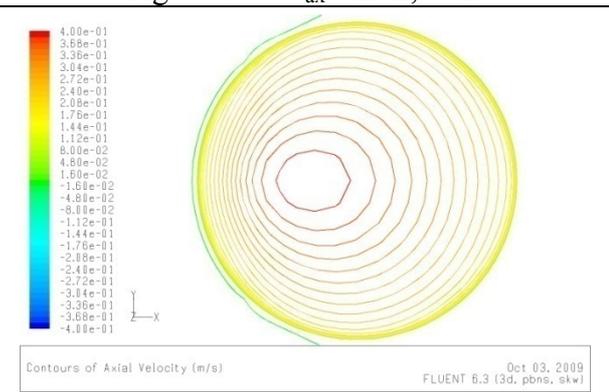


Fig.5.76.b :  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d-B$

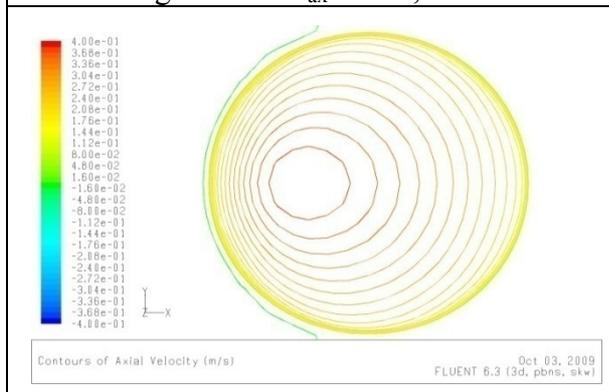


Fig.5.77.b :  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d-B$

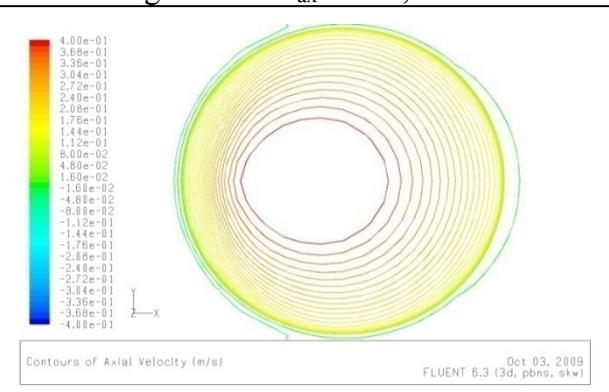


Fig.5.78.b :  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d-B$

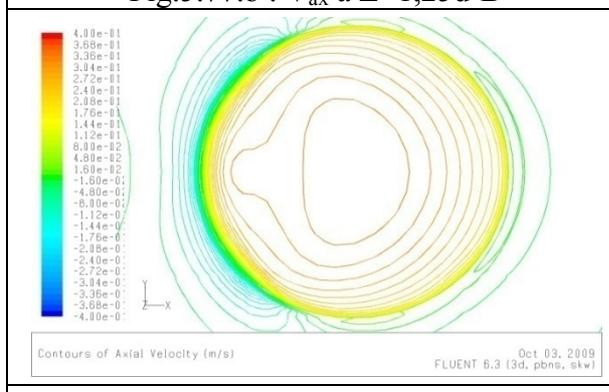


Fig.5.79.b :  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d-A$

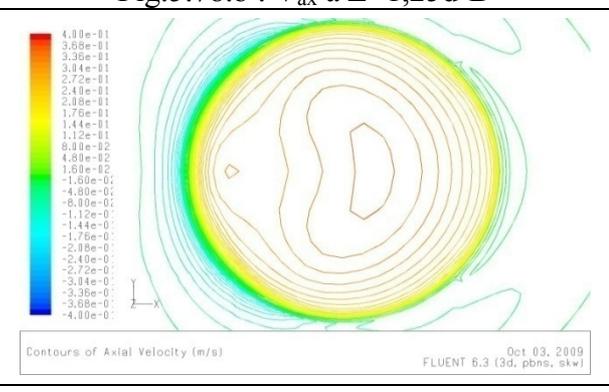


Fig.5.80.b :  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d-B$

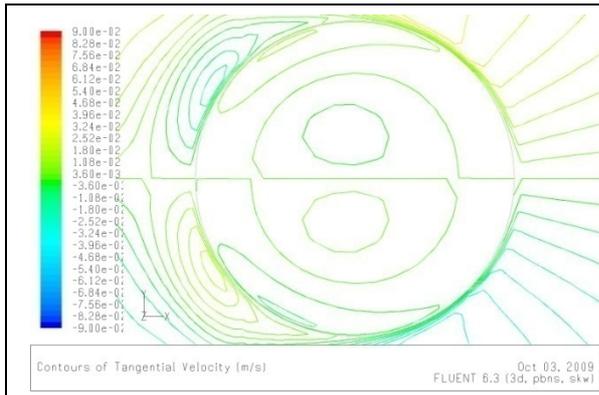


Fig.5.81.b :  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$ -A

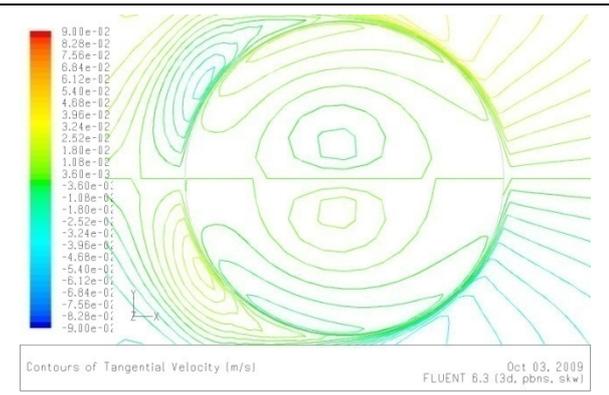


Fig.5.82.b:  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$ -B

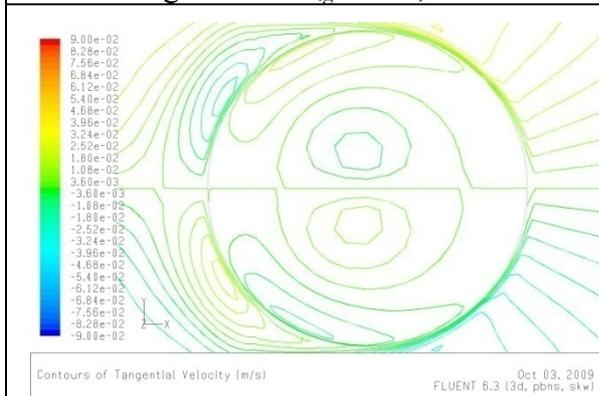


Fig.5.83.a  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$ -A

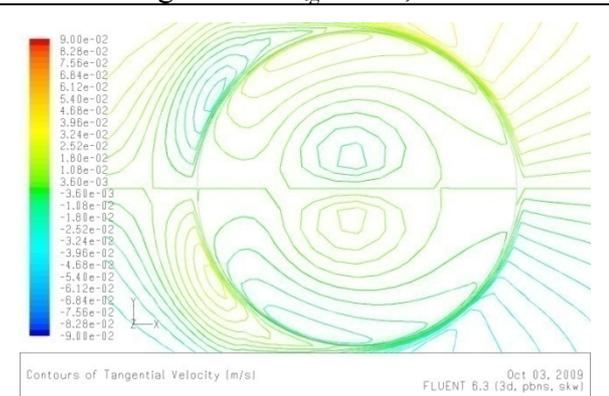


Fig.5.84.a :  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$ -B

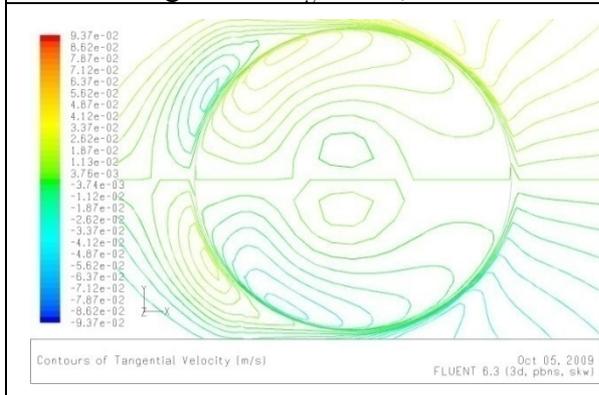


Fig.5.85.b :  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$ -A

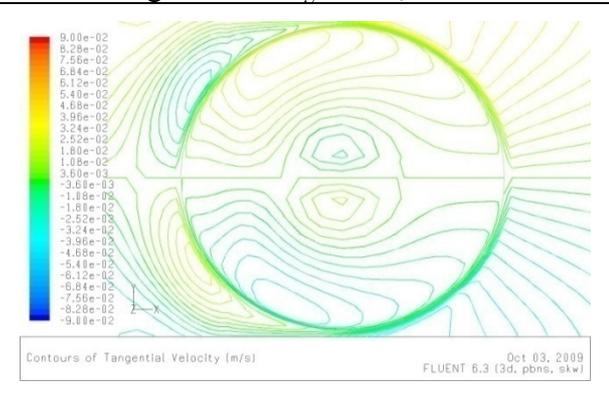


Fig.5.86.b :  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$ -B

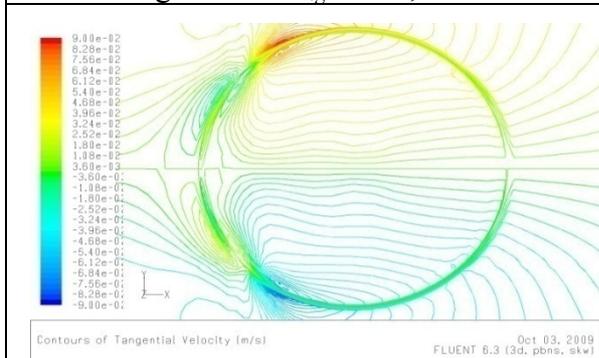


Fig.5.87.b :  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$ -A

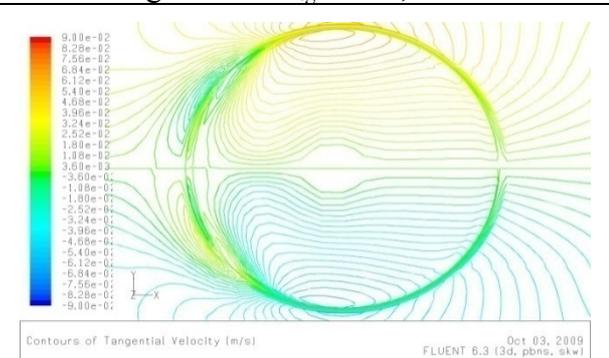


Fig.5.88.b :  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$ -B

#### **5.7.4.2. Influence de la largeur du bassin**

Les résultats présentés ci après sont uniquement effectués en utilisant les modèle  $k-\omega$ . Toutes les figures sont numérotées donc avec le seul indice  $b$ . Pour une meilleure lecture, les résultats déjà obtenus pour  $b=2,6d$  sont repris et comparés à ceux obtenus pour une largeur plus faible avec  $b=2d$ . Sur les figures 5.89b et 5.90b, on remarque que pour une faible valeur de  $z$  et de  $b$ , les tourbillons qui se forment sur la face arrière du bassin sont plus faibles ou ont tendance à disparaître. Ceci est conforme aux observations de plusieurs auteurs. Lorsque  $z$  augmente, (figures 5.91b à 5.94b les structures deviennent plus complexes à analyser.

On présente ensuite la série de figures habituelles qui concerne les évolutions de la vorticité (figures 5.95b à 5.106b) puis les iso-valeurs de vitesses axiales et tangentielles dans les figures 5.107b à 5.154 b, par bloc de quatre figures représentant les évolutions pour quatre sections différentes  $Z$  dans le tuyau.

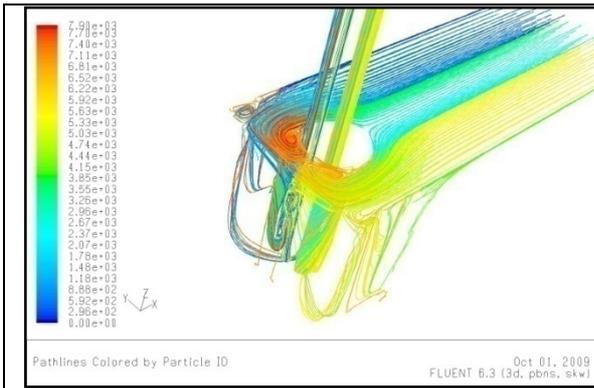


Fig. 5.89.b : lignes de courant- $b=2,6d$  et  $z=0,5d$

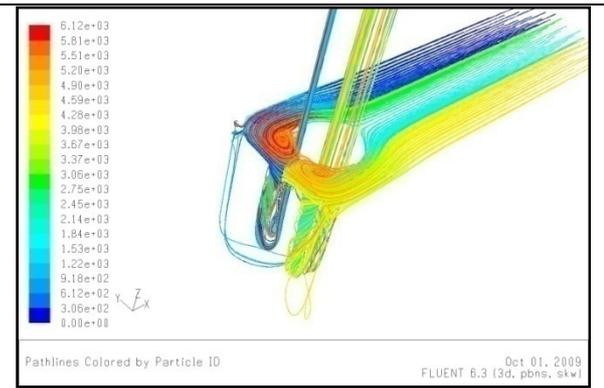


Fig. 5.90.b : lignes de courant- $b=2d$  et  $z=0,5d$

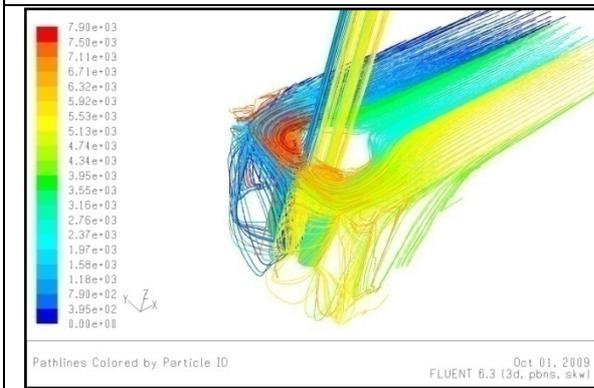


Fig. 5.91.b : lignes de courant- $b=2,6d$  et  $z=0,75d$

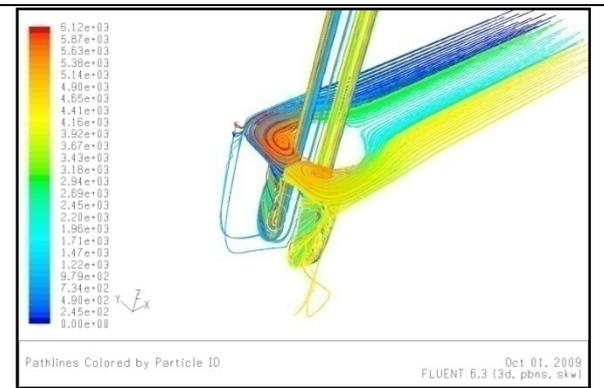


Fig. 5.92.b : lignes de courant- $b=2d$  et  $z=0,75d$

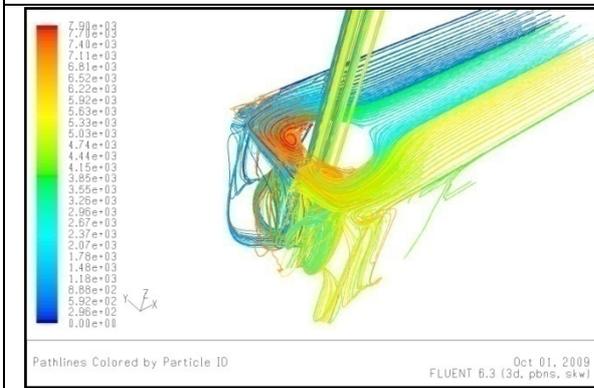


Fig. 5.93.b: lignes de courant- $b=2,6d$  et  $z=d$

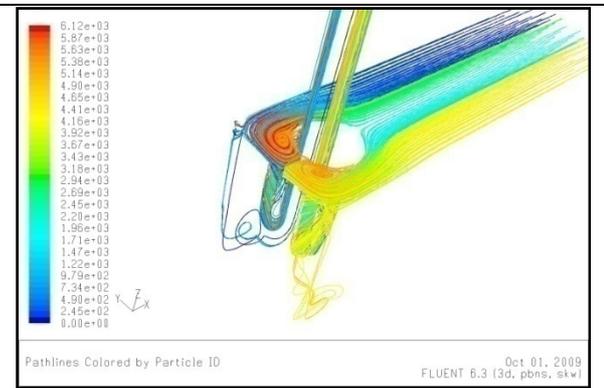


Fig.5.94.b: lignes de courant-pour  $b=2d$  et  $z=d$

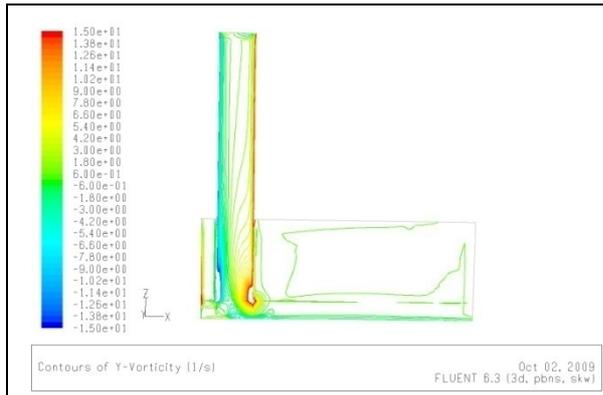


Fig.5.95.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=0,5d$



Fig.5.96.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2d$  et  $z=0,5d$

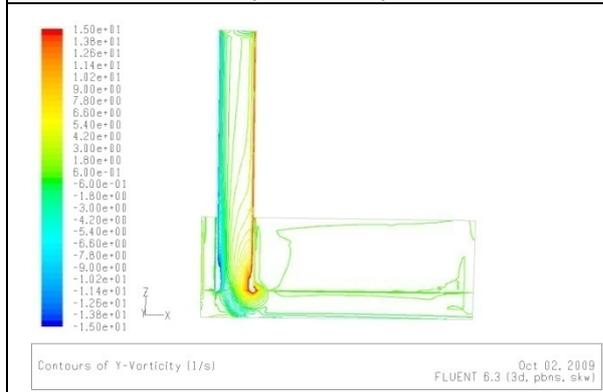


Fig.5.97.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=0,75d$

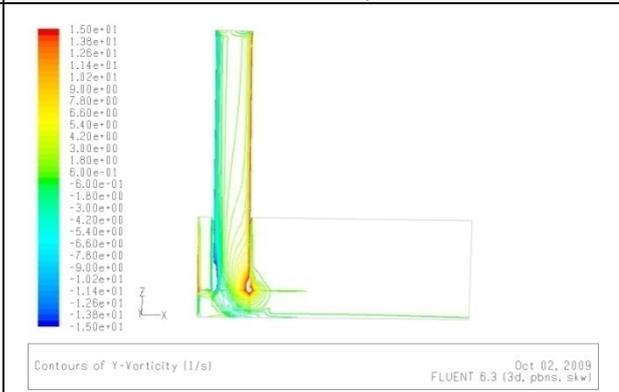


Fig.5.98.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2d$  et  $z=0,75d$

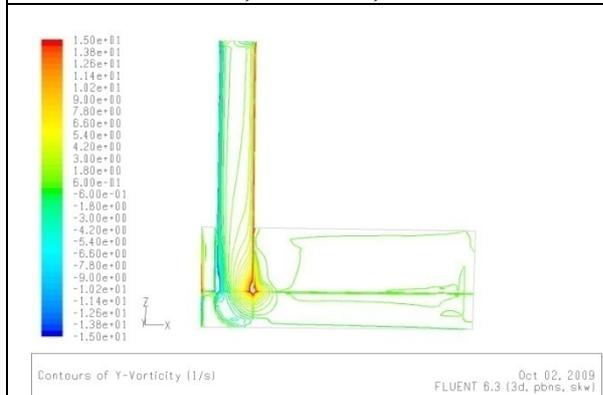


Fig.5.99.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=d$



Fig.5.100.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $b=2d$  et  $z=d$

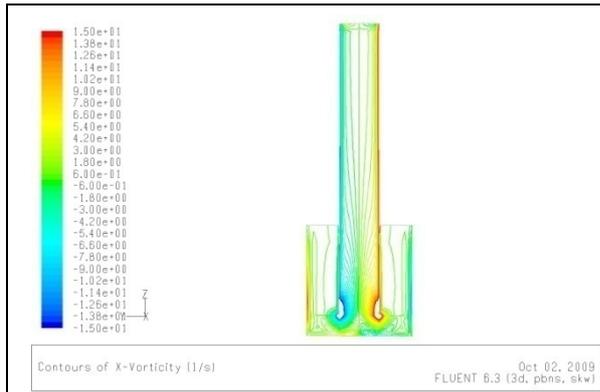


Fig.5.101.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=0,5d$

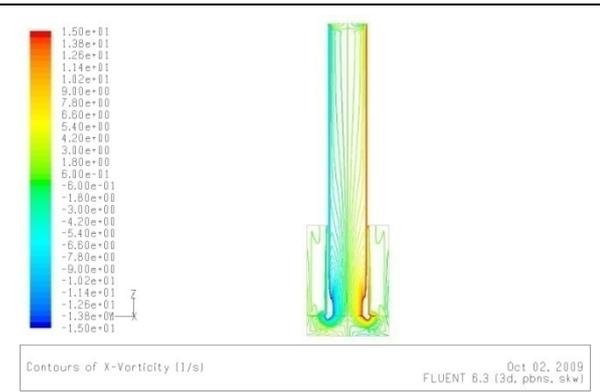


Fig.5.102.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2d$  et  $z=0,5d$

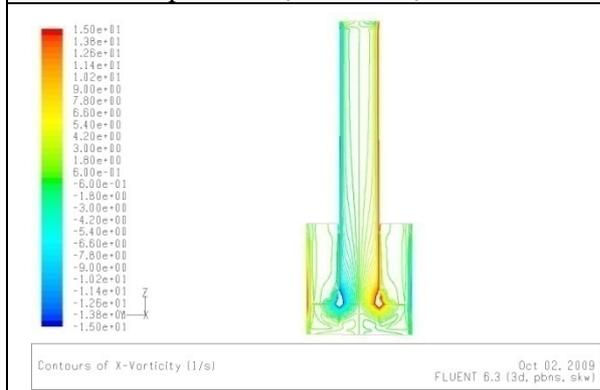


Fig.5.103.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=0,75d$

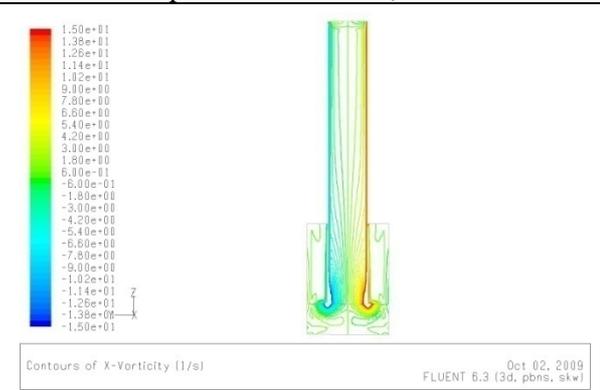


Fig.5.104.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2d$  et  $z=0,75d$

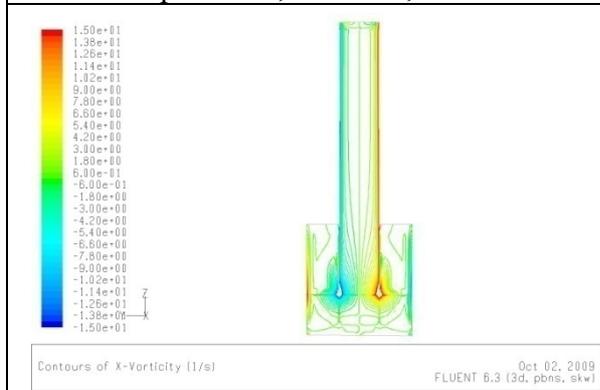


Fig.5.105.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2,6d$  et  $z=d$

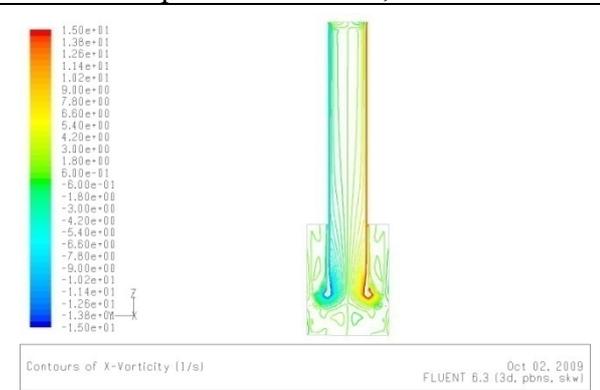


Fig.5.106.b: la vorticité dans le plan (y-z) pour  $b=2d$  et  $z=d$

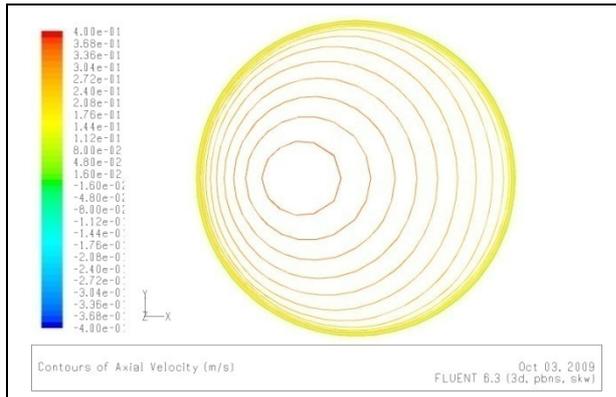


Fig.5.107.b : cas de  $b=2,6d$ - $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

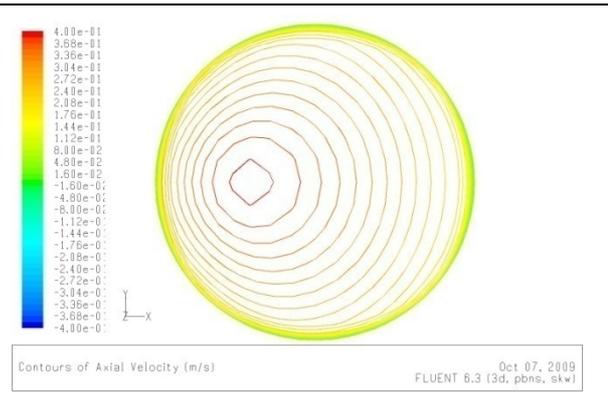


Fig.5.108. cas de  $b : b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

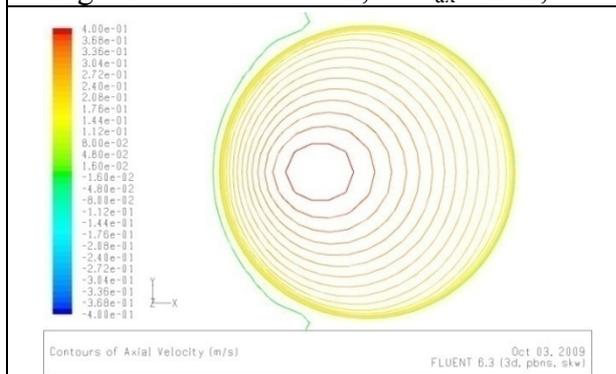


Fig.5.109.b : cas de  $b=2,6d$  et  $-V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

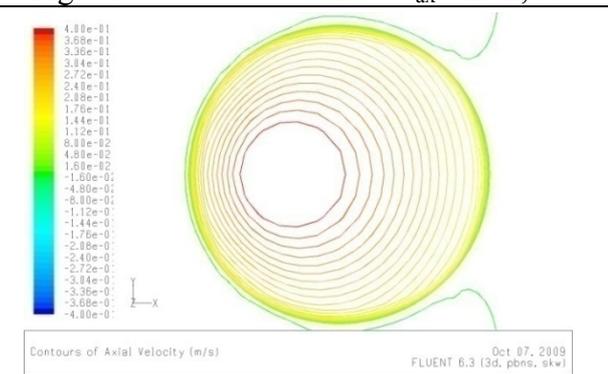


Fig.5.110.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

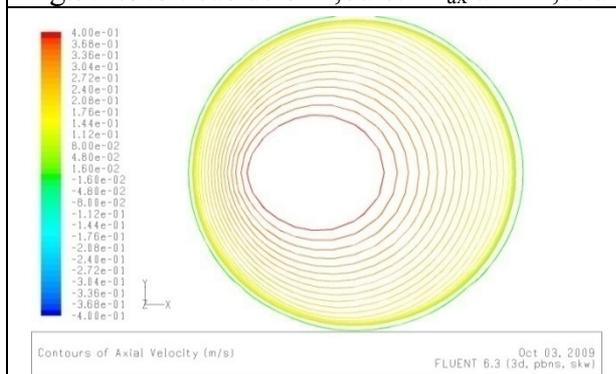


Fig.5.111.b : cas de  $b=2,6d$  et  $-V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

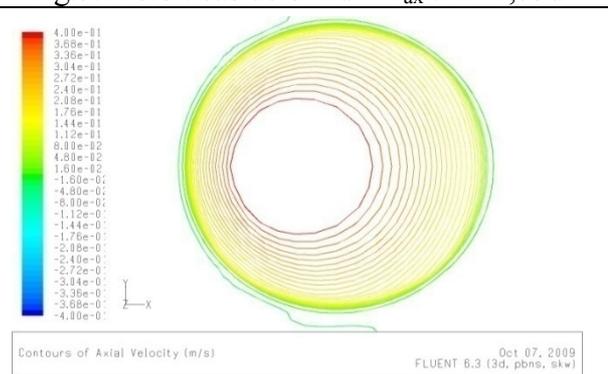


Fig.5.112.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

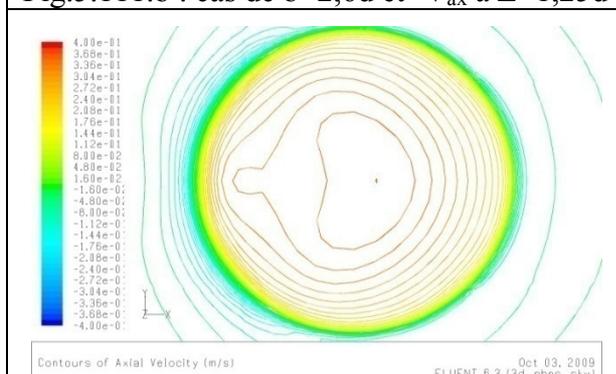


Fig.5.113.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=0,5d$

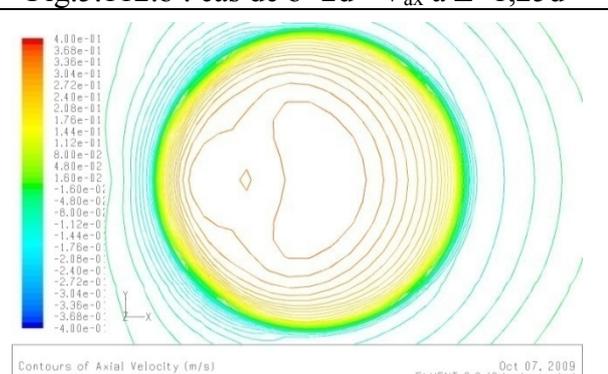


Fig.5.114.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=0,5d$

Les deux cas pour  $z=0,5d$

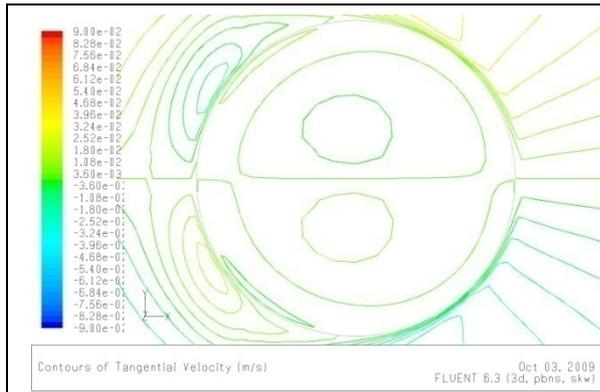


Fig.5.115.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

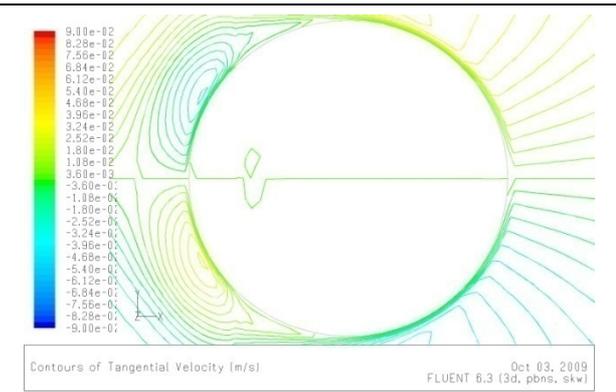


Fig.5.116.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

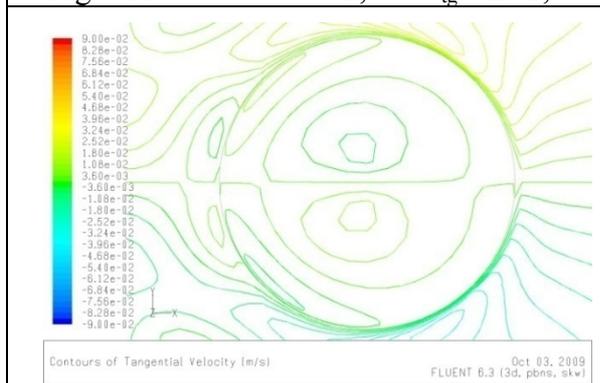


Fig.5.117.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

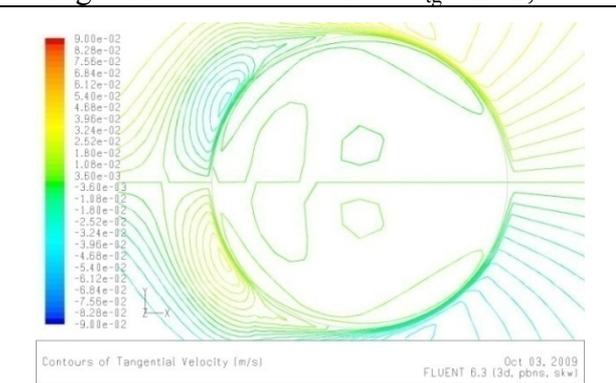


Fig.5.118.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

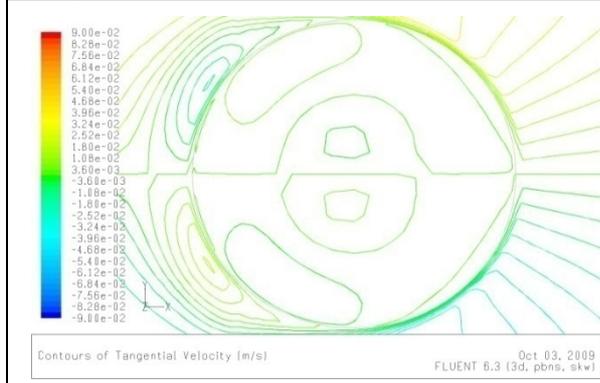


Fig.5.119.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$



Fig.5.120.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

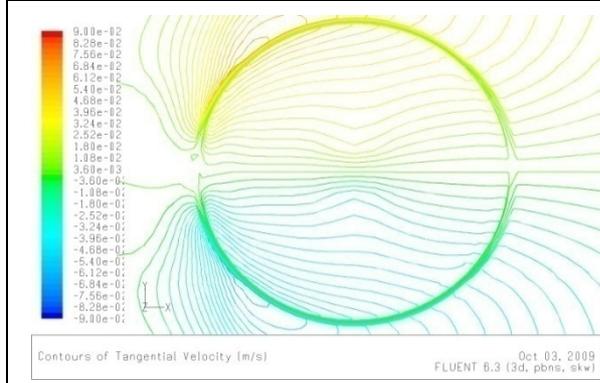


Fig.5.121.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,5d$

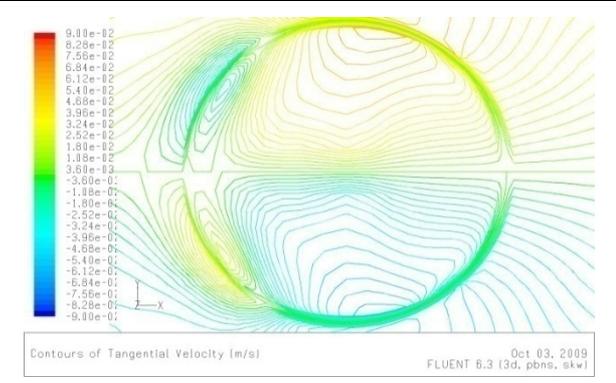


Fig.5.122.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,5d$

Les deux cas pour  $z=0,5d$

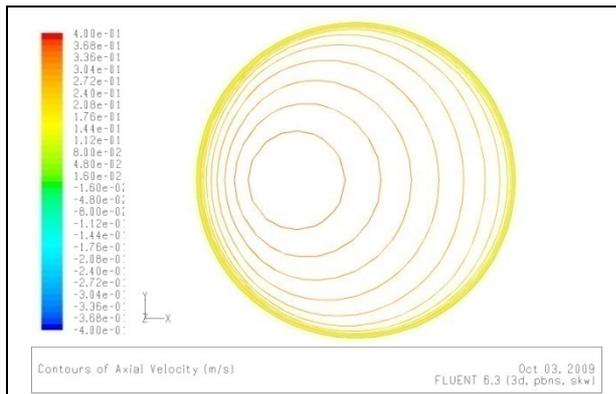


Fig.5.123.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

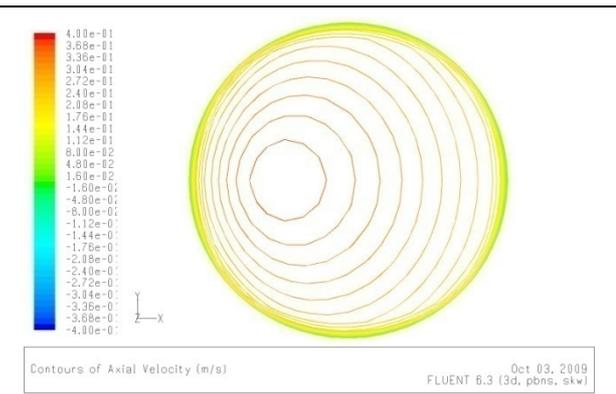


Fig.5.124.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$



Fig.5.125.b : cas de  $b=2,6d$  et - $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

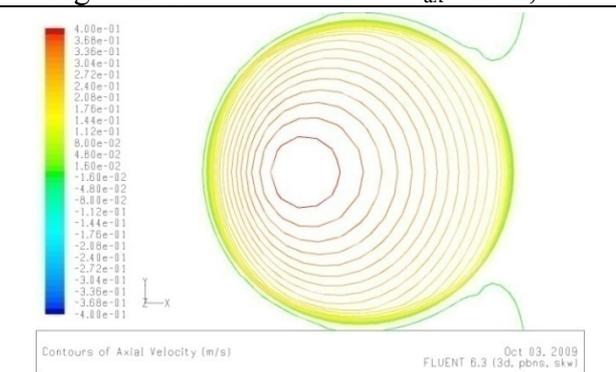


Fig.5.126.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

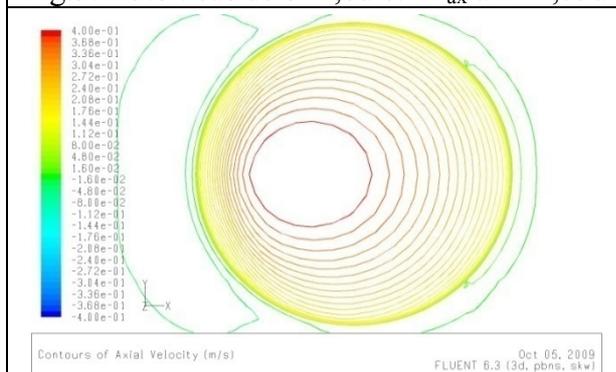


Fig.5.127.b : cas de  $b=2,6d$  et - $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

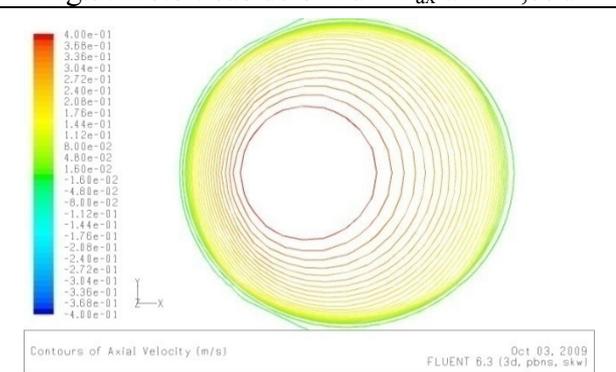


Fig.5.128.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

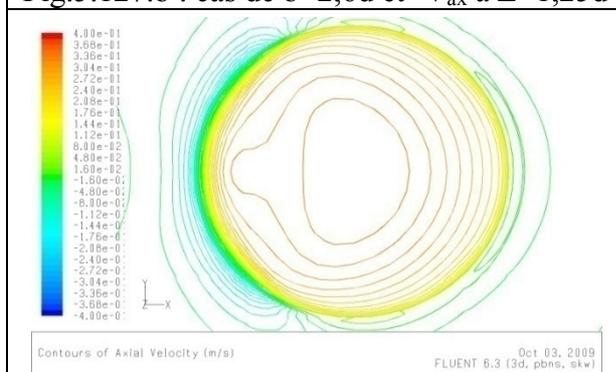


Fig.5.129.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

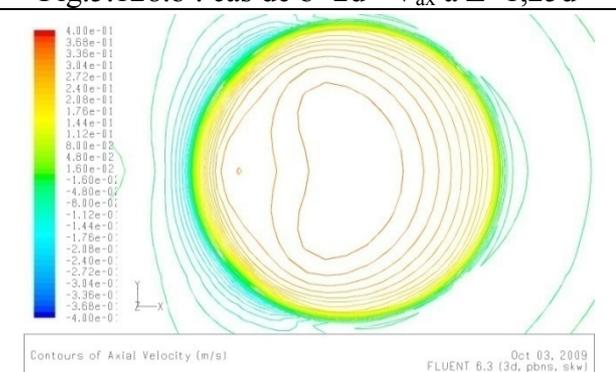


Fig.5.130.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

Les deux cas pour  $z=0,75d$

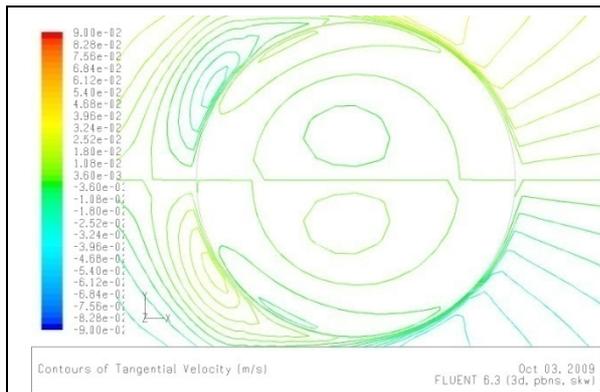


Fig.5.131.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

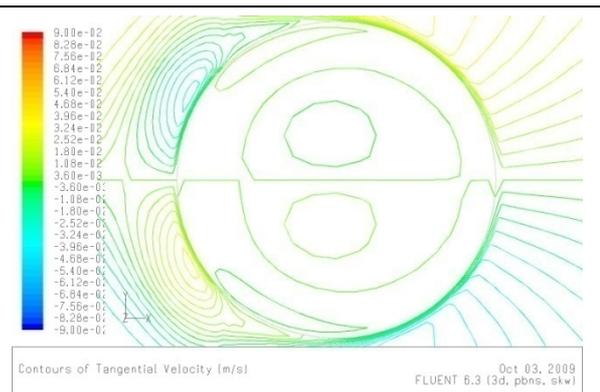


Fig.5.132.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

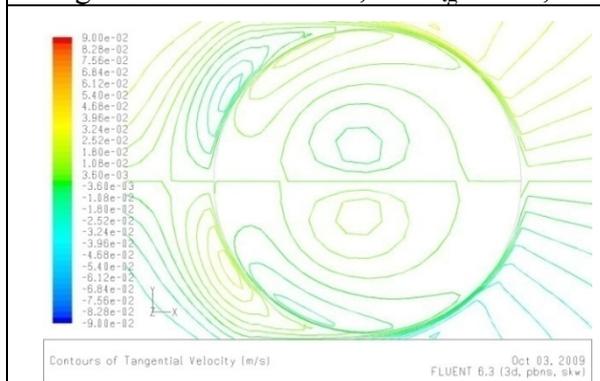


Fig.5.133.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

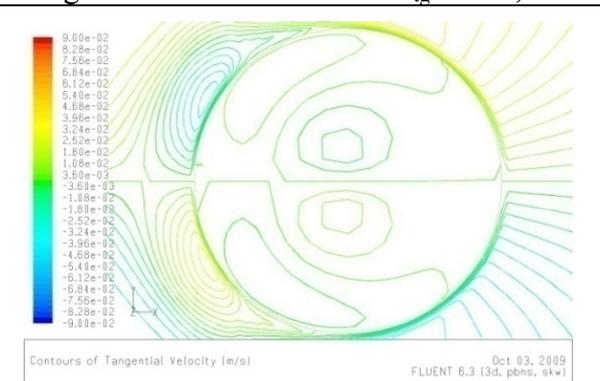


Fig.5.134.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

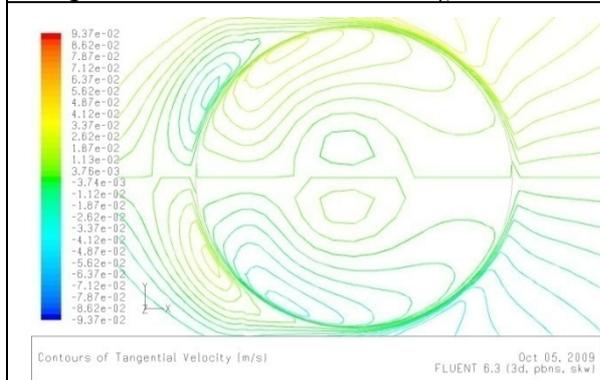


Fig.5.135.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

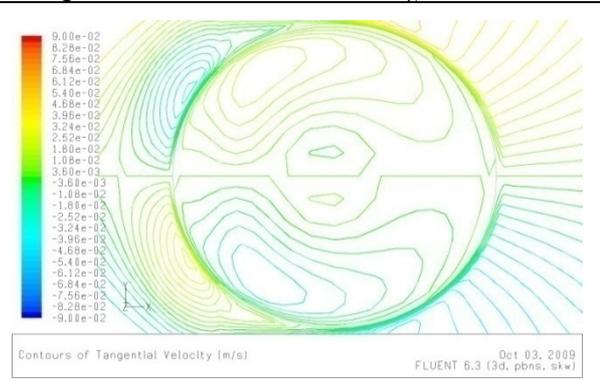


Fig.5.136.b :  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

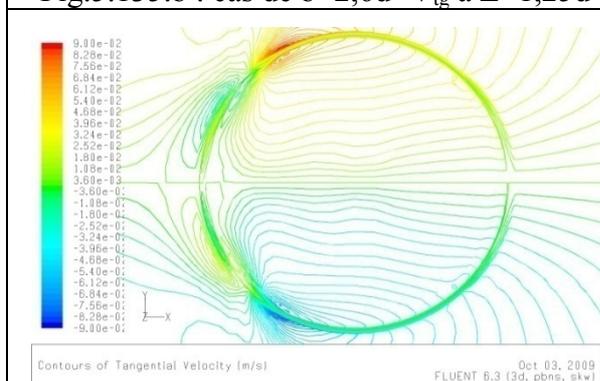


Fig.5.137.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

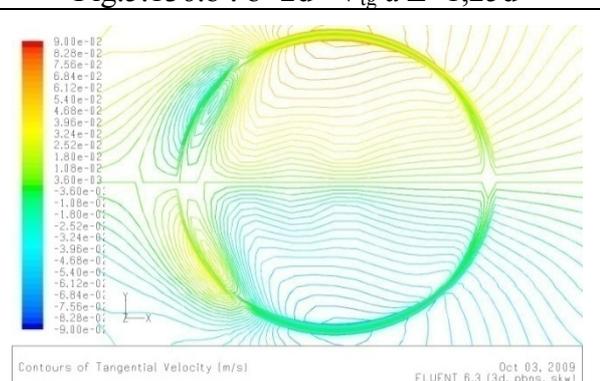


Fig.5.138.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

Les deux cas pour  $z=0,75d$

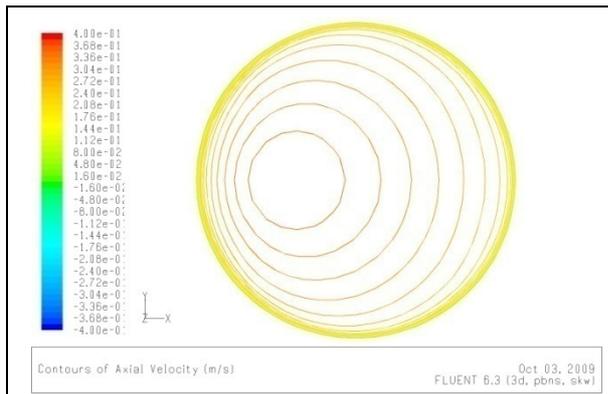


Fig.5.139.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

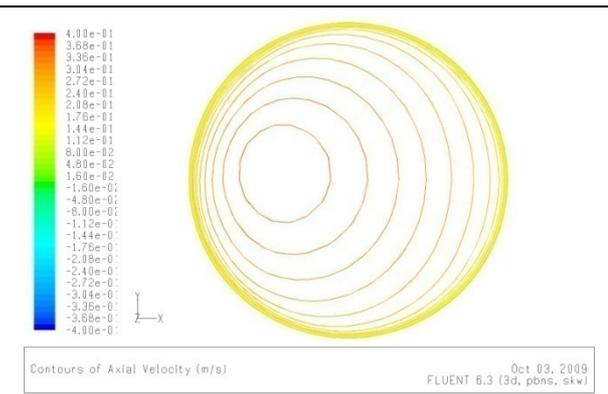


Fig.5.140.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

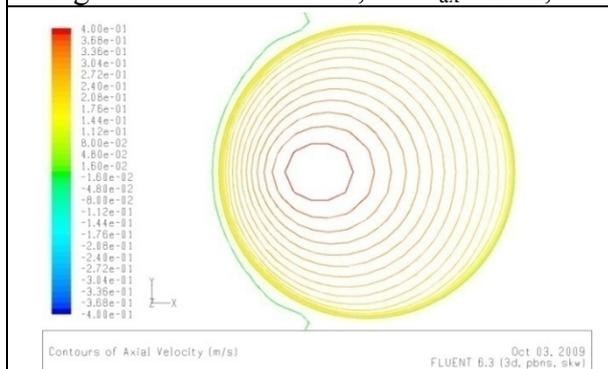


Fig.5.141.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

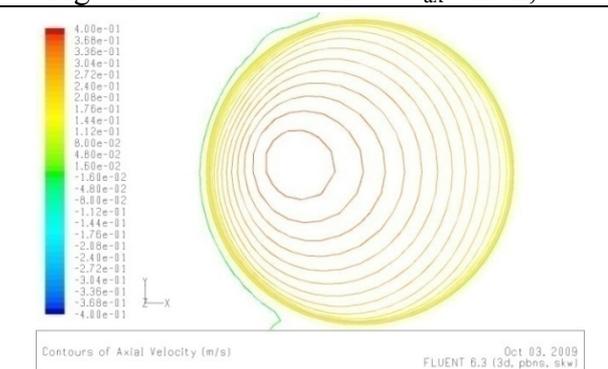


Fig.5.142.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

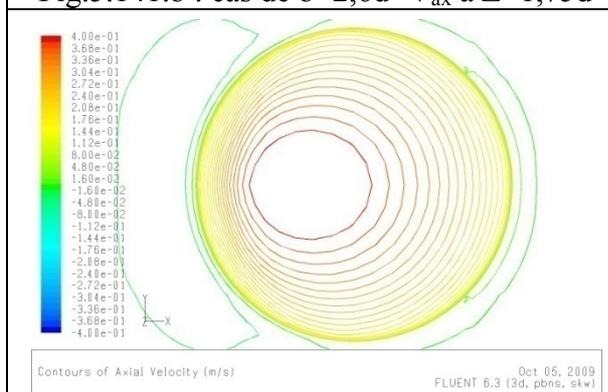


Fig.5.143.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

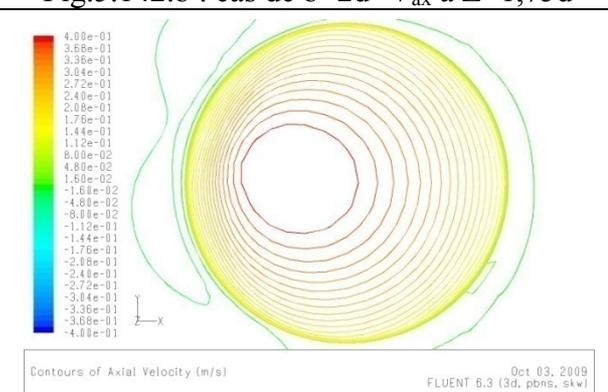


Fig.5.144.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

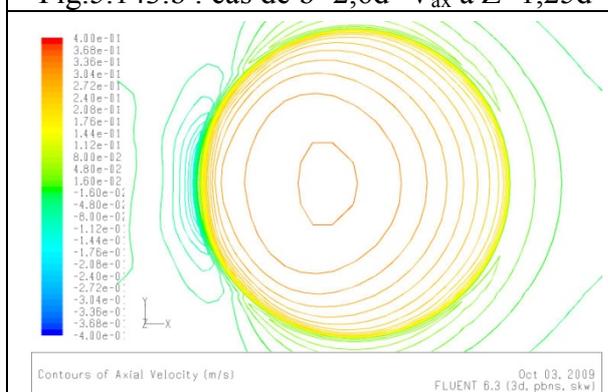


Fig.5.145.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=d$

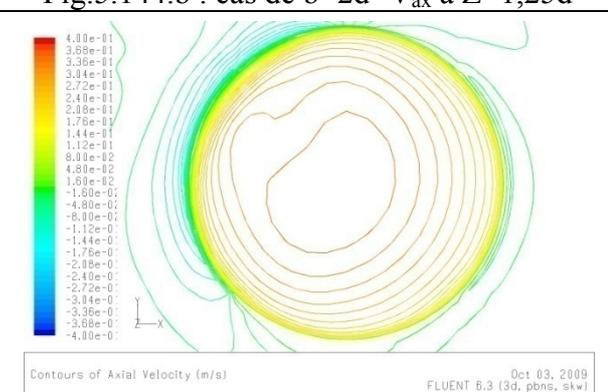


Fig.5.146.b : cas de  $b=2d$  -  $V_{ax}$  à  $Z=d$

Les deux cas pour  $z=d$

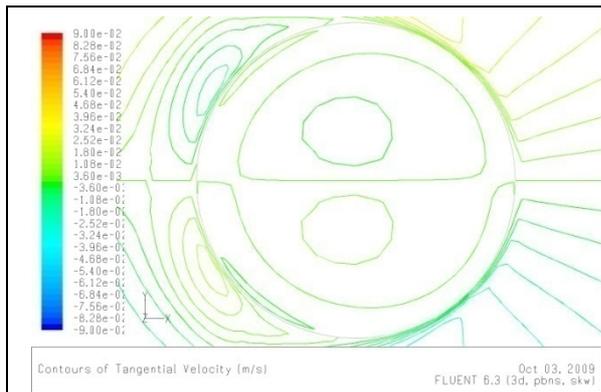


Fig.5.147.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

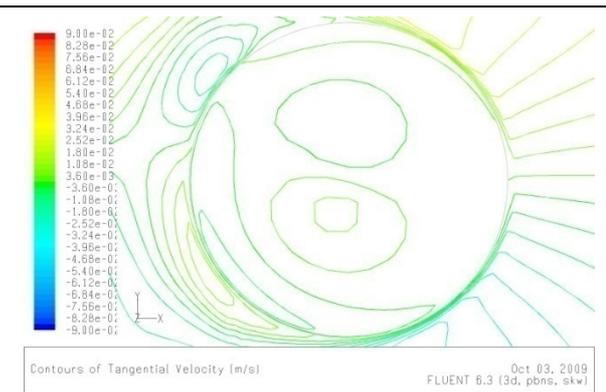


Fig.5.148.b :  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

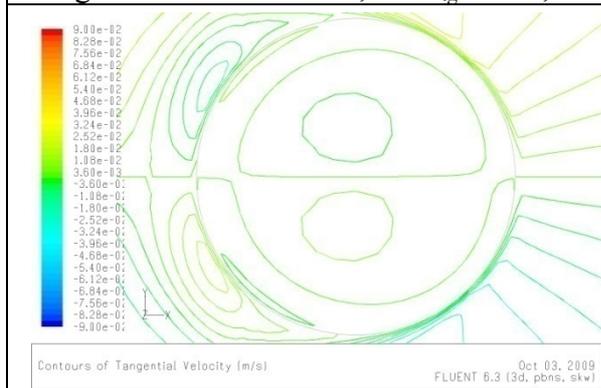


Fig.5.149.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

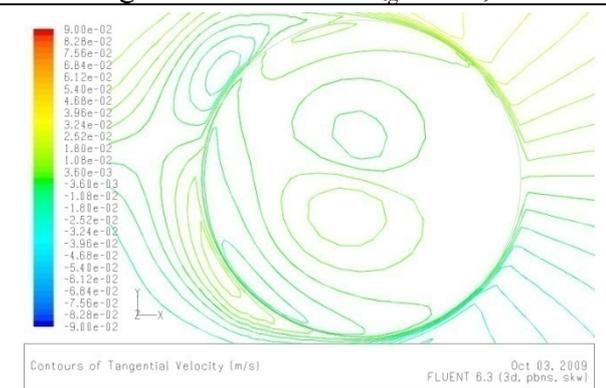


Fig.5.150.b :  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

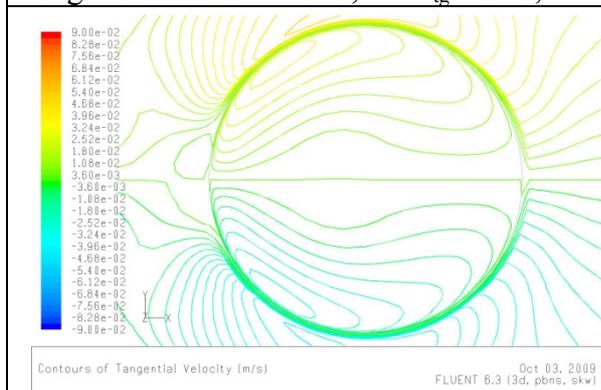


Fig.5.151.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

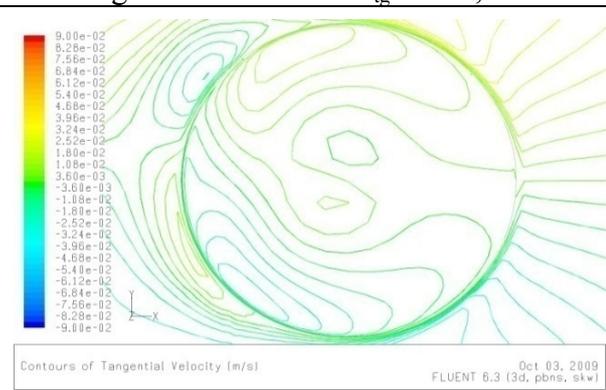


Fig.5.152.b :  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

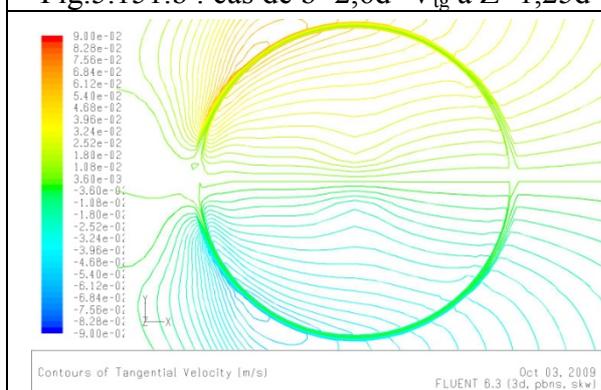


Fig.5.153.b : cas de  $b=2,6d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=d$

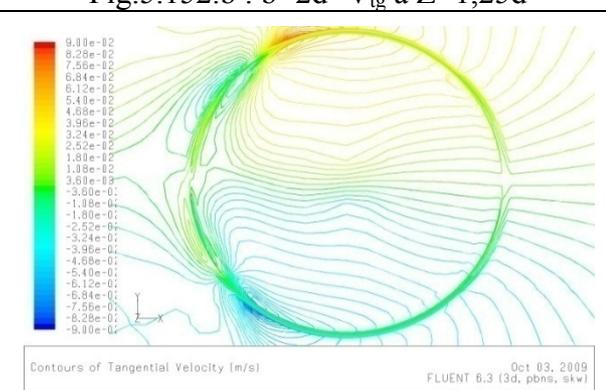


Fig.5.154.b :  $b=2d$  -  $V_{tg}$  à  $Z=d$

Les deux cas pour  $z=d$

### 5.7.4.3. Influence de la position de tuyau par rapport aux murs latéraux

Pour des conditions aux limites correspondantes à une couche limite normale ( $e=6D$ ), nous avons choisi délibérément de ne plus avoir de symétrie pour le plan  $z=0$  en décalant l'axe du tuyau vers les valeurs de  $y$  croissantes, (fig.5.155). Les 3 valeurs de ce décalage présentent dans le tableau 5.4 et correspondent à un déplacement de 0,5cm, 1 cm, et 3 cm. Seules les évolutions des lignes de courant seront ici montrées en figures 5.156a jusqu'à 5.159b.

Chaque série de figures correspondent aux évolutions de la vorticité dans les deux plans habituels, des vitesses axiales et tangentielles toujours pour différentes sections  $Z$  dans le tuyau et pour les deux modèles  $k-\epsilon$  et  $k-\omega$  sont regroupées en ANNEXE B.

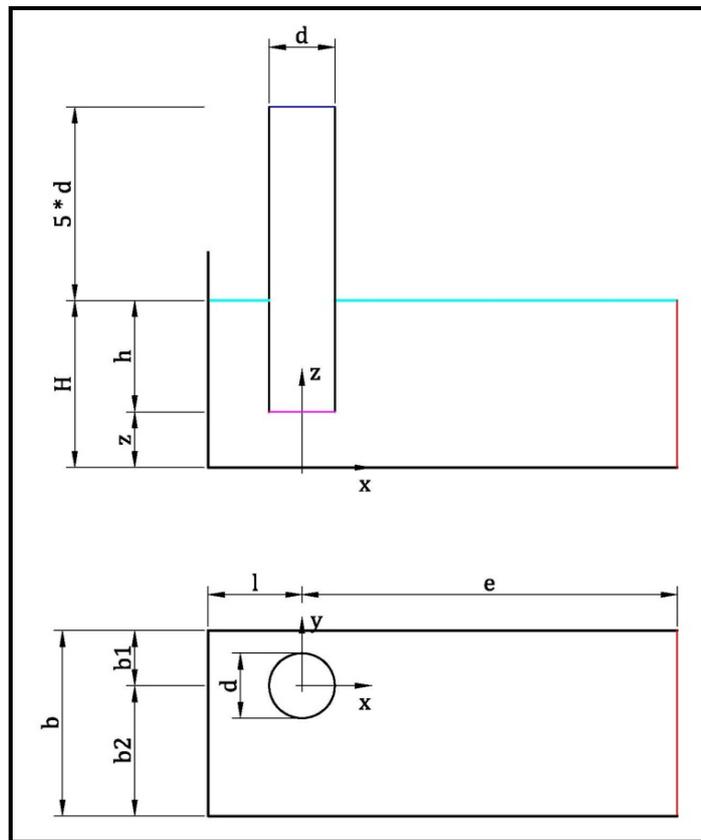


Figure5.155 : Le tuyau décalé dans le bassin

cases			
		<b>b1/d</b>	<b>b2/d</b>
	I	1,25	1,35
	II	1,2	1,4
III	1	1,6	

Tableau 5.4 : Les valeurs de décalage du tuyau

Les résultats sont bien asymétriques dans les deux cas de modèles retenus, ce qui montre bien la sensibilité des résultats par rapport à une légère modification conduisant à une asymétrie de la géométrie telle que  $b1/d$  passe de 1,3 à 1,25. Dès le premier décalage de la position du tuyau, on remarque que deux tourbillons de surface existent ; l'un prenant le pas sur l'autre. Pour le second décalage, il n'y a plus qu'un seul tourbillon placé du côté du décalage. Du côté laissé plus libre à l'opposé du tuyau, le tourbillon issu du développement de la couche limite de la paroi latérale prend de l'importance et l'écoulement forme un tourbillon de coin plus important tournant en sens inverse.

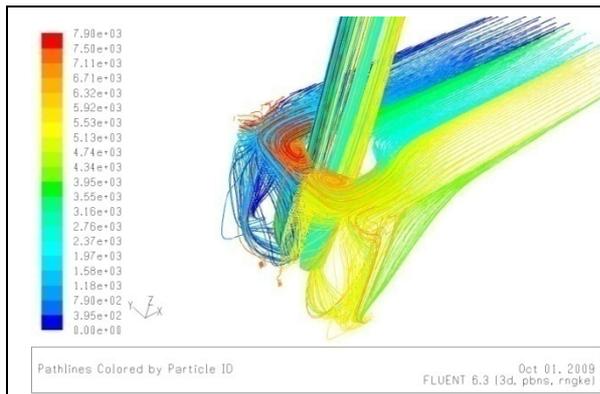


Fig.5.156.a : lignes de courant-b1= b2=1,3d

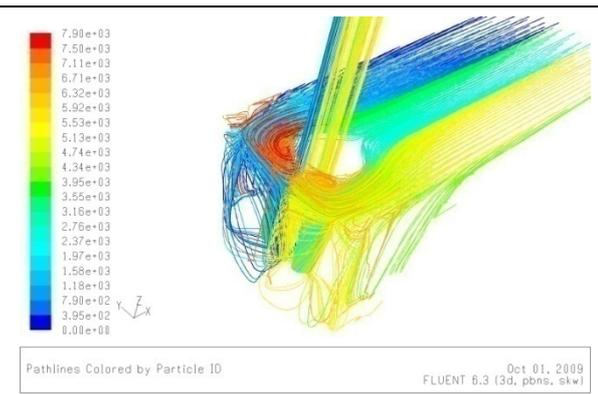


Fig.5.156.b : lignes de courant-b1= b2=1,3d

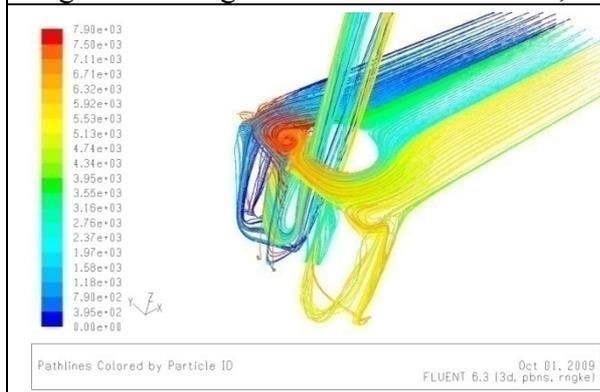


Fig.5.157.a : lignes de courant- I

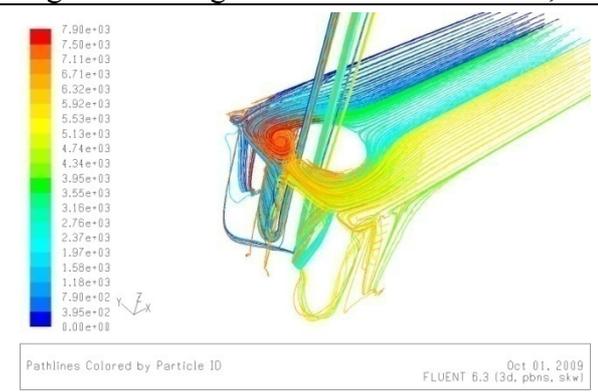


Fig.5.157.b: lignes de courant- I

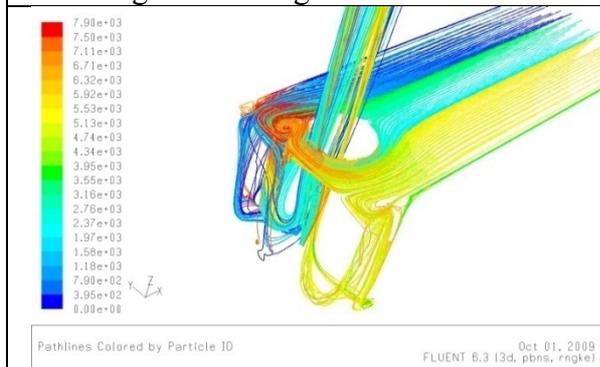


Fig.5.158.a : lignes de courant- II

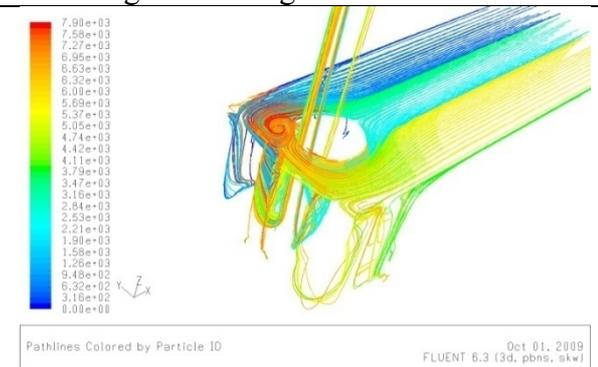


Fig.5.158.b : lignes de courant- II

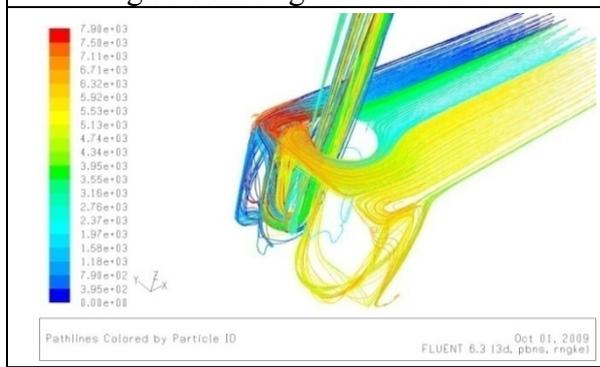


Fig.5.159.a : lignes de courant-III

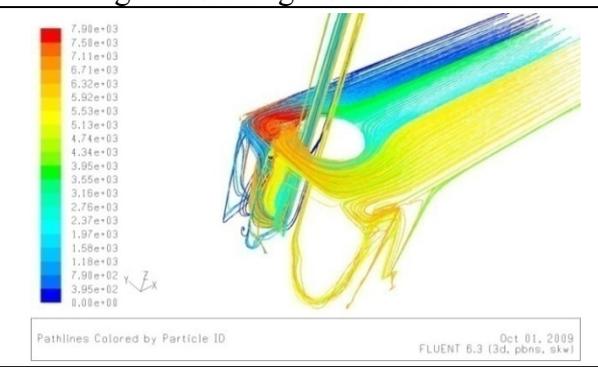


Fig.5.159.b : lignes de courant-III

#### 5.7.4.4. Influence d'une dissymétrie de l'écoulement amont

Pour étudier cette influence, les conditions aux limites à l'amont du domaine ont été modifiées en ajoutant un domaine au-delà de  $e=6d$  comme le montre la figure (5.160).

On impose donc des conditions qui dépendent de la valeur de l'angle  $\theta$  choisi comme pouvant prendre arbitrairement des valeurs de 0, 1, 6, 30 et 45 degrés.

Pour tous ces cas, le tuyau est placé au milieu des parois latérales.

Le cas  $\theta=1^\circ$  n'apparaît pas dans les figures car les écarts entre  $\theta=0^\circ$  et  $\theta=1^\circ$  ne sont pas significatifs.

Enfin, seuls les calculs utilisant le modèle  $k-\omega$  sont montrés. Les figures portent donc tout un indice b

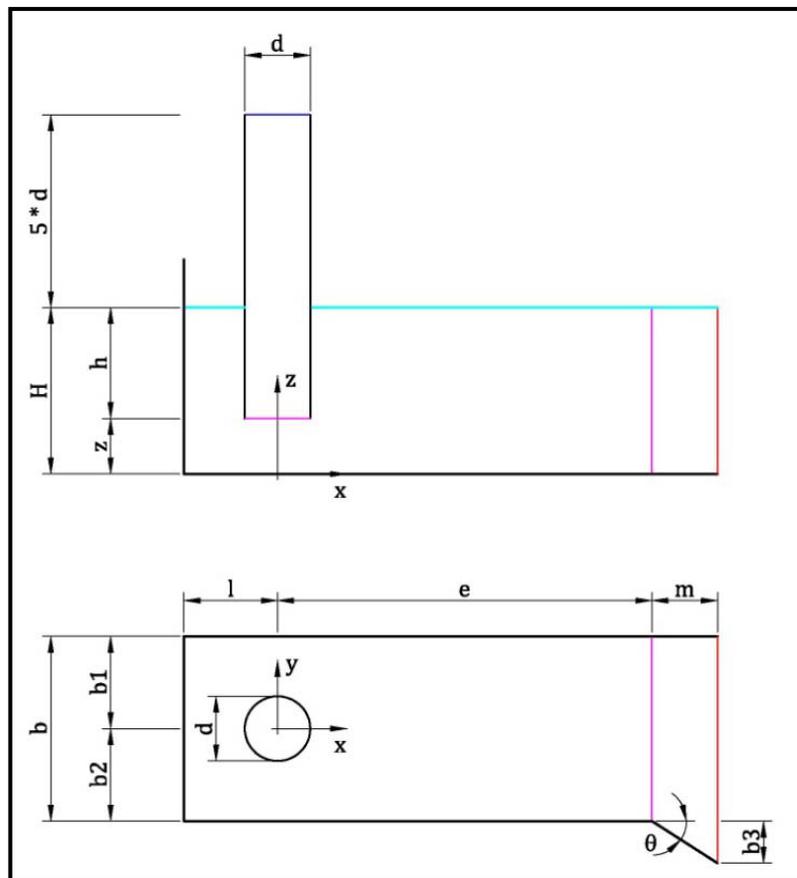
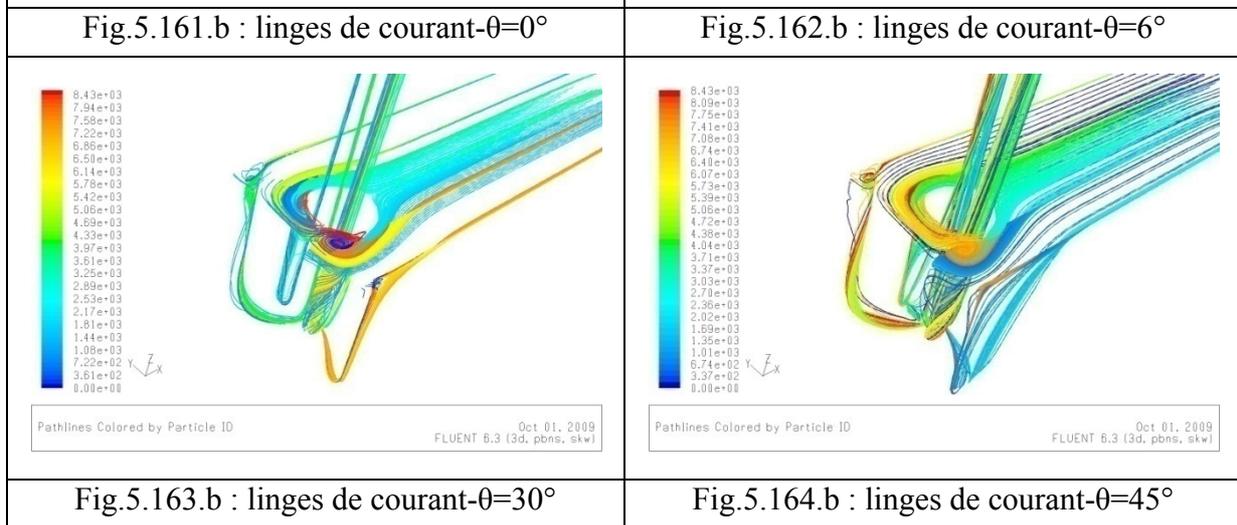
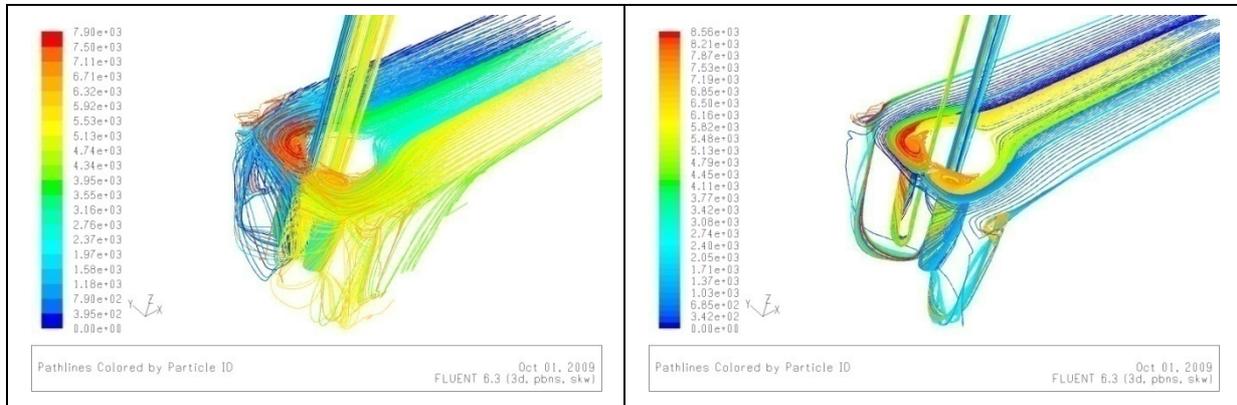


Figure.5.160 : l'angle  $\theta$  à l'amont du domaine

On peut voir figures 5.161b à 5.164b ce que donnent les calculs effectués avec le modèle  $k-\omega$ , pour les évolutions des lignes de courant issues de la surface libre pour les différents cas. Le dédit passe de façon préférentielle du côté opposé à la face où le gradient de vitesse est imposé, ce qui est logique.



Les deux profils de vitesse dans le plan  $z=H$  sont montrés en figures 5.165 I et 5.165 II, respectivement dans le plan de la surface libre et dans le plan  $(x, z)$  ; l'ensemble pour une position  $x=3,5d$ .

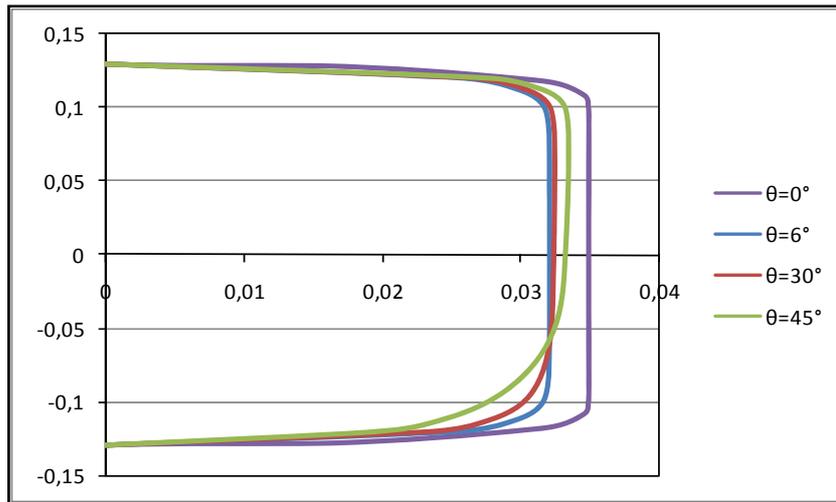


Fig.165.I.b : profil de vitesse dans le plan de la surface libre

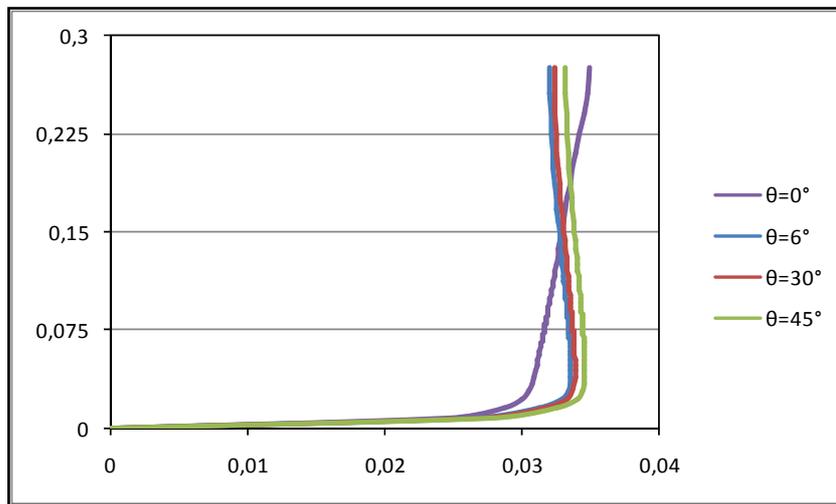


Fig.165.II.b : profil de vitesse dans le plan  $(x, z)$

Le déséquilibre se fait sentir assez vite. On peut considérer que l'écoulement à l'intérieur du tuyau est réellement affecté pour  $\theta=6^\circ$ . Les conséquences sur les valeurs de la vorticité projetées dans les deux plans habituels sont donnés en ANNEXE B, respectivement pour les plans  $(x, z)$  et  $(y, z)$ . On y retrouve également les iso valeurs des vitesses axiales et tangentielles dans le tuyau pour différentes sections  $Z$ . Les structures d'écoulement commencent donc à se différencier du cas de base pour  $\theta=6^\circ$  surtout sur les iso-valeurs de la vitesse tangentielle. Il faut cependant aller à  $\theta=30^\circ$  pour commencer à voir de façon significative un résultat asymétrique pour la vitesse axiale. Notons également que les effets asymétriques sont d'autant plus accentués que le plan d'observation est proche de l'entrée du tuyau (faibles valeurs de  $Z$ ).

## **5.8. Evolutions des pressions statiques**

Toutes les évolutions des pressions statiques à l'intérieur du tuyau et pour un certain nombre de configurations sont reportées en ANNEXE C. A chaque fois, les résultats obtenus avec les deux modèles  $k-\epsilon$  et  $k-\omega$  y sont indiqués respectivement avec les indices a et b.

Quelques résultats en sont extraits dans ce paragraphe pour illustrer les résultats, comme exemple le cas où  $z=d$ .

On a extrait les figures 5.166a à 5.169b de l'ANNEXE C, présentant les iso valeurs des pressions statiques pour différentes sections dans le tuyau correspondantes à 4 différentes valeurs de  $Z$ . On peut noter que les résultats obtenus avec le modèle  $k-\epsilon$  donnent des évolutions le long du contour du tube tout à fait équivalentes à celle de la figure issue du chapitre 4, à savoir que les dépressions les plus faibles se situent sur le côté du tube opposé au mur arrière.

Les niveaux moyens se situent à 120 pascals pour le cas de calcul utilisant  $k-\epsilon$  et 90 pascals pour  $k-\omega$ . Pour les conditions de calcul, la pression dynamique est égale à 45 Pascals.

Les valeurs de pressions moyennes obtenues correspondent à environ 3 fois la valeur de la pression dynamique d'une part et deux fois cette dernière de l'autre. Ces résultats montrent bien que pour la configuration d'un tuyau sans pavillon, le modèle  $k-\epsilon$  donne une perte de charge de l'ordre de deux fois la pression dynamique alors que le deuxième modèle donne une seule fois cette pression dynamique. Cette dernière valeur est plus conforme aux résultats habituellement connus. On est donc conduit à préférer, a priori, le modèle  $k-\omega$ .

Les résultats obtenus au prochain chapitre tendent à confirmer cette approche.

Par ailleurs, on peut remarquer, sur les figures de l'ANNEXE C, qu'il est difficile de compléter l'analyse actuelle, tant les écarts de pression statique sont faibles en fonction des résultats obtenus pour différentes géométries. Une analyse plus complète serait nécessaire.

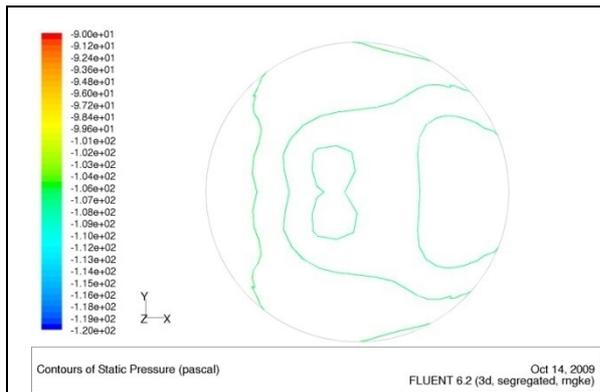


Fig.5 .166.a : cas de  $z=d-Z=2,5d$

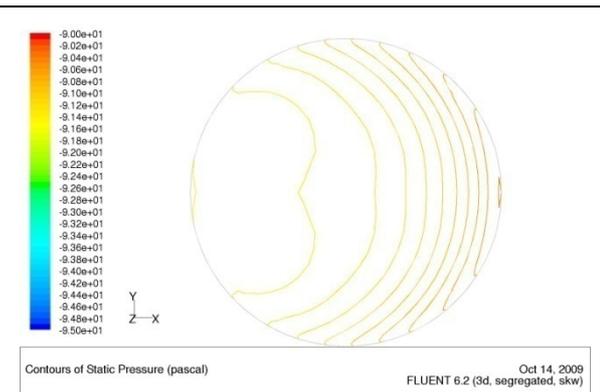


Fig.5 .166.b : cas de  $z=d-Z=2,5d$

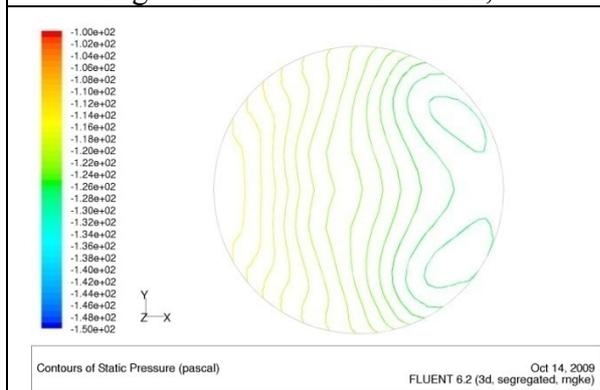


Fig.5 .167.a : cas de  $z=d-Z=1,75d$

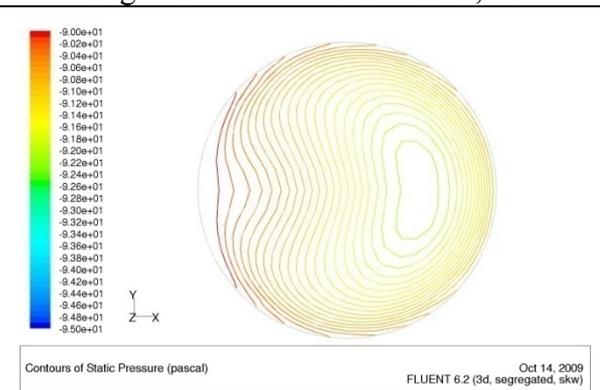


Fig.5 .167.b : cas de  $z=d-Z=1,75d$

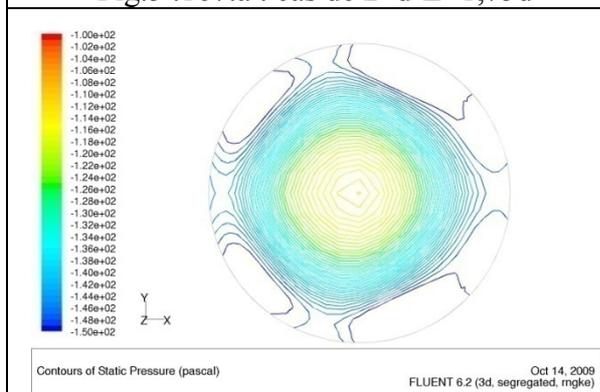


Fig.5 .168.a : cas de  $z=d-Z=1,25d$

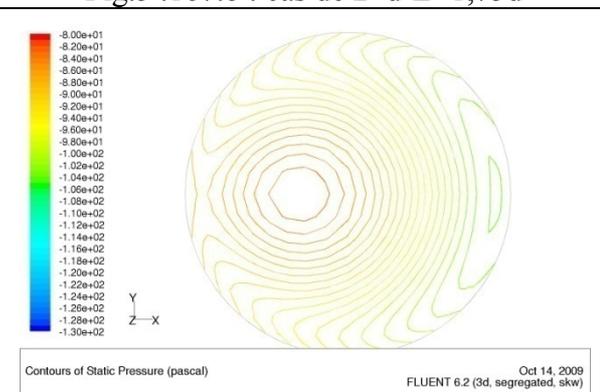


Fig.5 .168.b : cas de  $z=d-Z=1,25d$

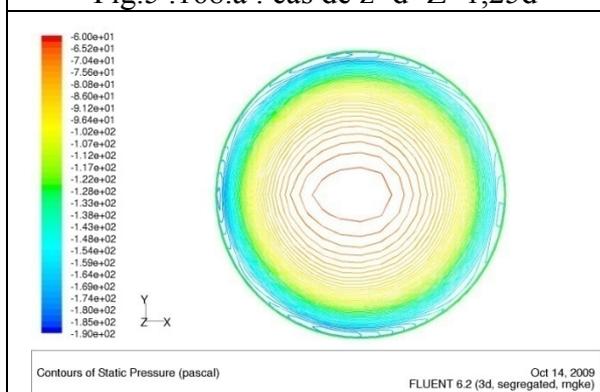


Fig.5.169.a : cas de  $z=d-Z=d$

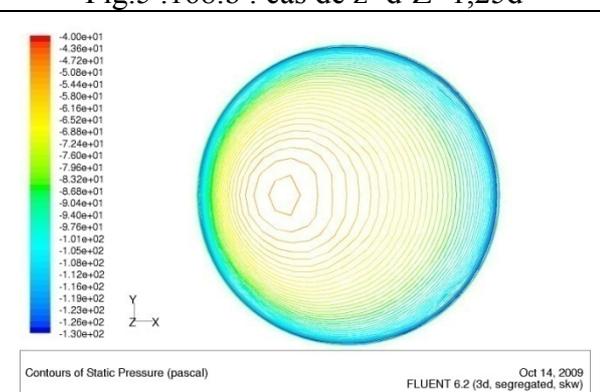


Fig.5.169.b : cas de  $z=d-Z=d$

## **5.9. Test complémentaire**

Pour tester la robustesse du schéma numérique ainsi que la validité du modèle  $k-\omega$ , un calcul supplémentaire est mené avec un maillage non structuré sur la configuration suivante :

$b=3D$  ;  $z=D$  ;  $h=1,8D$  ;  $l=1,25D$  ;  $e=4D$ .

Le débit choisi est celui des essais présentés chapitre 4, correspondant à une vitesse moyenne débitante de 1,6 m/s dans la section constante du tuyau (diamètre  $d$ ), Le tube possède cette fois un pavillon d'aspiration.

Les lignes de courant issues de la surface libre sont portées figure 5.170.

On ne porte que les résultats sur les iso-valeurs de la vitesse axiale et sur la pression statique, respectivement figures 5-171 et 5-172 dans une section juste en aval du pavillon d'entrée. (Attention, l'orientation des axes est telle qu'il semble ne plus avoir de symétrie, alors qu'elle existe bien)

L'obtention des ces résultats n'a été possible qu'avec l'utilisation du modèle  $k-\omega$ . En effet, toutes les tentatives de calcul avec le modèle  $k-\varepsilon$  ont été des échecs ; le calcul ne convergeant jamais.

A la vue des résultats, on constate que la répartition des vitesses axiales indique qu'il n'y a pas de décollement, ce qui est normal. Par ailleurs, les niveaux de pressions statiques obtenus montrent que les valeurs sont légèrement inférieures à la pression dynamique (égale à 1300 pascals. Le calcul trouve donc, un niveau de pertes faibles, de l'ordre de 150 pascals correspondant classiquement à ce type de géométrie.

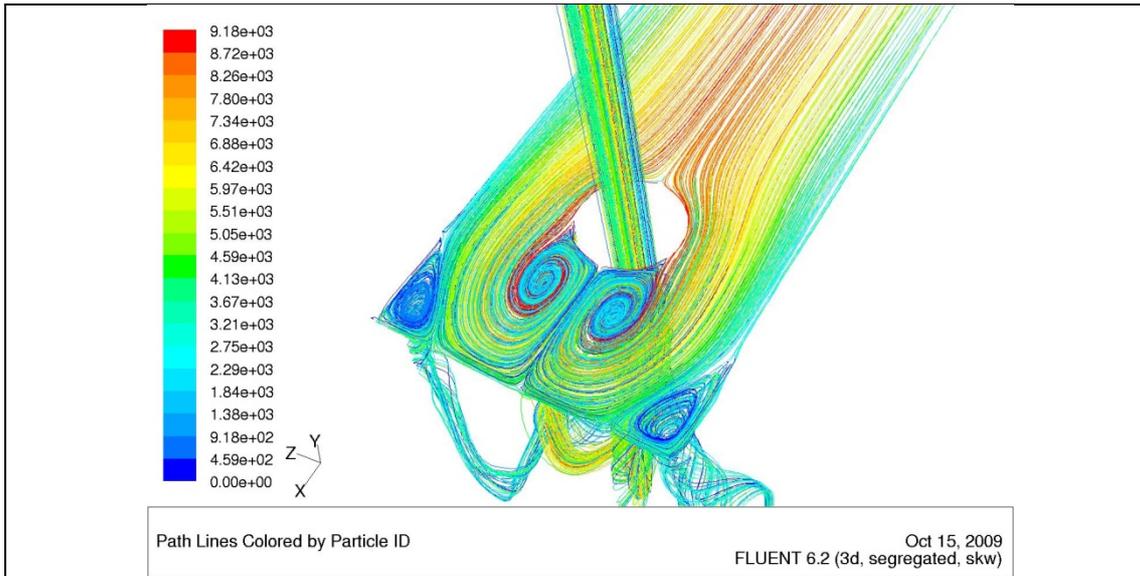


Figure 5.170: Lignes de courant issues de la surface libre. Tuyau muni d'un pavillon, calcul avec  $k-\omega$

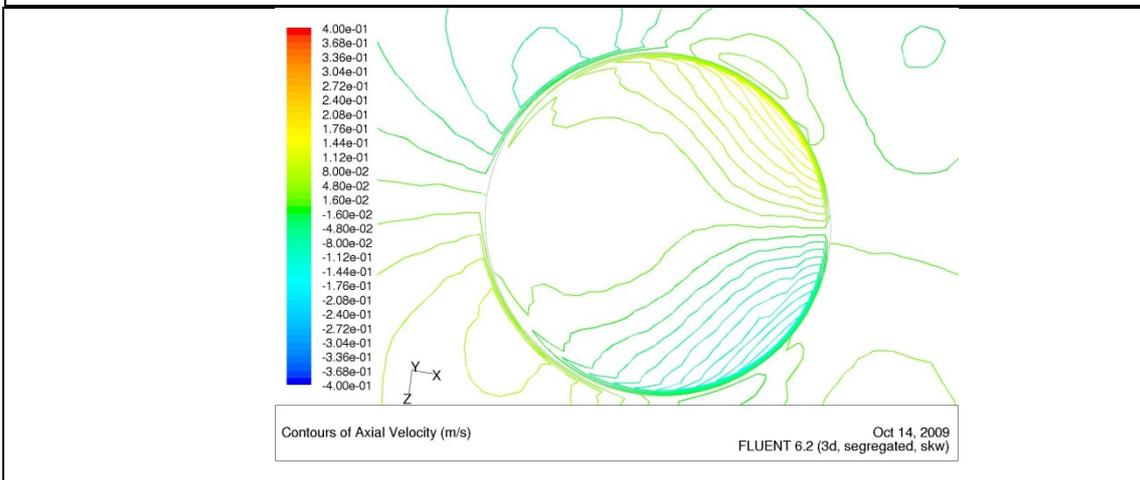


Figure 5.171 : Vitesse axiale au dessus du pavillon

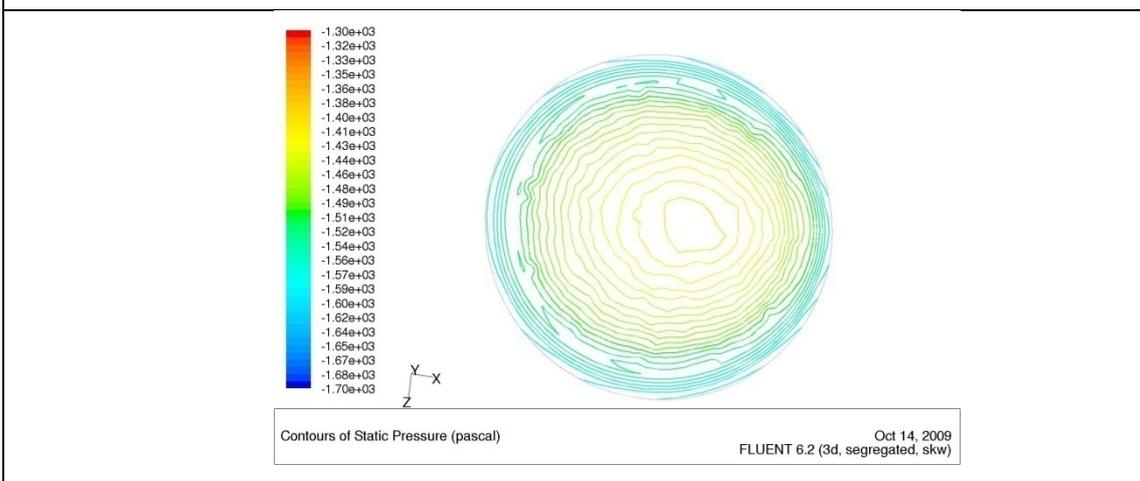


Figure 5.172. Pression statique au niveau du pavillon

Le niveau de pression statique ainsi obtenu est à rapprocher d'une des configurations d'essais du chapitre 4 reprises ici pour mémoire. Les niveaux mesurés, (figure 5.173), (en cm de colonne d'eau) sont tout à fait conformes aux résultats numériques ainsi que leur distribution selon la circonférence.

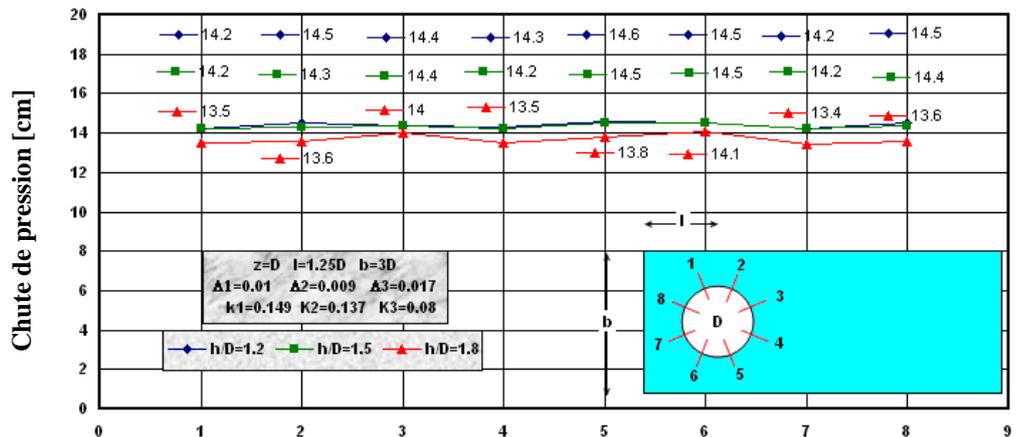


Figure 5.173: la distribution de la pression à la périphérie du tuyau dans le bassin

$$z=D, l=1.25D, b=3D$$

Pour conclure ce chapitre, et dans le cadre des hypothèses de base retenues d'un écoulement monophasique stationnaire, les capacités du code de calcul à simuler les écoulements dans les bassins rectangulaires ont été vérifiés de façon qualitative compte tenu du fait qu'il n'existe pratiquement pas de comparaison possible entre calcul et expérience. Les rares fois où une comparaison est possible, les résultats expérimentaux ne sont pas fiables car mal documentés.

C'est la raison pour laquelle, nous avons retenus, en premier lieu, une configuration dont les résultats numériques étaient disponibles comme ceux de Patel (1998)

Tant que l'on reste dans le bassin et à condition d'avoir un maillage dense, le code montre sa capacité à capter les phénomènes importants et en particulier les différents tourbillons, qu'ils proviennent de la surface libre, du mur arrière ou des murs latéraux et du fond. Cela est vrai pour les deux modèles de fermeture  $k-\epsilon$  et  $k-\omega$ .

La prise en compte d'un pavillon à l'entrée du tuyau d'aspiration ne modifie pas les structures de l'écoulement dans le bassin. Ce constat est en accord avec tous les auteurs ayant obtenus des résultats numériques ou expérimentaux. Bien entendu, les résultats à l'intérieur du tuyau sont, eux, différents.

La littérature ne fait pas état de résultats et de comparaison avec les écoulements à l'intérieur du tuyau, ce qui rend difficile la possibilité de valider les résultats numériques.

A ce stade, nous avons montré que le choix du modèle conditionnait la structure des écoulements dans le bassin, au voisinage du tuyau mais aussi à l'intérieur de celui-ci.

Pour certaine configuration géométriques du bassin telle que faible largeur  $b$  et grande immersion  $h$  (donc faible  $z$ ), les interactions locales peuvent être importantes. Pour des configurations géométriques ayant une symétrie et pour un écoulement amont uniforme, nous constatons que le modèle qui semble le plus fiable est le modèle  $k-\omega$ . Il est en effet, le seul à donner des résultats qui respectent une symétrie à l'intérieur du tuyau.

## **6. CONCLUSIONS**

Dans ce travail, nous avons tenté d'effectuer une exploitation qualitative et quantitative visant à mieux comprendre les structures des écoulements dans les bassins d'alimentation des pompes. Pour cela, les résultats expérimentaux déjà obtenus ont été exploités, complétés par des résultats numériques que nous avons mis en œuvre avec un logiciel disponible du marché.

Différentes configurations géométriques proches des conditions expérimentales ont été testées numériquement. On constate que les résultats numériques sont capables de capter l'essentiel des phénomènes observés. L'influence relative des différentes variantes géométriques sont également en accord avec l'expérience.

Concernant les résultats expérimentaux de la giration, la comparaison avec les calculs est délicate. On peut simplement noter que l'asymétrie de la vitesse axiale obtenue numériquement est d'autant plus forte que la largeur du bassin est faible et que l'immersion du tuyau est faible. L'influence de la position  $l$  du tuyau par rapport au mur arrière est également prise en compte assez correctement

La seule possibilité pour obtenir une asymétrie de la vitesse tangentielle à partir des résultats numérique donnant lieu à une giration globale plus intense de l'écoulement dans le tuyau est donc d'évaluer la sensibilité du code à des conditions initiales modifiées. Pour cette raison, la position du tuyau a été artificiellement décalée, puis les conditions amont ont été modifiées pour simuler d'éventuels défauts d'alimentation dans la configuration expérimentale.

Compte tenu du montage expérimental réel, il est tout à fait possible de ne pas avoir des conditions amont uniformes. Notons qu'aucune vérification sur la qualité de l'écoulement amont n'a été faite pendant les essais.

Outre les compléments d'analyse à effectuer, compte tenu de l'importance des résultats obtenus, il reste à envisager d'effectuer des calculs avec deux fluides, stationnaires, puis non stationnaires pour aller plus loin au niveau numérique. Au niveau expérimental, il faut non seulement bien connaître les conditions amont, mais aussi faire des mesures locales précises dans le bassin et dans la zone de captage en entrés du tuyau, puis dans le tuyau.

Même si les résultats numériques dans le tuyau sont différents selon le modèle utilisé, il est clair que le moindre décollement à l'entrée du tuyau peut provoquer des effets en amont de celui-ci qui peuvent remonter, selon les cas, jusqu'au niveau de la surface libre et même déséquilibrer les structures tourbillonnaires sur celle-ci. On pense, en particulier aux résultats obtenus avec de faibles immersions et de faible hauteur d'eau sur des bassins de faibles largeurs. Des compléments d'analyses expérimentales et numériques semblent nécessaires.



# ***LISTE DES RÉFÉRENCES***

1. A. R., Simpson, R.G. Harrison. (1990). *Hydraulic Model Testing of Pump Sump*. The Institution of Engineers Australia. Conference on Hydraulics in Civil Engineering. P 38-44.
2. Anawar H. Q., Weller J. A. and Amphlett M.B. (1978). *Similarity of free vortex at horizontal intake*. Journal of Hydraulic Research. Vol.16, No.2. P 95-105.
3. Anawar H. Q., Amphlett M.B. (1980). *Vortices at vertically inverted intake*. Journal of Hydraulic Research. Vol.18, No.2. P 123-134.
4. Ansar.M. Nakato.T. Constantinescu G. (2002). *Numerical Simulation of Inviscid Three- Dimensional at Single and Dual Pump-Intakes*. Journal of Hydraulic Research. Vol.40, No.4. P 461-470.
5. Antunes, F. and Holman, J. (1989). *Formed Suction Inlets on Large Specific Speed Pumps*. ASME, Vol.81.
6. Auckland A, Townsend R, Nistor I. (2008). *Flow and Hdraulic Effeiciency of Vertical Drop Structure Intakes: An Experimental Study*. Congrès Annual 2008 de la SCGC-CSCE. P 1-11.
7. Constantinescu G.S. Patel V.C. (1998). *Numerical Model for Simulation of Pump-Intake Flow and Vortices*. Journal of Hydraulic Engineering. P 123-134.
8. Constantinescu G.S. Patel V.C. (2000). *Role of Turbulence Model in Production of Pump-Bay Vortices*. ASCE. Journal of hydraulic Research. Vol.126, No.5. P 123-134.
9. Daggett. L. L. and Keulegan G. H. (1972). *Similitude Condition in Free Surface Vortex Formation*. ASCE. Journal of hydraulic Division. Vol.100, No.11. P 1565-1580.
10. Durgin, W.W. and Hecker.G.J. (1978). *The Modeling of vortices at Intake Structures*. Joint Symposium on the Design and Operating of Fluid Machinery, ASCE/ASME/IAHR, Fort Collins, Co, USA, 381-391.
11. Denny, W.W. and G.J. Young. (1957). *the Prevention of Vortices and Swirl at Intakes*. 7<sup>th</sup> IAHR Congress, IAHR, Lisbon, Portugal.

12. Farrell C. and Angelo R. (1984). *Characteristics and Modeling of Intake Vortices*. Journal of Engineering Mechanics. Vol.110, No.5. P 723-742.
13. Fluent.
14. Funaki J., Neya M., Hattori M., Tanigawa H., Hirata K. (2007). *Flow Measurements in a Suction Sump by UVP*. Journal of Fluid Science and Technology. Vol.73, No.726. P 68-79.
15. Gulliver J.S, Rindels A.J, Lindblom K.C; (1986). *Designing Intakes to Avoid Free-Surface Vortices*.
16. Hai-Feng L., Hong-Xum C., Zheng M. YI Z.(2008). *Experimental and Numerical Investigation of Free Surface Vortex*. Journal of Hydrodynamics. Vol.20, No.4. P 485-491.
17. Hattersly R. T. (1965). *Hydraulic Design of Pump Intakes*. Journal of hydraulic Division. ASCE .Vol.95, No.2. P 223-228.
18. Hecker G; E. (1981). *Model- Prototype Comparison of Free Surface Vortices*. Journal of hydraulic Division. ASCE .Vol.107, No.10. P 1243-1259.
19. Hecker G; E. (1984). *Scale Effects in Modeling Vortices*. Symposium on Scale Effects in Modeling Hydraulic Structures, International Association for Hydraulic Research.
20. Hydraulic Institute Standards. (1983). *Centrifugal, Rotary and Reciprocating Pumps*. 14<sup>th</sup> ed., HIS, Cleveland, Ohio.
21. Hydraulic Institute Standard Draft. (1997). *Pump Intake Design*.
22. Isbasoiu E. C., Muntean T., Safta C.A., Stanescu P. (2005). *Swirling Flows in the Suction Sumps of Vertical Pumps. Theoretical Approach*. Workshop on Vortex Dominated Flows- Achievements and Open problems. Timisoara, Romania.
23. Issa. A. Bayeul-Lainé. A-C. Bois. G. (2008). *Numerical Simulation of Flow Filed Formed in Water Pump-Sump*. IAHR. 24<sup>th</sup> symposium on Hydraulic Machinery and systems. Foz Do Iguassu, Brazil.
24. Issa. A. Bayeul-Lainé. A-C. Bois. G. (2009). *Numerical Study of the influence of Geometrical Parameters on Flow in Water Pump-Sump*. 14<sup>th</sup> International Conference on Fluid Flow Technologies. Budapest, Hungary.
25. Iversen h. W. (1953). *Studies of Submergence Requirement of High Specific Speed Pumps*. Transactions American of Mechanical Engineers. Vol.75. P 635-641.

26. Jain A.K, Raju R; K, Garde R. J. (1978). *Vortex Formation at Vertical Pipe Intakes*. Journal of hydraulic Division. ASCE .Vol.104, No.10. P 1429-1445.
27. Johansson A. E., Stacy P. S., White D. K., Lin F. (2005). *Advancements in Hydraulic Modeling of Cooling Water Intakes in Power Plants*. Proceeding of PWR 2005. ASME Power. P 1-10.
28. John E., Hite J., Mih W. C. (1994). *Velocity of Air-Core Vortices at Hydraulic Intakes*. ASCE. Journal of Hydraulic Engineering. Vol.120, No.3. P 284-297.
29. Kim J. Y., Chung k. N., Kim H. G., Kim Y. H. (2006). *Flow Analysis of the Subsurface Vortices in Pump Sump Models*. 23<sup>rd</sup> IAHR Symposium. P 1-8.
30. Kougnima T., Kahawita R. (1983). *Etude de Formation de Vortex au voisinage de l'Aspiration Vertical Inversée Dans un Puits de Pompage*. P 369-383.
31. Mahadevan P., Hecker G., (1984). *Scale effects in Pump Sump Models*. ASCE. Journal of Hydraulic Engineering. Vol.110.
32. Marghzar S. H., Rahimzadeh H., Montazerin N. (2003). *Flow Filed, Turbulence and Critical condition at a Horizontal Water Intake?*
33. Matsui J., Kamemoto K., Okamura T. (2006). *CFD Benchmark and a Model Experiment on the in Pump Sump*. 23<sup>rd</sup> IAHR Symposium. P 1-10.
34. Nagahara T., Sato T., Okamura T., (2001). *Effect of Submerged Vortex Cavitation Occurred in Pump Suction Intake on hydraulic Forces of Mixed Flow Pump Impeller*. First International Symposium on Cavitation. P 1-8.
35. Nagahara T., Sato T., Okamura T., (2003). *Measurement of the Flow around the Submerged Vortex Cavitation in a Pump n Intake by Means of PIV*. Fifth International Symposium on Cavitation. Osaka. Japan. P 1-7
36. Nagahara T., Sato T., Okamura T., (2006). *Unsteady simulation of the Flow Field around a Submerged Vortex Cavitation in a Pump Intake Sump*. Sixth International Symposium on Cavitation. Wageningen. The Netherlands. P 1-6.
37. Nakato, T. and Yoon, B. (1992). *A Model Study of the Proposed St. Louis County Water Company's Water Intake near River Mile 37 on the Missouri River*. IIHR Limited Distribution Report No.187.
38. Odgaard A. J. (1986). *Free- Surface Air Core Vortex*. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 112. No. 7. P 610-620.

39. Oh Y., Kim Y., Lee D., Kim H., Kim B., Lee Y. (2006). *An Experimental Study on Vortex Behavior at Partitioned Pump Sump Configuration*. 23<sup>rd</sup> IAHR Symposium. P 1-7.
40. Padamanabhan M., Heecker G., (1984). *Scale effects in Pump Sump Models*. ASCE. Journal of Hydraulic Engineering. Vol.110.
41. Prosser M. J. (1977). *The Hydraulic Design of Pump sump and Intakes*. BHRA, Fluid Engineering. CIRIA. P 1-48
42. Quick M. C. (1962). *Scale Relationship between Geometry similar Free Spiral Formations*. Civil Engineering and Public Works Reviews.
43. Quick M. C. (1970). *Efficiency of Air-Entraining Vortex Formation at Water Intake*. Journal of hydraulic Division. ASCE .Vol.96, No.7. P 1403-1415.
44. Rajendran V. P., Constantinescu G.S. Patel V.C. (1998). *Experiments on Flow in a Model Water-Pump Intake Sump to Validate a Numerical Model*.ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting. Washington, DC. P 1-10.
45. Rajendran V. P., Constantinescu G.S. Patel V.C. (1999). *Experimental Validation of Numerical Model of Flow in Pump-Intake Bays*. Journal of hydraulic Engineering. Vol.125, No.11. P 1119-1125.
46. Rajendran V. P., Patel V.C. (2000). *Measurement of Vorticity in Model Pump-Intake Bay by PIV*. Journal of hydraulic Engineering. Vol.126, No.5. P 322-334
47. Shibata T., Iwano R., Nagahara T., Okamura T. (2000). *A Numerical Method for Predicting the Cavitation Inception of a submerged Vortex in Pump Sumps*.20<sup>th</sup> IAHR Symposium.
48. Shukla S., Kshirsagar J.T., (2008). *Numerical Prediction of Air Entrainment in Pump Intake*. Proceedings of the 24 International Pump Users Symposiums. P 29-33.
49. Stepanoff A. J. (1957). *Centrifugal and Axial Flow Pumps*. John Wiley& Sons.
50. Suerich-Gulick F., Gaskin S., Villeneuve M., Parkinson E. (2006). *Experimental and Numerical Analysis of Free Vortices at a Hydropower Intake*. Rroc. 7<sup>th</sup> InT. Conf. on Hydrosience and Engineering. Philadelphia. P 1-11.
51. Suerich-Gulick F., Gaskin S., Villeneuve M., Parkinson E. (2006). *Numerical Simulation of a Free Surface Vortex Formed in the Wake Pier at a Hydropower Intake*
52. Sweeney C. E., Elder R.A., Duncan H. A. (1982). *Pump Sump Design Experience: Summary*. Journal of hydraulic Division. Vol.108, No.3.

53. Tanjuy.P. (2003). *Simulation de l'Hydrodynamique des Réacteurs Biologiques à Culture Libre.*
54. Tokyay T.E., Constantinescu G.S. (2005). *LES and RANS Simulation of Flow in a Realistic Pump-Intake.* World Water and Environmental Resources Congress, EWRI, ALASKA. P 1-11.
55. Tsou. John L. Melville B. W. Ettema R., Natako T. (1994). *Review of flow Problems at Water Intake Pump Sump.* Heat Exchanger Technologies for Global Environment
56. Tullis J. P. (1979). *Modeling in Design of Pumping Pits.* Journal of hydraulic Division. Vol.105, No.9. P 1053-1063.
57. U.S. Army Corps of Engineers. (1988). *Hydraulic Design Guidance for Rectangular Sumps of Small Pumping Stations with Vertical Pumps and Ponded Approaches.* Engrg. Tech. Letter. No. 1110-2-313, Washington, D.C., 1-3
58. Urroz, G. E and Tullis, J.P.(1990).*Model study of the Water Pump Pits at Nevada Power Clark Station Combined Cycle Conversion Project.* Report No. 256, Utah Water Research Laboratory, Logan, UT.
59. Wijdieks J., (1985). *Practice and criteria of Pump Sump Model Investigation.* Delft Hydraulic Laboratory, Publication. No342



# ANNEXE A : CREATION DU MAILLAGE

Notre objectif était de créer un maillage structuré comme celui de Patel. Pour cela, nous avons choisi de diviser le domaine de calcul en 3 blocs, fig. A.1

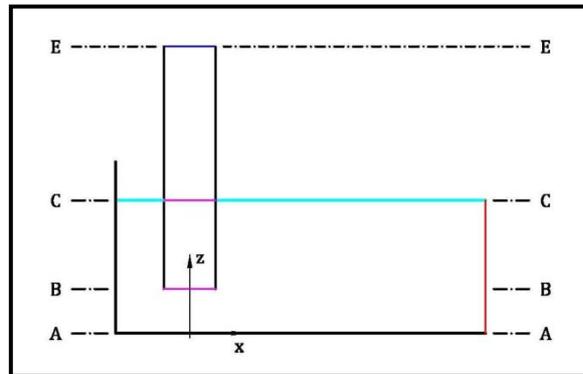
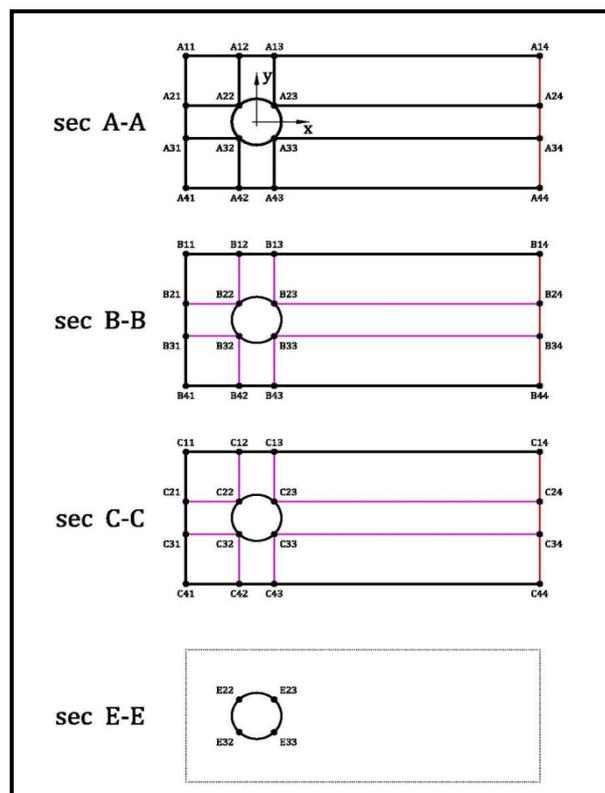


Fig. A.1 : les 3 blocks du maillage

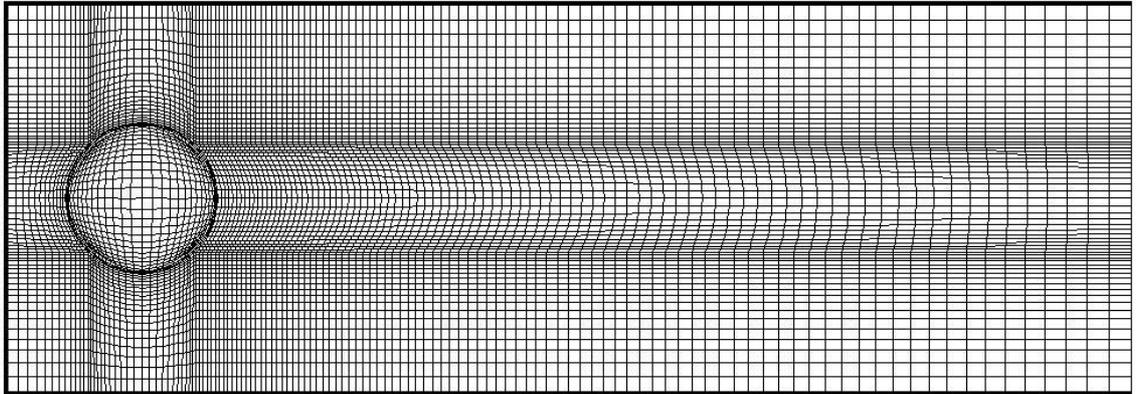
La figure A.2 montre les différentes sections et nœuds principales du maillage



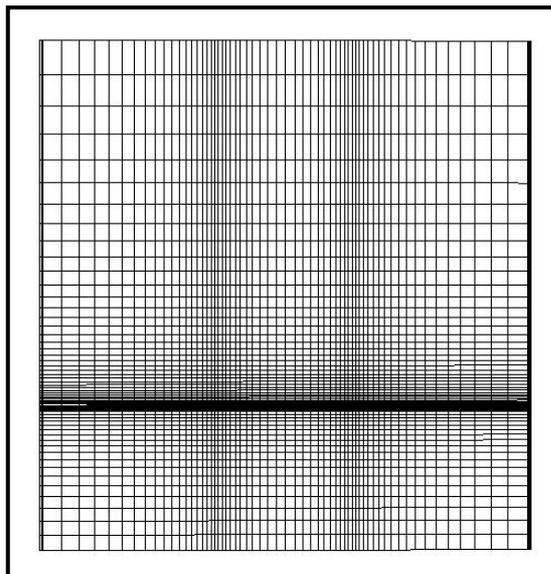
La figure A.2 : les différentes sections et nœuds principales du maillage

La figure A.3 montre le maillage et sa direction de densité pour la section A-A

La figure A.4 montre le maillage et sa direction de densité pour le plan (A11-C11, A41-C41)



La figure A.3 : le maillage et sa direction de densité pour la section A-A



La figure A.4 le maillage et sa direction de densité pour le plan (A11-C11, A41-C41)

Le tableau A.1, détaille les différentes parties et précisent leurs dimensions.

Le tableau A.2, détaille la densité de maillage, et le nombre de nœuds, pour le maillage de 171900 cellules.

Le tableau A.3, détaille la densité de maillage, et le nombre de nœuds, pour le maillage de 592042 cellules.

	X	Y	Z
A11, B11, C11	-l	b1	0, z, H
A12, B12, C12	-0.707 *D	b1	0, z, H
A13, B13, C13	0.707 *D	b1	0, z, H
A14, B14, C14	e	b1	0, z, H
A21, B21, C21	-l	0.707 *D	0, z, H
A22, B22, C22, D22	-0.707 *D	0.707 *D	0, z, H, H+5*D
A23, B23, C23, D23	0.707 *D	0.707 *D	0, z, H, H+5*D
A24, B24, C24	e	0.707 *D	0, z, H
A31, B31, C31	-l	-0.707 *D	0, z, H
A32, B32, C32, D32	-0.707 *D	-0.707 *D	0, z, H, H+5*D
A33, B33, C33, D33	0.707 *D	-0.707 *D	0, z, H, H+5*D
A34, B34, C34	e	-0.707 *D	0, z, H
A41, B41, C41	-l	-b2	0, z, H
A42, B42, C42	-0.707 *D	-b2	0, z, H
A43, B43, C43	0.707 *D	-b2	0, z, H
A44, B44, C44	e	-b2	0, z, H

Le tableau A.1 : détaille les différentes parties et précisent leurs dimensions.

Maillage 171900 cellules		
Suivant X	Nombres de mailles	densité
A11 ; A12	10	1,1
A12 ; A13	15	1,1-1,1
A13 ; A14	60	1,02
A21 ; A22	10	1,1
A22 ; A23	15	1,1-1,1
A23 ; A24	60	1,02
A31 ; A32	10	1,1
A32 ; A33	15	1,1-1,1
A33 ; A34	60	1,02
A41 ; A42	10	1,1
A42 ; A43	15	1,1-1,1
A43 ; A44	60	1,02
Suivant Y		
A11 ; A21	15	1,1
A21 ; A31	15	1,1-1,1
A31 ; A41	15	1,1
A12 ; A22	15	1,1
A22 ; A32	15	1,1-1,1
A32 ; A42	15	1,1
A13 ; A23	15	1,1
A23 ; A33	15	1,1-1,1
A33 ; A43	15	1,1
A14 ; A24	15	1,1
A24 ; A34	15	1,1-1,1
A34 ; A44	15	1,1
Suivant Z		
A11 ; B11	12	1,1
B11 ; C11	30	1,1
C11 ; D11	50	1

Le tableau A.2 : la densité de maillage, et le nombre de nœuds, pour le maillage de 171900 cellules.

Maillage 592042 cellules		
Suivant X	Nombres de mailles	densité
A11 ; A12	15	1,1
A12 ; A13	22	1,1-1,1
A13 ; A14	90	1,02
A21 ; A22	15	1,1
A22 ; A23	22	1,1-1,1
A23 ; A24	90	1,02
A31 ; A32	15	1,1
A32 ; A33	22	1,1-1,1
A33 ; A34	90	1,02
A41 ; A42	15	1,1
A42 ; A43	22	1,1-1,1
A43 ; A44	90	1,02
Suivant Y		
A11 ; A21	22	1,1
A21 ; A31	22	1,1-1,1
A31 ; A41	22	1,1
A12 ; A22	22	1,1
A22 ; A32	22	1,1-1,1
A32 ; A42	22	1,1
A13 ; A23	22	1,1
A23 ; A33	22	1,1-1,1
A33 ; A43	22	1,1
A14 ; A24	22	1,1
A24 ; A34	22	1,1-1,1
A34 ; A44	22	1,1
Suivant Z		
A11 ; B11	18	1,1
B11 ; C11	45	1,1
C11 ; D11	50	1

Le tableau A.3 : la densité de maillage, et le nombre de nœuds, pour le maillage de 592042 cellules.



# ***ANNEXE B : CONTOURS DE VORTICITÉ ET DE VITESSE TANGENTIELLE***

Dans la configuration du bassin telle quelle :

( $z=0,75d$ -  $l=0,9d$ - $h=2d$ - $b=2,6d$ ) pour le décalage du tuyau entre les 2 murs latéraux pour différentes  $b_1/d$  et  $b_2/d$ . les conditions d'approche à l'aval du bassin sont uniforme.

L'indice a présente  $k-\varepsilon$ , et l'indice b présente  $k-\omega$ .

Les figures (B.1,.....et B.4) présentent la vorticité dans le plan (x-z)

Les figures (B.5,.....et B.8) présentent la vorticité dans le plan (y-z)

Les figures (B.9,.....et B.12) présentent la vitesse axiale dans le cas de  $b_1/d=1,25$  et  $b_2/d=1,35$ (I) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.13,.....et B.16) présentent la vitesse tangentielle dans le cas de  $b_1/d=1,25$  et  $b_2/d=1,35$ (I) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.17,.....et B.20) présentent la vitesse axiale dans le cas de  $b_1/d=1,2$  et  $b_2/d=1,4$ (II) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.21,.....et B.24) présentent la vitesse tangentielle dans le cas de  $b_1/d=1,2$  et  $b_2/d=1,4$ (II) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.25,.....et B.28) présentent la vitesse axiale dans le cas de  $b_1/d=1$  et  $b_2/d=1,6$  (III) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.29,.....et B.32) présentent la vitesse tangentielle dans le cas de  $b_1/d=1$  et  $b_2/d=1,6$  (III) pour différents plans de Z dans le tuyau.

Dans la configuration du bassin telle quelle :

( $z=0,75d$ - $l=0,9d$ - $h=2d$ - $b=2,6d$ ) avec un tuyau au milieu entre les 2 murs latéraux pour différentes valeurs de  $\theta^\circ$ .

Les figures (B.33.....et B.36) présentent la vorticité dans le plan (x-z), avec  $k-\omega$

Les figures (B.37,.....et B.40) présentent la vorticité dans le plan (y-z), avec  $k-\omega$

Les figures (B.41,.....et B.48) présentent la vitesse axiale dans les cas de  $\theta=0^\circ$ , et  $\theta=6^\circ$  pour différents plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.49,.....et B.56) présentent la vitesse axiale dans les cas de  $\theta=30^\circ$ , et  $\theta=45^\circ$  pour différentes plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.57,.....et B.64) présentent la vitesse tangentielle les cas de  $\theta=0^\circ$ , et  $\theta=6^\circ$  pour différentes plans de Z dans le tuyau.

Les figures (B.65,.....et B.72) présentent la vitesse tangentielle les cas de  $\theta=30^\circ$ , et  $\theta=45^\circ$  pour différentes plans de Z dans le tuyau.

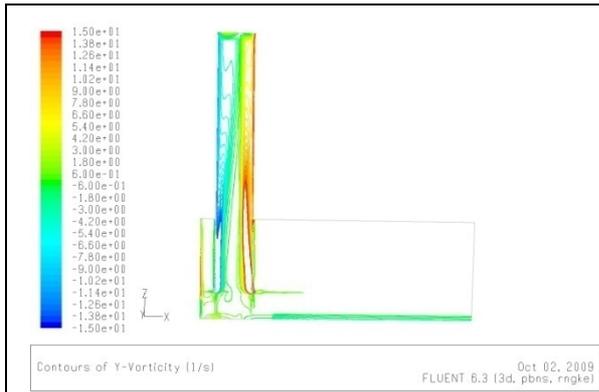


Fig.B.1.a: la vorticité (x-z) pour  $b_1 = b_2 = 1,3d$

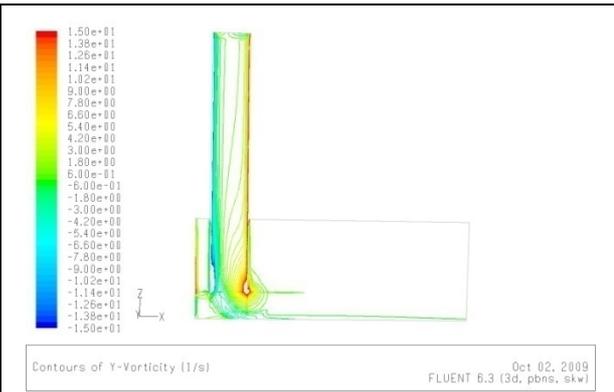


Fig.B.1.b: la vorticité (x-z) pour  $b_1 = b_2 = 1,3d$

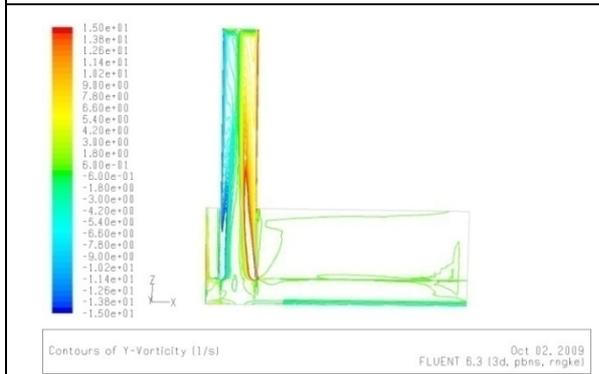


Fig.B.2.a: vorticité (x-z) pour I



Fig.B.2.b: vorticité (x-z) pour I



Fig.B.3.a: vorticité (x-z) pour II



Fig.B.3.b: vorticité (x-z) pour II



Fig.B.4.a: vorticité (x-z) pour III

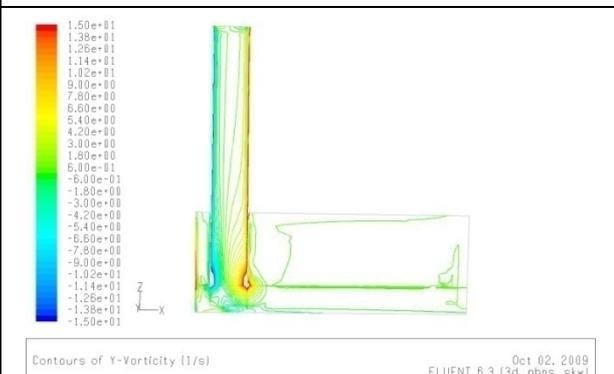


Fig.B.4.b: la vorticité (x-z) pour III

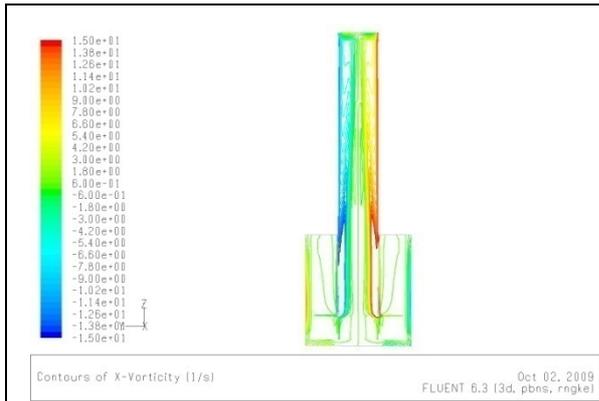


Fig.B.5.a: vorticité (y-z) pour  $b_1 = b_2 = 1,3d$

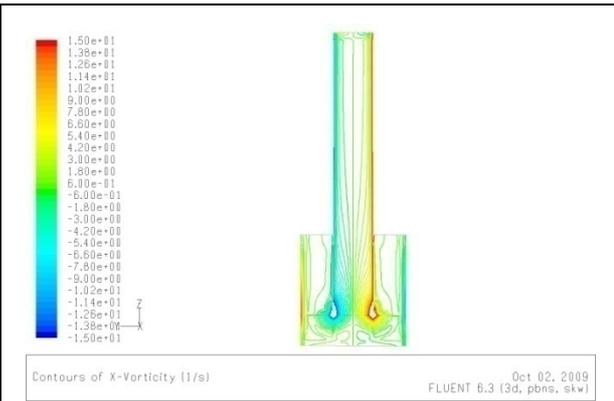


Fig.B.5.b: vorticité (y-z) pour  $b_1 = b_2 = 1,3d$

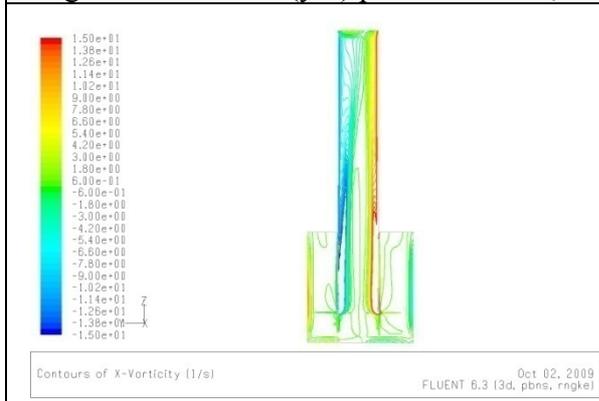


Fig.B.6.a: vorticité (y-z) pour I

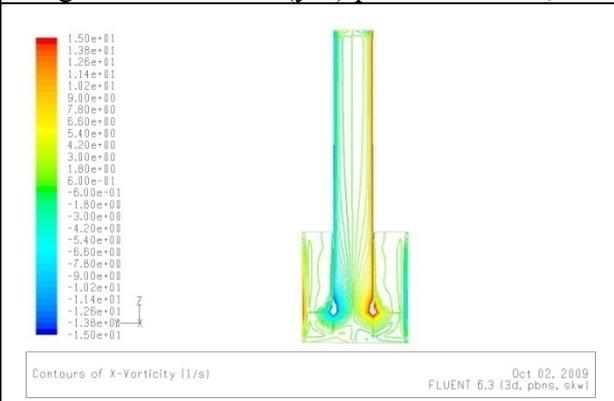


Fig.B.6.b: vorticité (y-z) pour I

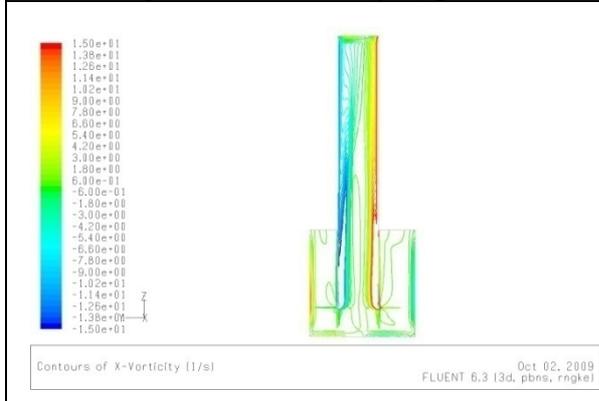


Fig.B.7.a: vorticité (y-z) pour II

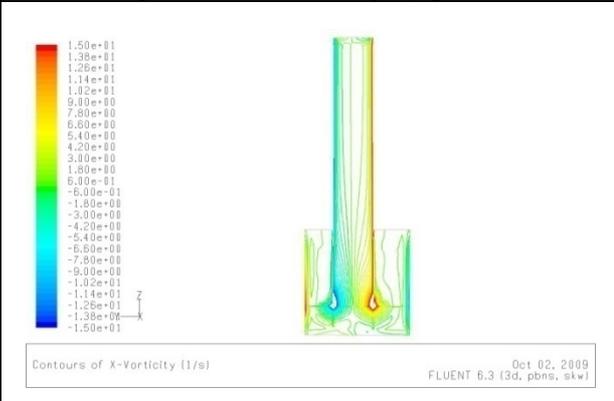


Fig.B.7.b: vorticité (y-z) pour II



Fig.B.8.a: vorticité (y-z) pour III

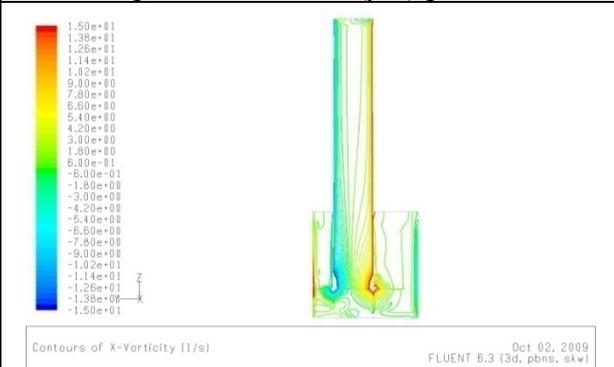


Fig.B.8.b: vorticité (y-z) pour III

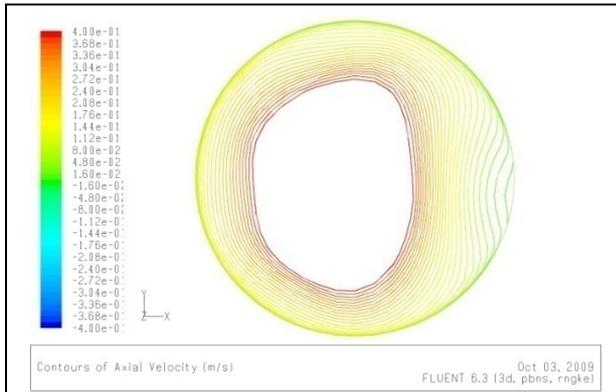


Fig.B.9.a : I-  $V_{ax}$  à  $Z=2.5D$

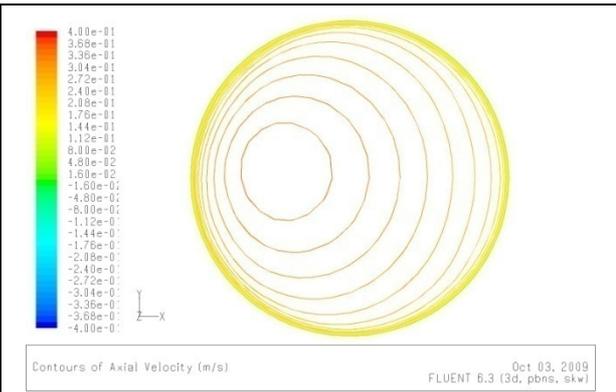


Fig.B.9.b : I-  $V_{ax}$  à  $Z=2.5D$

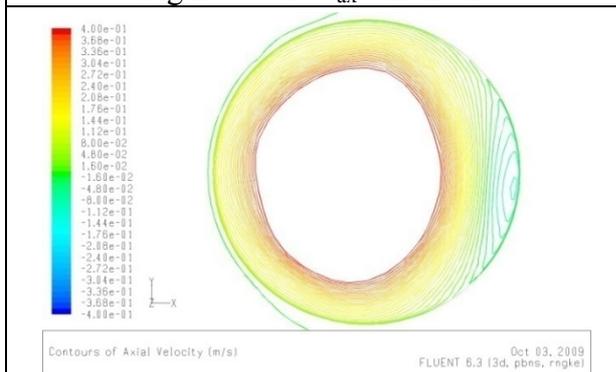


Fig.B.10.a : I-  $V_{ax}$  à  $Z=1.75D$



Fig.B.10.b : I-  $V_{ax}$  à  $Z=1.75D$

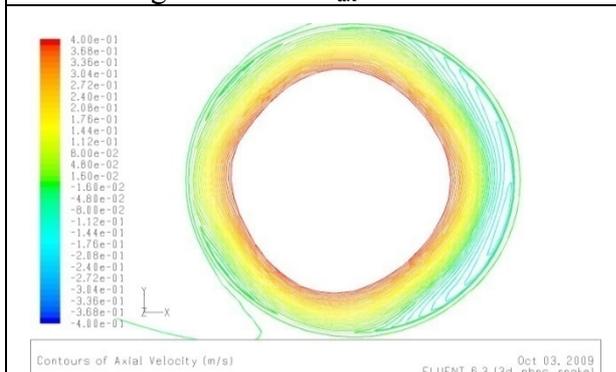


Fig.B.11.a : I-  $V_{ax}$  à  $Z=1.25D$

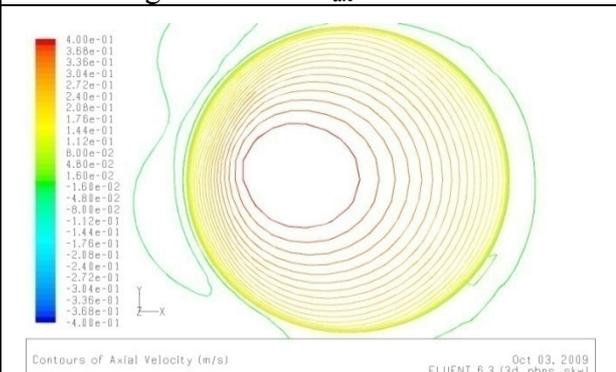


Fig.B.11.b : I-  $V_{ax}$  à  $Z=1.25D$

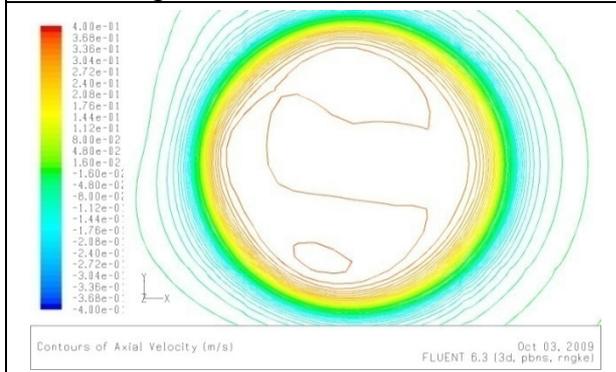


Fig.B.12.a : I-  $V_{ax}$  à  $Z=0.75D$

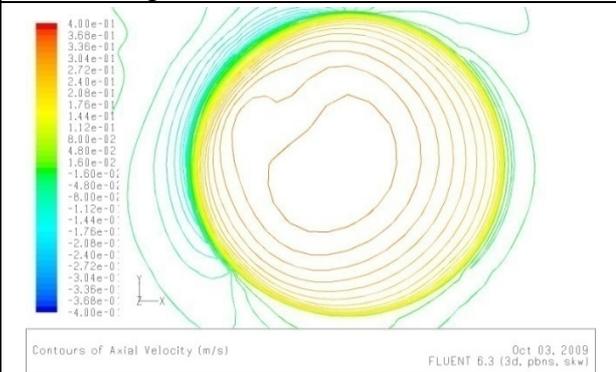


Fig.B.12.b : I-  $V_{ax}$  à  $Z=0.75D$

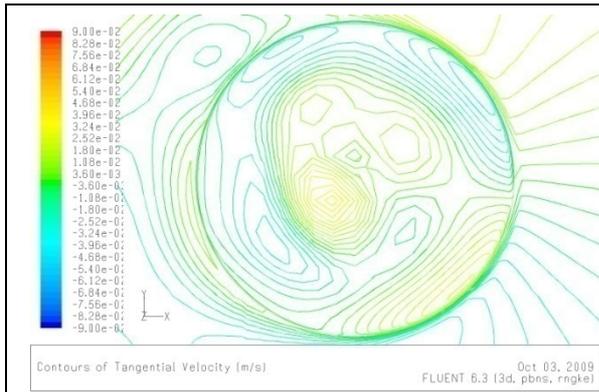


Fig.B.13.a : I-  $V_{tg}$  à Z=2.5D

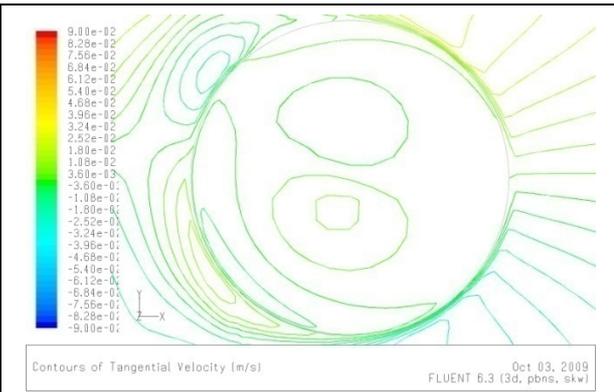


Fig.B.13.b : I-  $V_{tg}$  à Z=2.5D

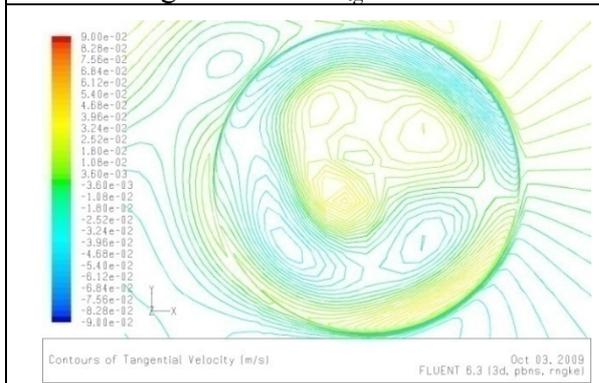


Fig.B.14.a : I-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

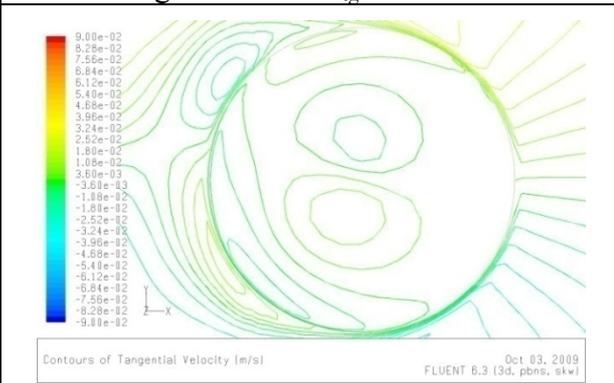


Fig.B.14.b : I-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

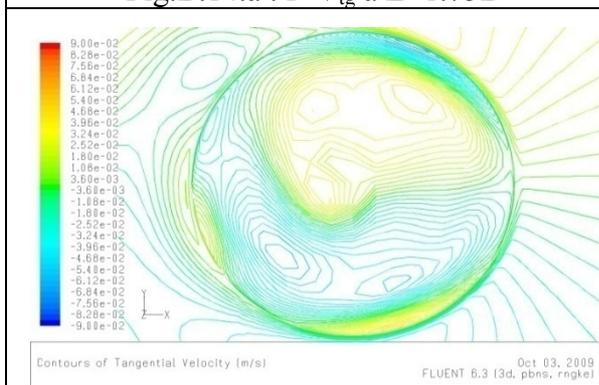


Fig.B.15.a : I-  $V_{tg}$  à Z=1.25D

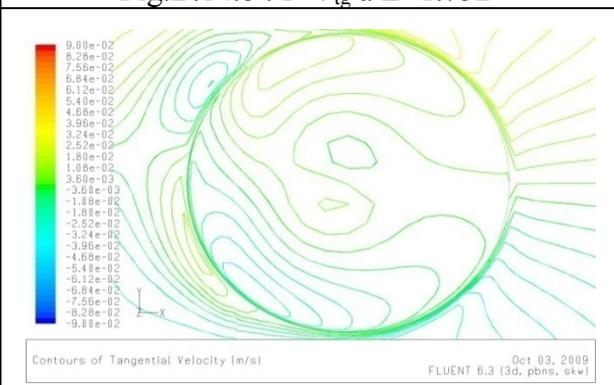


Fig.B.15.b : I-  $V_{tg}$  à Z=1.25D

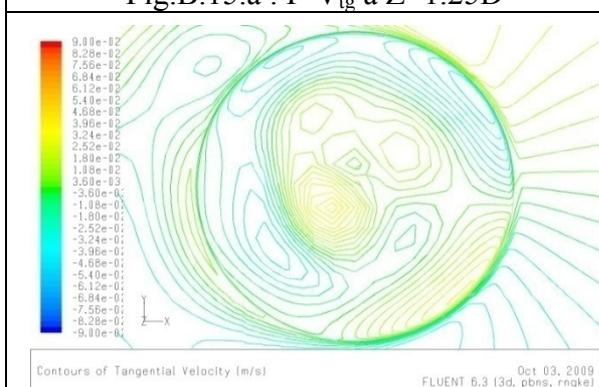


Fig.B.16.a : I-  $V_{tg}$  à Z=0.75D

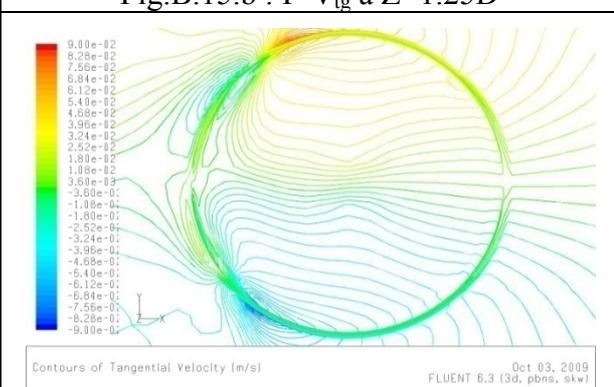


Fig.B.16.b : I-  $V_{tg}$  à Z=0.75D

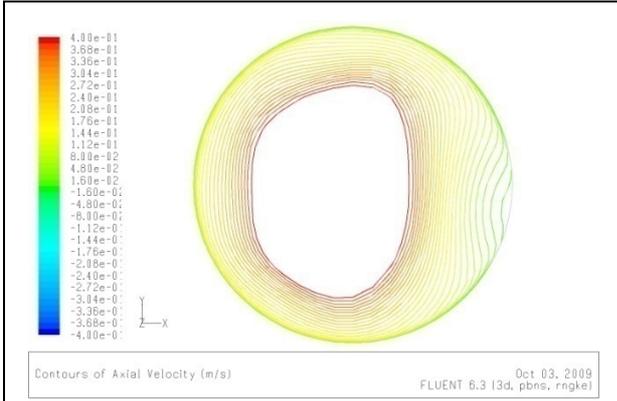


Fig.B.17.a : II-  $V_{ax}$  à Z=2.5D

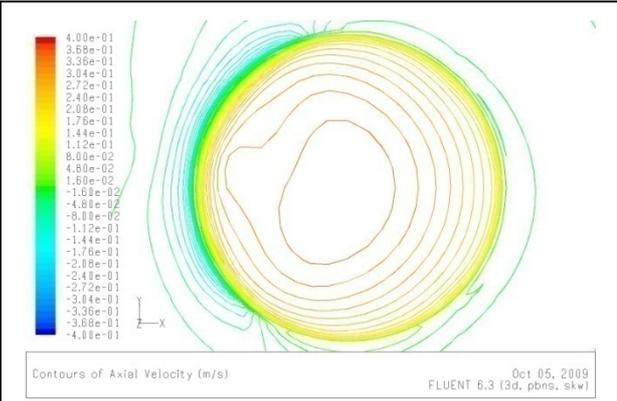


Fig.B.17.b : II-  $V_{ax}$  à Z=2.5D

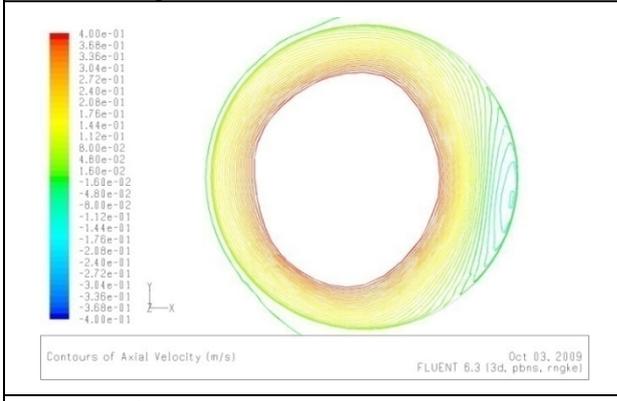


Fig.B.18.a : II-  $V_{ax}$  à Z=1.75D

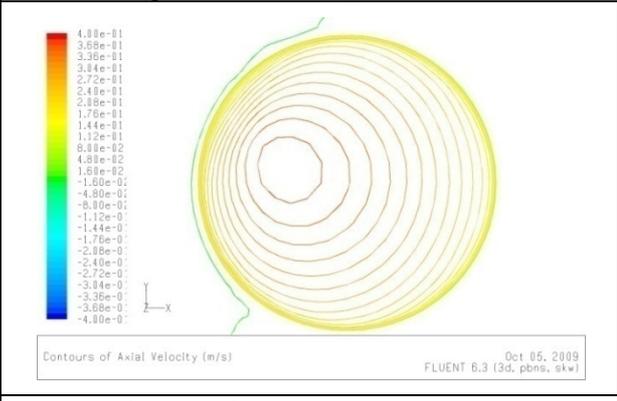


Fig.B.18.b : II-  $V_{ax}$  à Z=1.75D

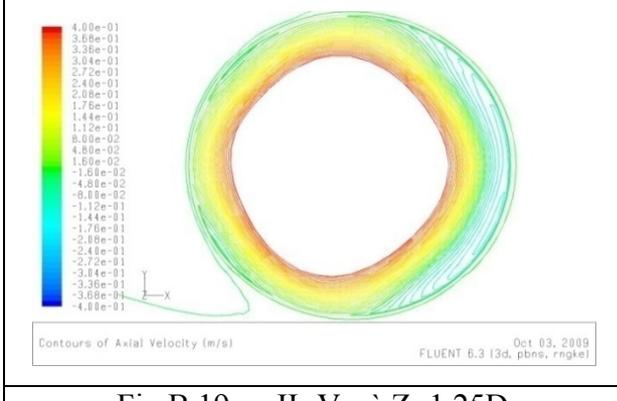


Fig.B.19.a : II-  $V_{ax}$  à Z=1.25D

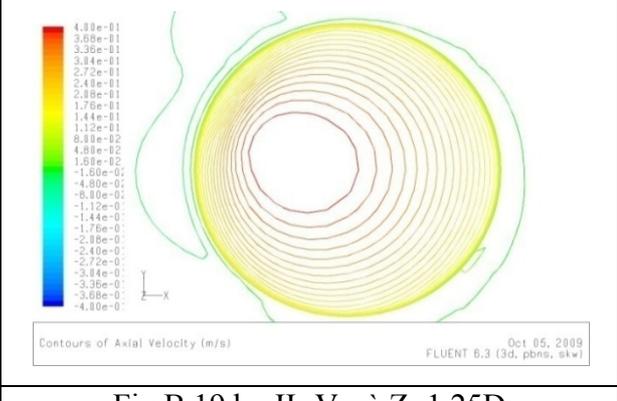


Fig.B.19.b : II-  $V_{ax}$  à Z=1.25D

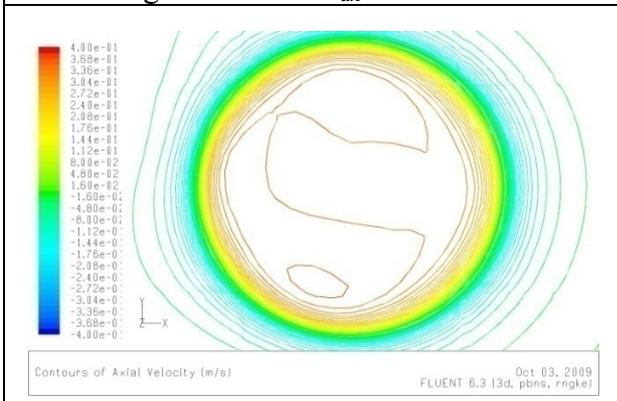


Fig.B.20.a II-  $V_{ax}$  à Z=0.75D

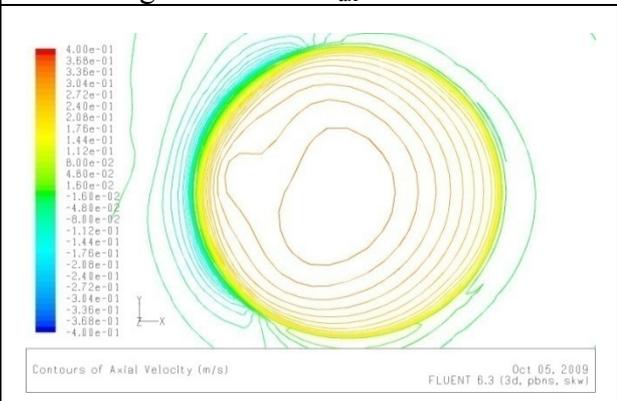


Fig.B.20.b : II-  $V_{ax}$  à Z=0.75D

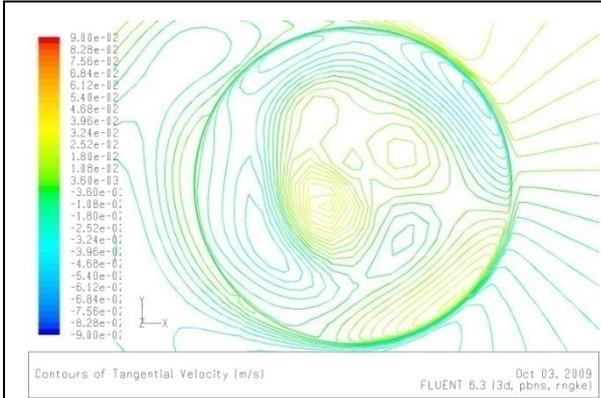


Fig.B.21.a : II-  $V_{tg}$  à Z=2.5D

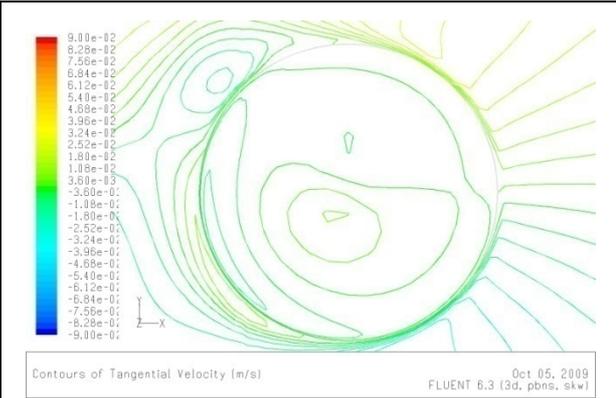


Fig.B.21.b II-  $V_{tg}$  à Z=2.5D

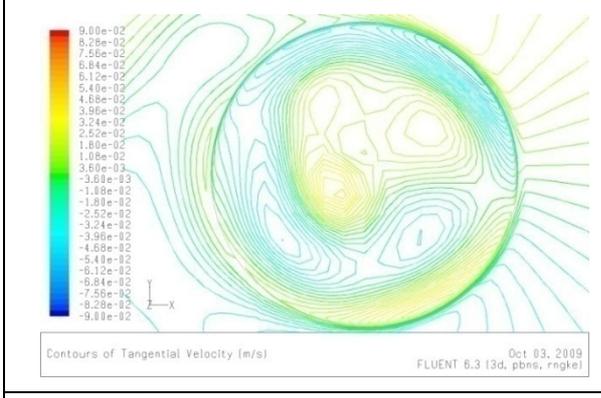


Fig.B.22.a : II-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

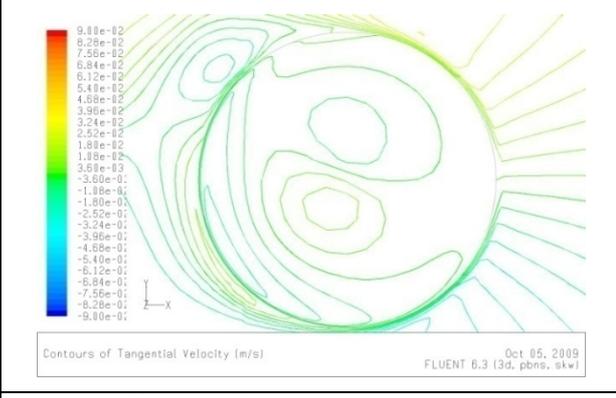


Fig.B.22.b : II-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

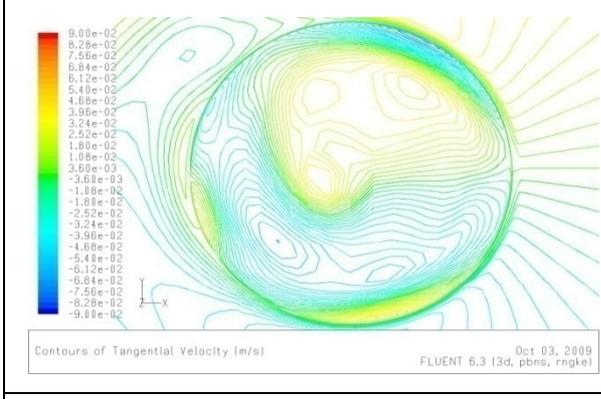


Fig.B.23.a : II-  $V_{tg}$  à Z=1.25D

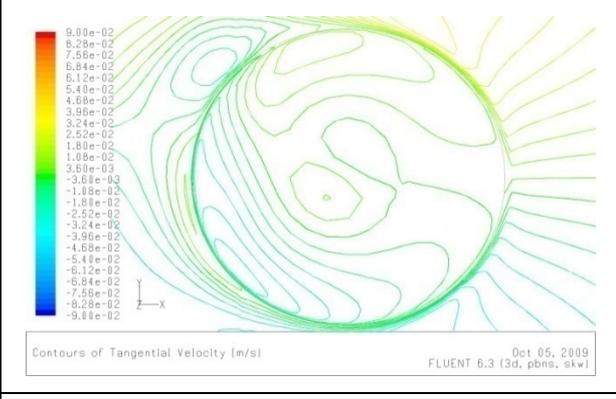


Fig.B.23.b : II-  $V_{tg}$  à Z=1.25D

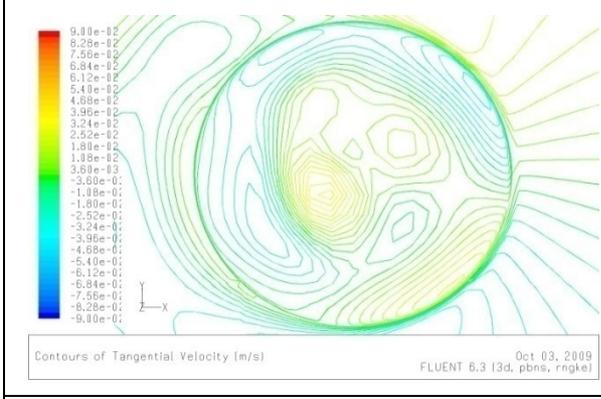


Fig.B.24.a : II-  $V_{tg}$  à Z=0.75D

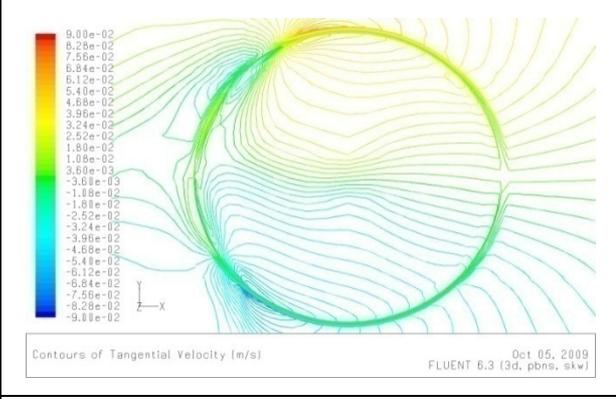


Fig.B.24.b : II-  $V_{tg}$  à Z=0.75D

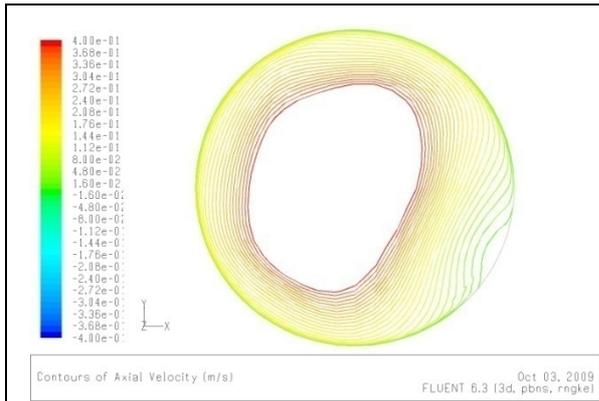


Fig.B.25.a : III-  $V_{ax}$  à Z=2.5D



Fig.B.25.b : III-  $V_{ax}$  à Z=2.5D

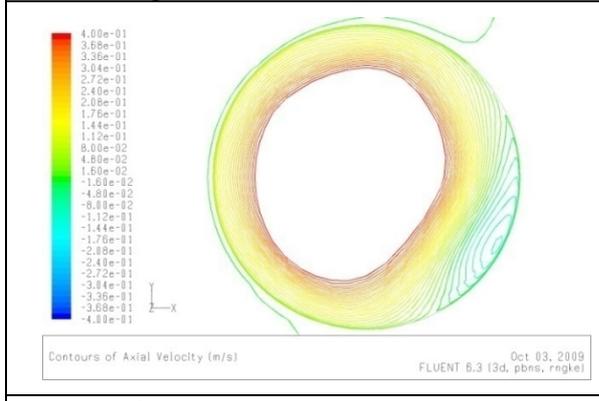


Fig.B.26.a : III-  $V_{ax}$  à Z=1.75D

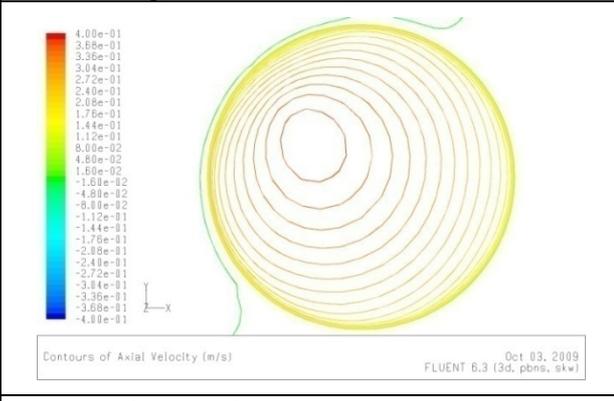


Fig.B.26.b : III-  $V_{ax}$  à Z=1.75D

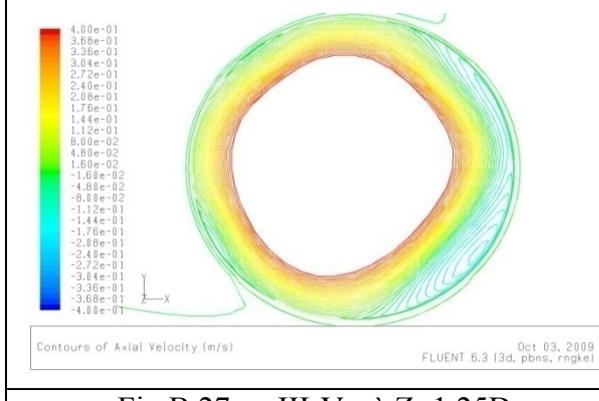


Fig.B.27.a : III-  $V_{ax}$  à Z=1.25D

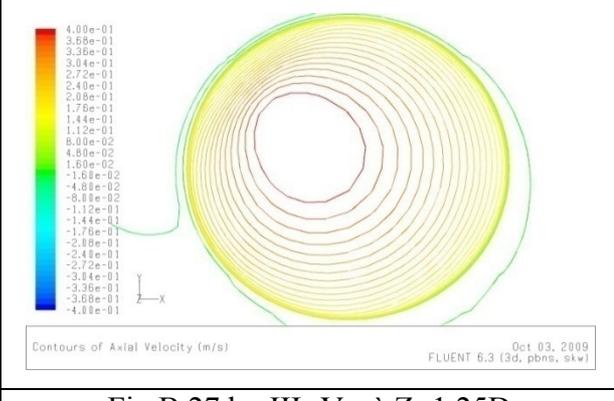


Fig.B.27.b : III-  $V_{ax}$  à Z=1.25D

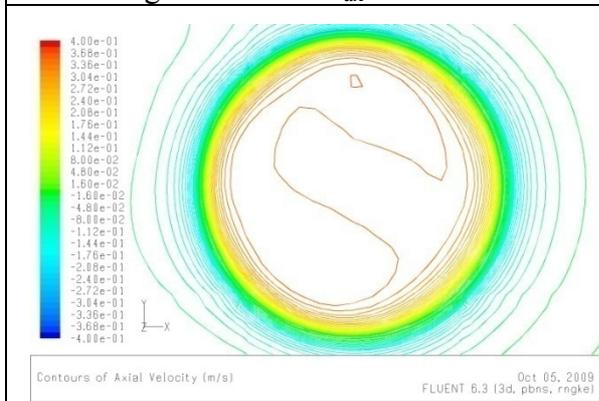


Fig.B.28.a III-  $V_{ax}$  à Z=0.75D

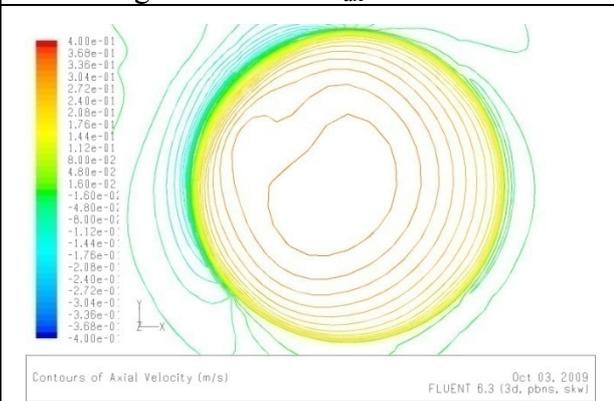


Fig.B.28.b : III-  $V_{ax}$  à Z=0.75D

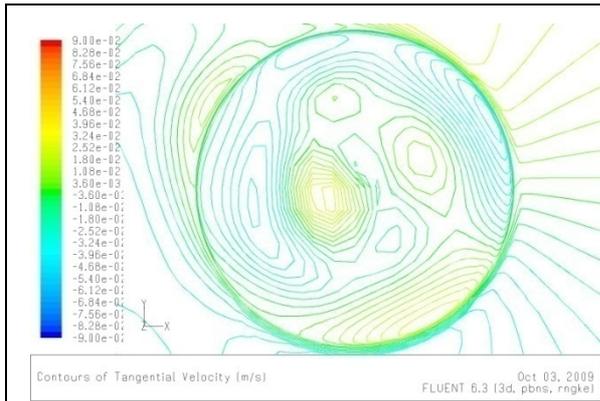


Fig.B.29.a : III- $V_{tg}$  à Z=2.5D

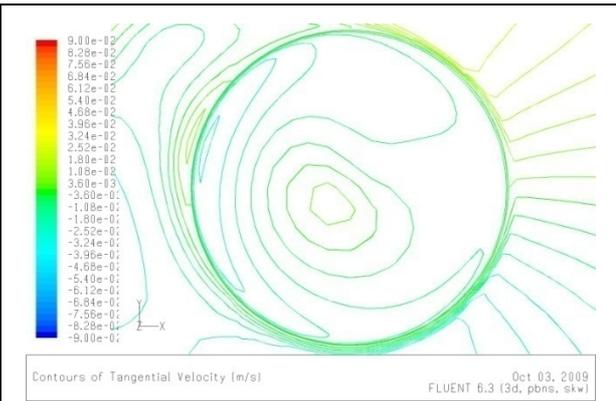


Fig.B.29.b : III--  $V_{tg}$  à Z=2.5D

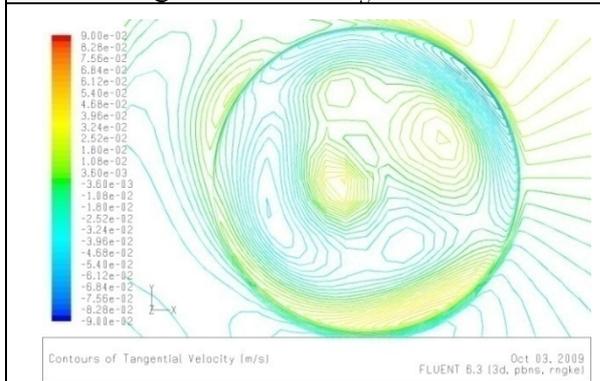


Fig.B.30.a : III-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

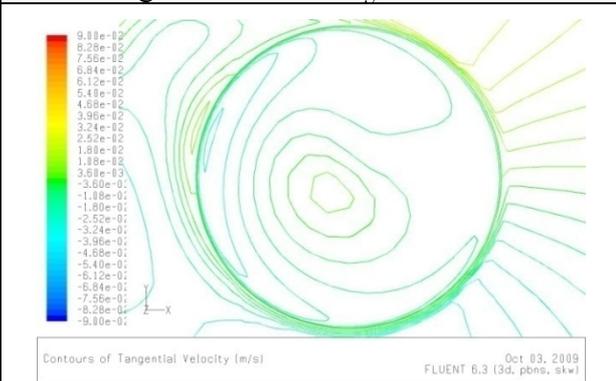


Fig.B.30.b : III-  $V_{tg}$  à Z=1.75D

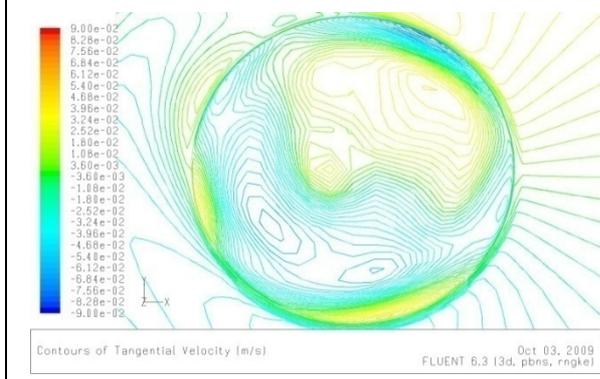


Fig.B.31.a : III- $V_{tg}$  à Z=1.25D

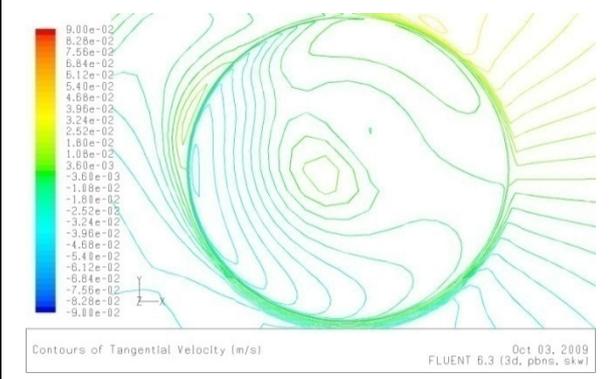


Fig.B.31.b : III- $V_{tg}$  à Z=1.25D

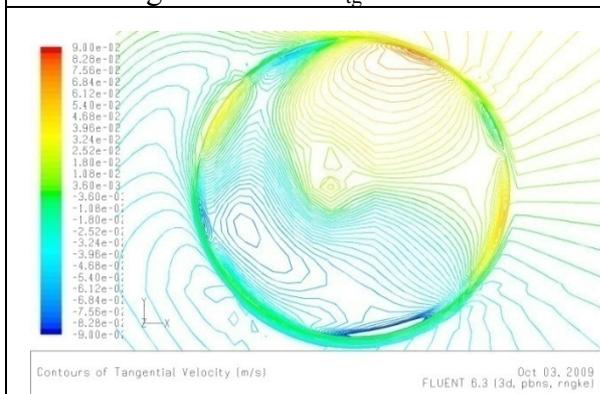


Fig.B.32.a : III- $V_{tg}$  à Z=0.75D

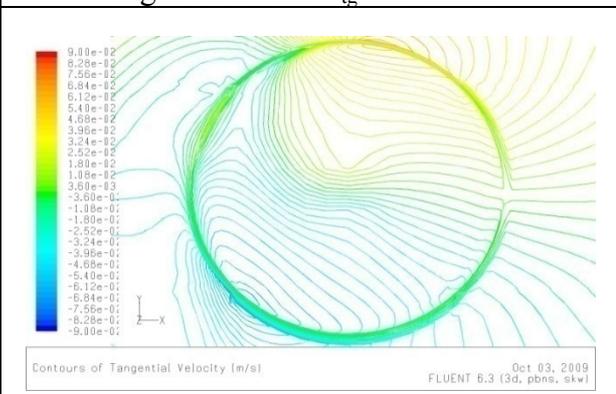


Fig.B.32.b : III- $V_{tg}$  à Z=0.75D

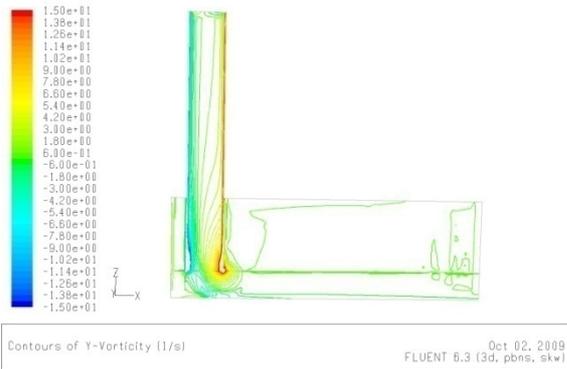


Fig.B.33.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $\theta=6^\circ$



Fig.B.34.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $\theta=30^\circ$

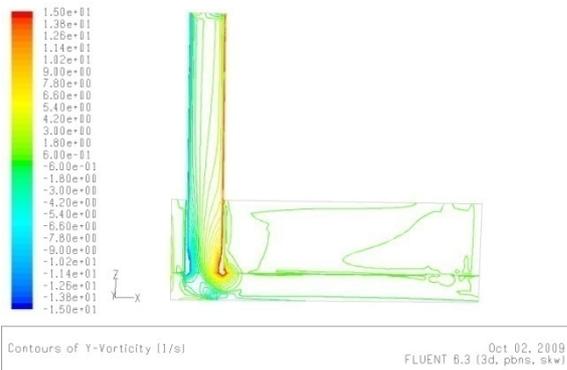


Fig.B.35.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $\theta=45^\circ$



Fig.B.36.b: la vorticité dans le plan(x-z) pour  $\theta=0^\circ$

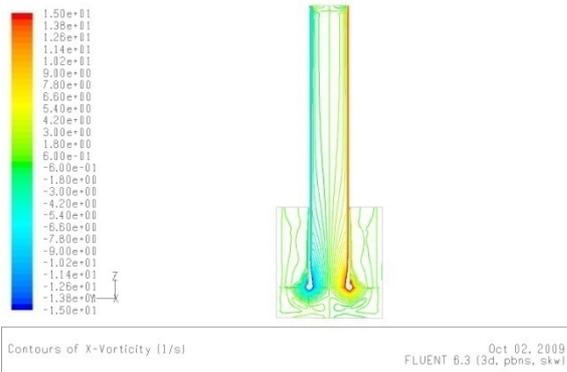


Fig.B.37.b: la vorticité dans le plan (y-z)  
pour  $\theta=6^\circ$

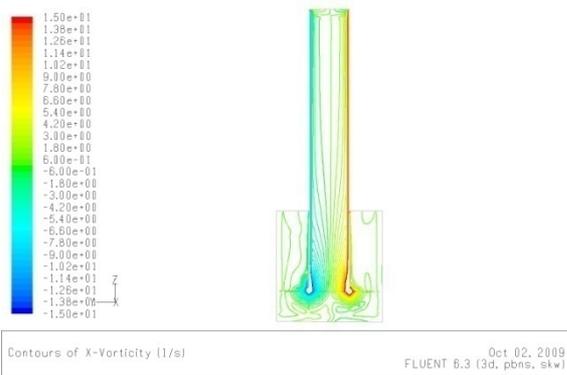


Fig.B.38.b: la vorticité dans le plan (y-z)  
pour  $\theta=30^\circ$

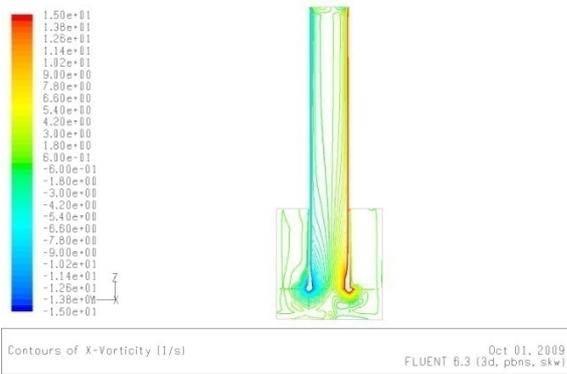


Fig.B.39.b: la vorticité dans le plan (y-z)  
pour  $\theta=45^\circ$

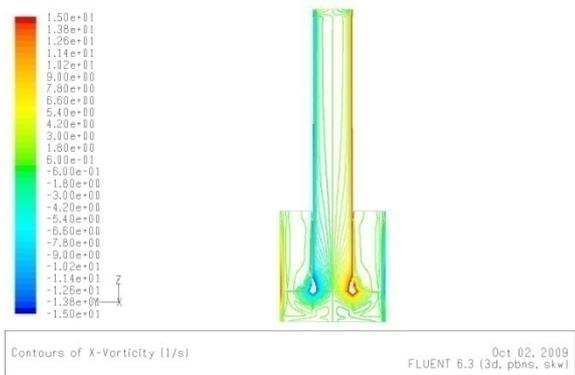


Fig.B.40.b: la vorticité dans le plan (y-z)  
pour  $\theta=0^\circ$

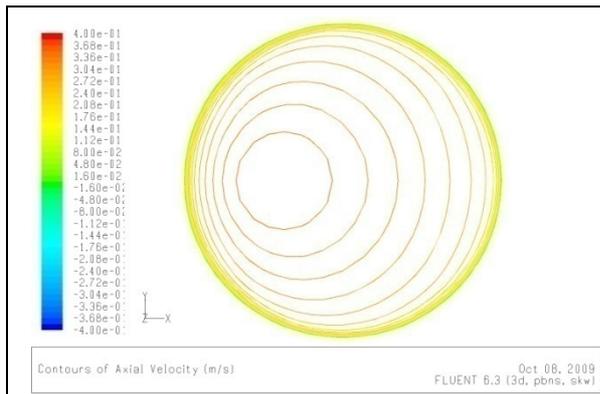


Fig.B.41.b : cas de  $\theta=0^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

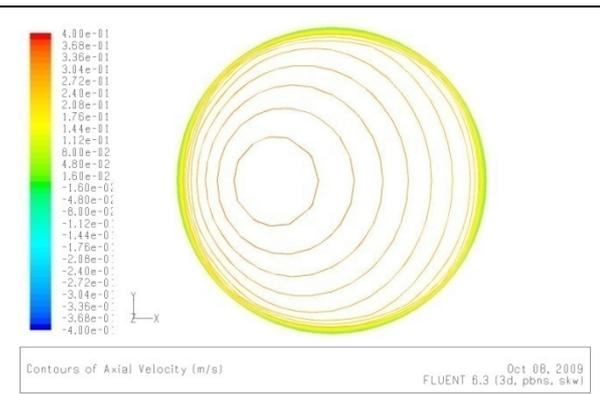


Fig.B.42.b : cas de  $\theta=6^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

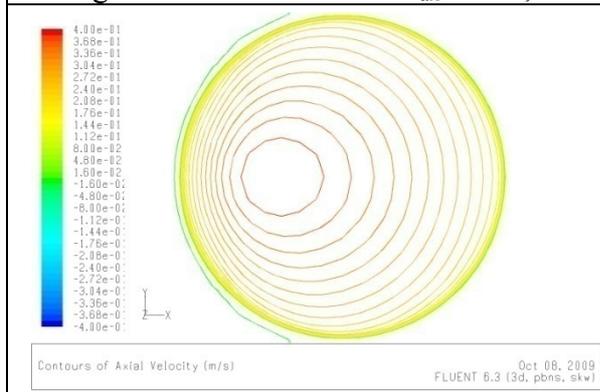


Fig.B.43.b : cas de  $\theta=0^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

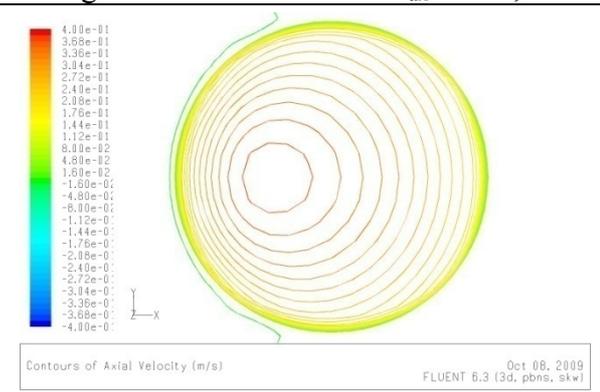


Fig.B.44.b : cas de  $\theta=6^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

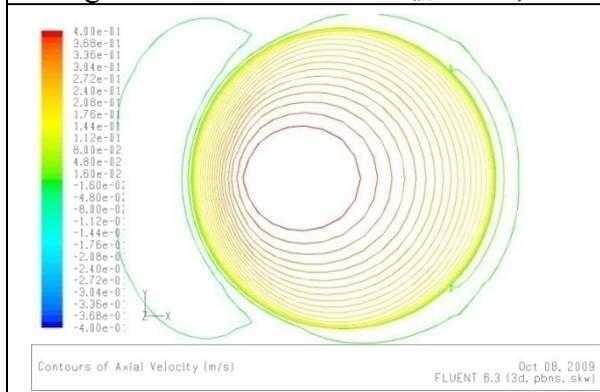


Fig.B.45.b : cas de  $\theta=0^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

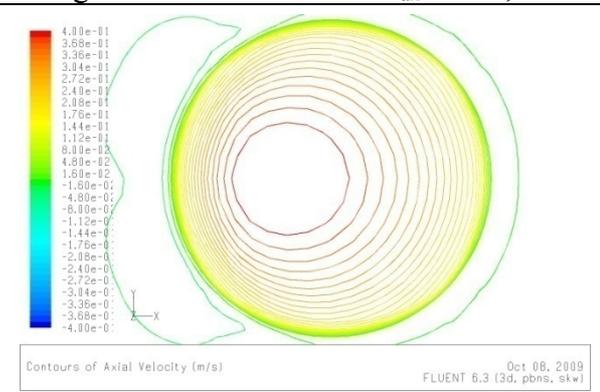


Fig.B.46.b : cas de  $\theta=6^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

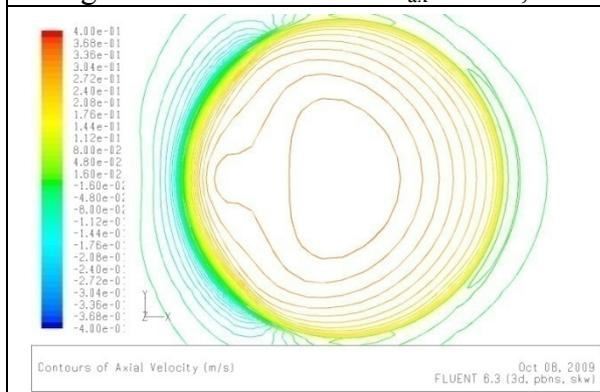


Fig.B.47.b:cas de  $\theta=0^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

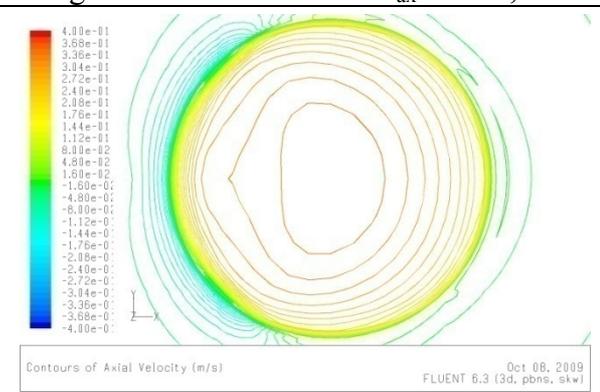


Fig.B.48.b:cas de  $\theta=6^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

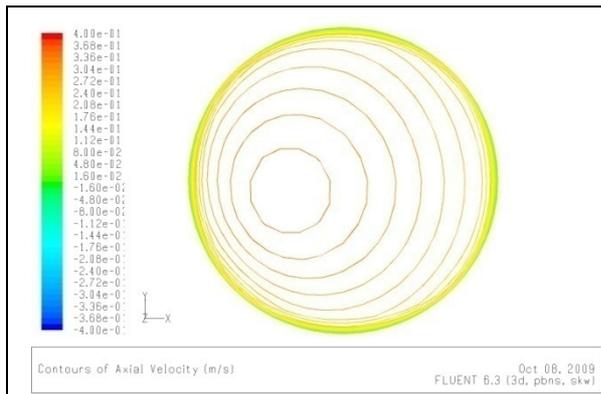


Fig.B.49.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

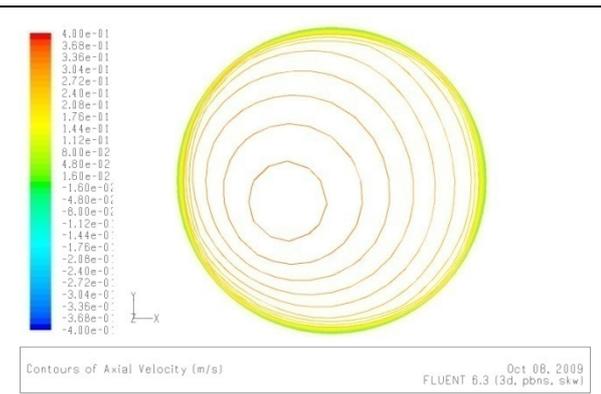


Fig.B.50.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=2,5d$

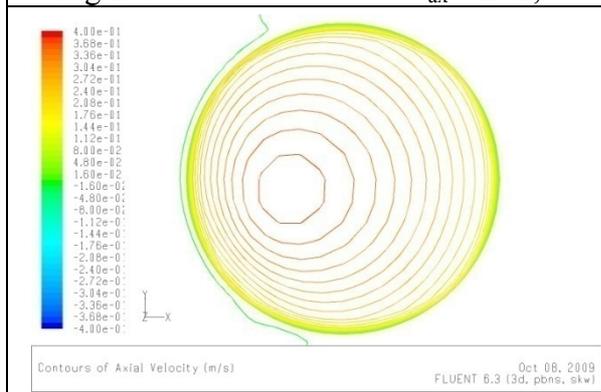


Fig.B.51.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

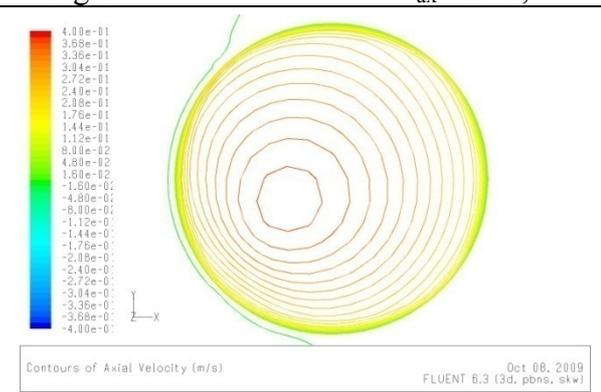


Fig.B.52.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d$

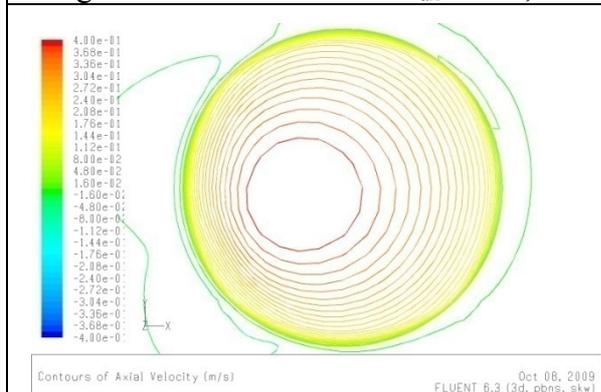


Fig.B.53.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

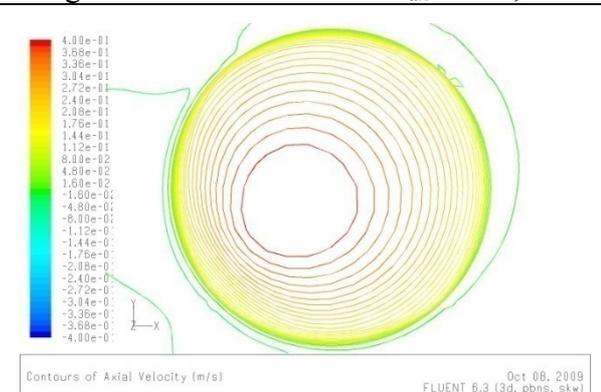


Fig.B.54.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

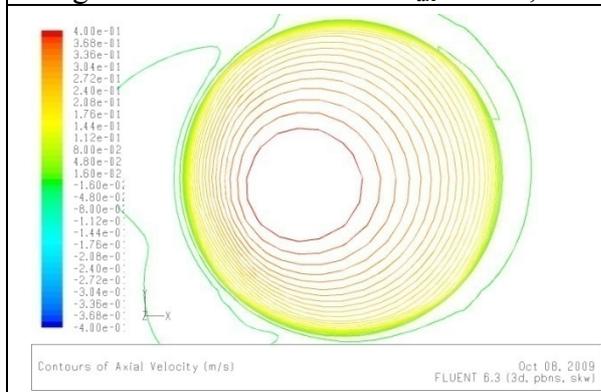


Fig.B.55.b: cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

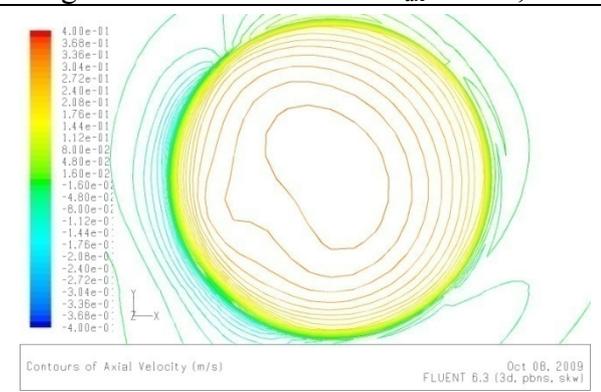


Fig.B.56.b: cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,75d$

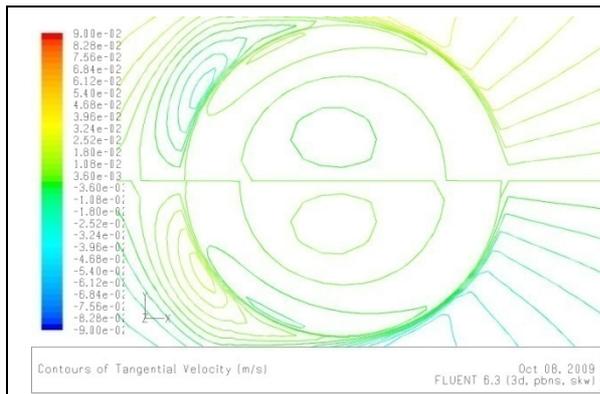


Fig.B.57.b : cas de  $\theta=0^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

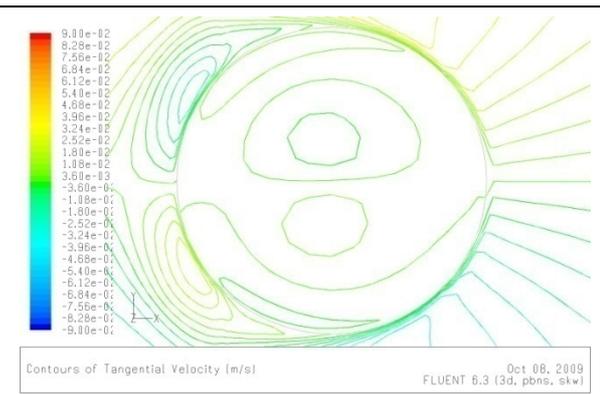


Fig.B.58.b : cas de  $\theta=6^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

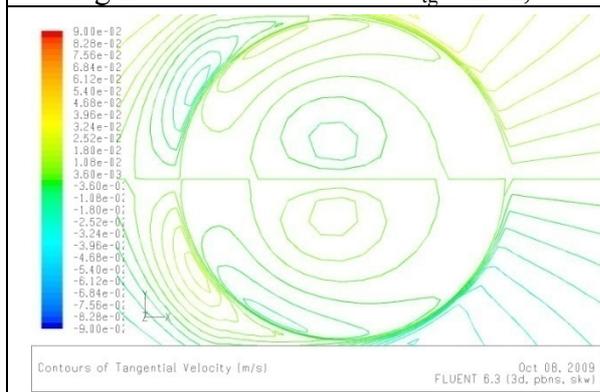


Fig.B.59.b : cas de  $\theta=0^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

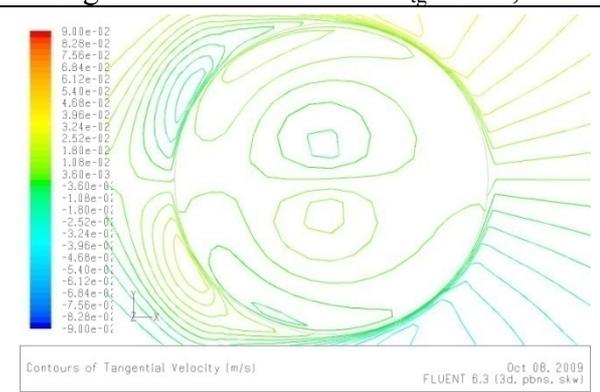


Fig.B.60.b : cas de  $\theta=6^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

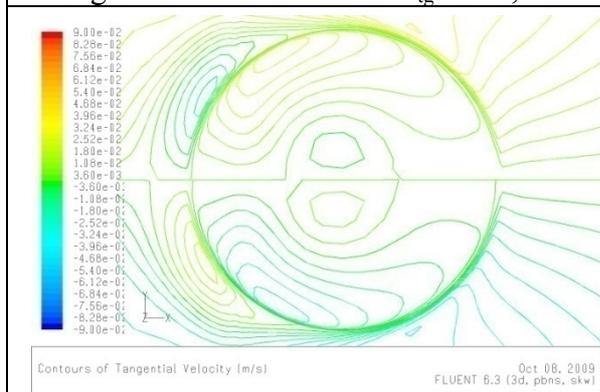


Fig.B.61.b : cas de  $\theta=0^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

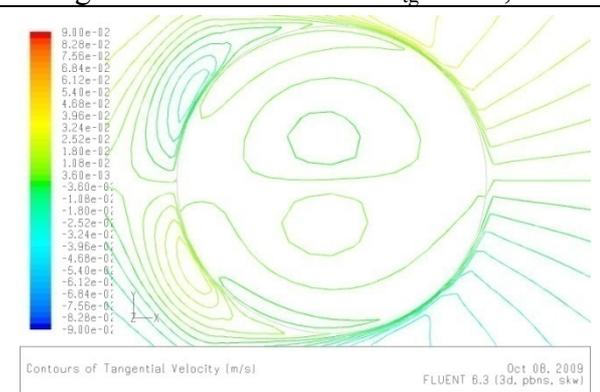


Fig.B.62.b : cas de  $\theta=6^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

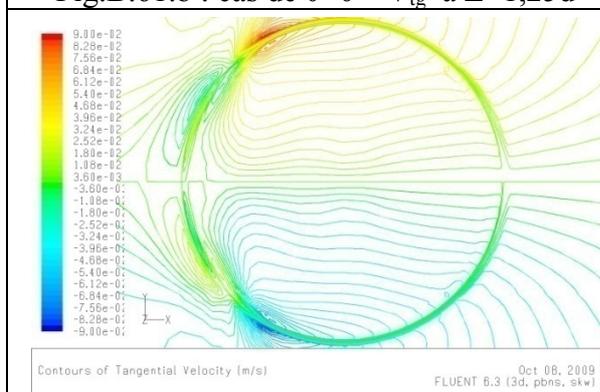


Fig.B.63.b : cas de  $\theta=0^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

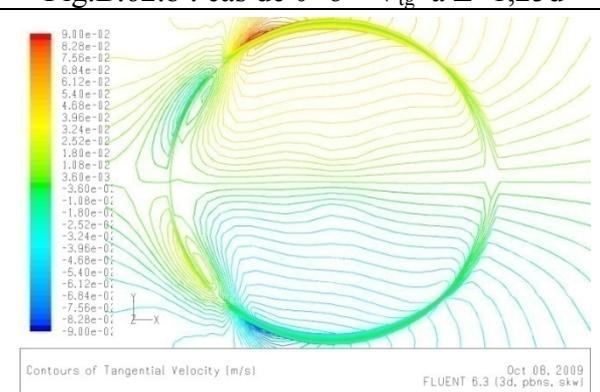


Fig.B.64.b : cas de  $\theta=6^\circ$  -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

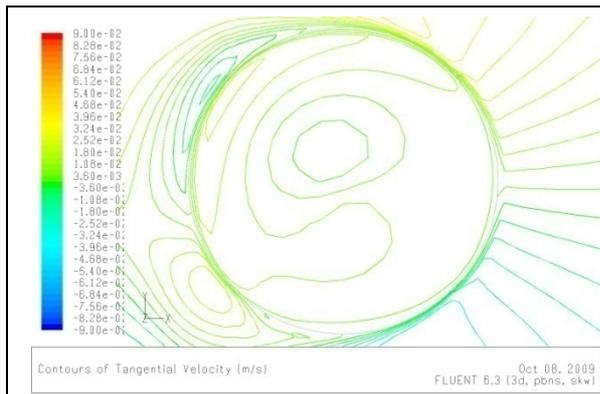


Fig.B.65.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

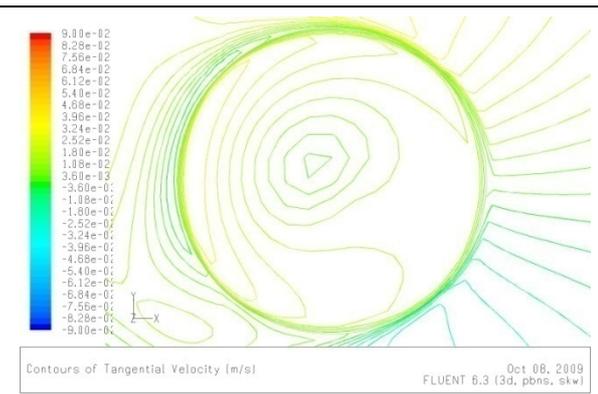


Fig.B.66.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=2,5d$

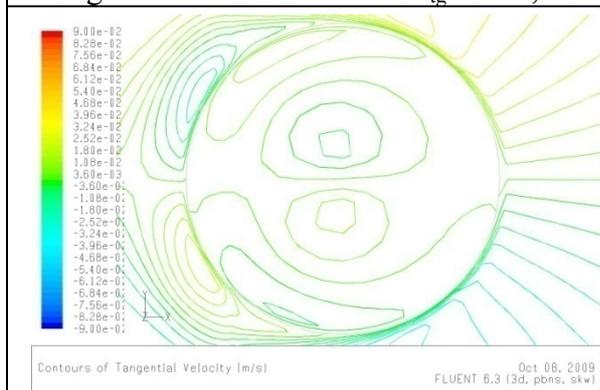


Fig.B.67.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

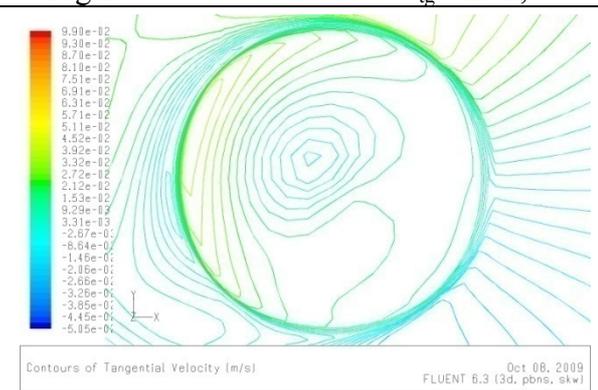


Fig.B.68.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,75d$

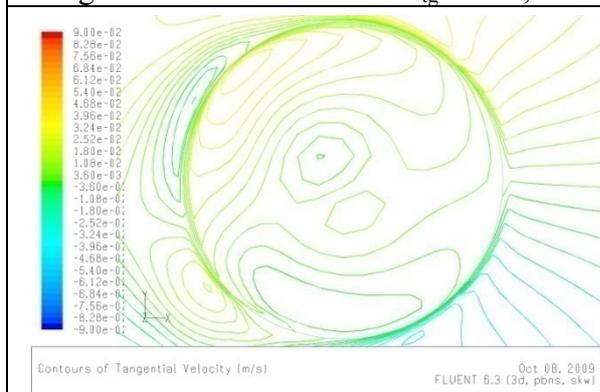


Fig.B.69.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

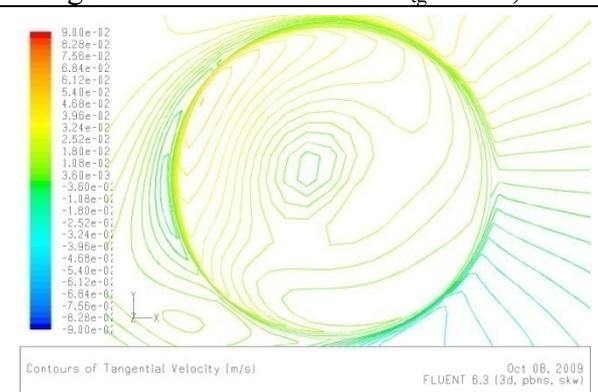


Fig.B.70.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=1,25d$

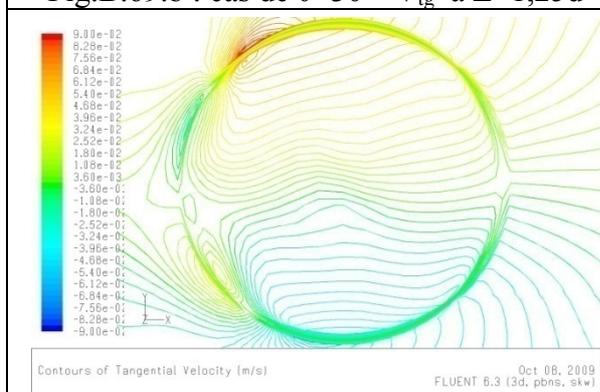


Fig.B.71.b: cas de  $\theta=30^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

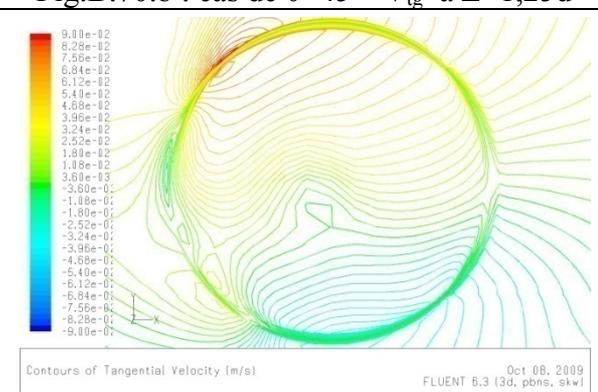


Fig.B.72.b: cas de  $\theta=45^\circ$ -  $V_{tg}$  à  $Z=0,75d$

## ***ANNEXE C : CONTOURS DE PRESSION***

Les figures (C.1, .....C.4) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0.5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2,6d$ ).

Les figures (C.5, .....C.8) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0.75d$ ,  $h=2d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2,6d$ ).

Les figures (C.9, .....C.12) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=d$ ,  $h=1,75d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2,6d$ ).

Les figures (C.13, et C.14) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0,85d$ ,  $h=0,75d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2,6d$ ).

Les figures (C.15,..... et C.22) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z deux configurations ( $z=0, 5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2.6d$ ) et ( $z=0.5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2d$ ), avec  $k-\omega$ .

Les figures (C.23,..... et C.30) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z deux configurations ( $z=0, 75d$ ,  $h=2 d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2.6d$ ) et ( $z=0.75d$ ,  $h=2d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2d$ ), avec  $k-\omega$ .

Les figures (C.31,..... et C.38) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z deux configurations ( $z=d$ ,  $h=2 d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2.6d$ ) et ( $z=d$ ,  $h=2d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2d$ ), avec  $k-\omega$ .

Les figures (C.39, .....C.42) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0.5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b_1=1,25d$ ,  $b_2=1,35d$ ) (I).

Les figures (C.43, .....C.46) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour  $k-\varepsilon$  (l'indice a) et  $k-\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0.5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b_1=1,2d$ ,  $b_2=1,4d$ ) (II).

Les figures (C.47, .....C.50) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour k- $\varepsilon$  (l'indice a) et k- $\omega$  (l'indice b) pour la configuration ( $z=0.5d$ ,  $h=2,25d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b_1=1d$ ,  $b_2=1,6d$ ) (III).

Les figures (C.51,..... et C.58) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour la configuration ( $z=0,75d$ ,  $h=2 d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2.6d$ ) pour  $\theta=0^\circ$  et  $\theta=6^\circ$ , avec k- $\omega$

Les figures (C.58,..... et C.66) montrent la comparaison de pression dans différents plans de Z pour la configuration ( $z=0,75d$ ,  $h=2 d$ ,  $l=0.9d$ ,  $b=2.6d$ ) pour  $\theta=30^\circ$  et  $\theta=45^\circ$ , avec k- $\omega$

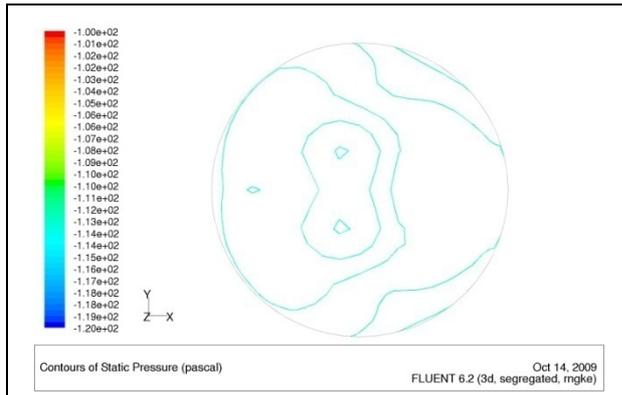


Fig.C.1.a : cas de  $z=0,5d-Z=2,5d$

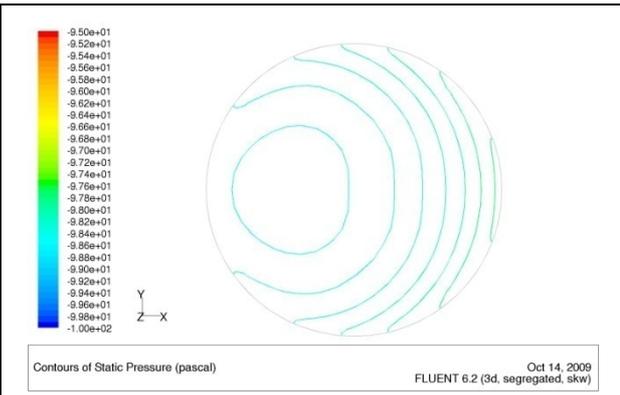


Fig.C.1.b : cas de  $z=0,5d-Z=2,5d$

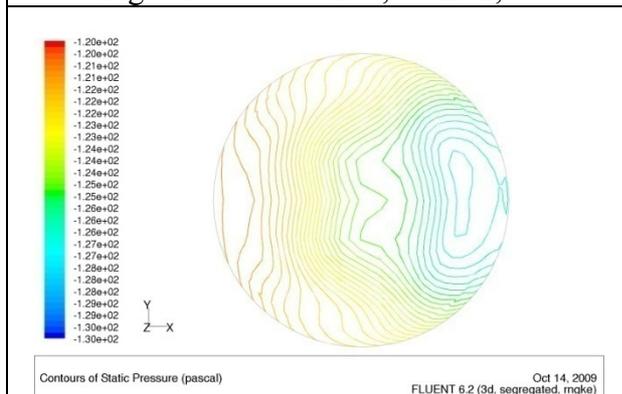


Fig.C.2.a : cas de  $z=0,5d-Z=1,75d$

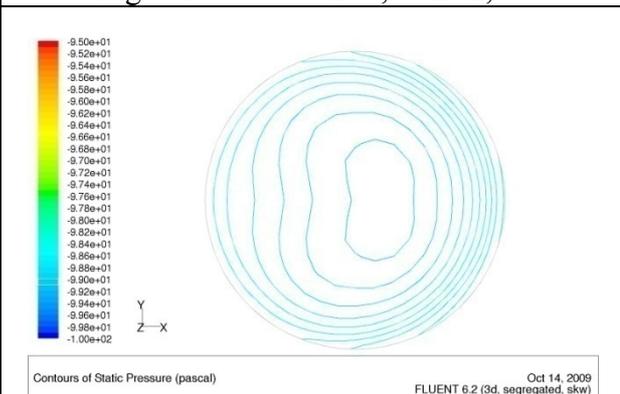


Fig.C.2.b : cas de  $z=0,5d-Z=1,75d$

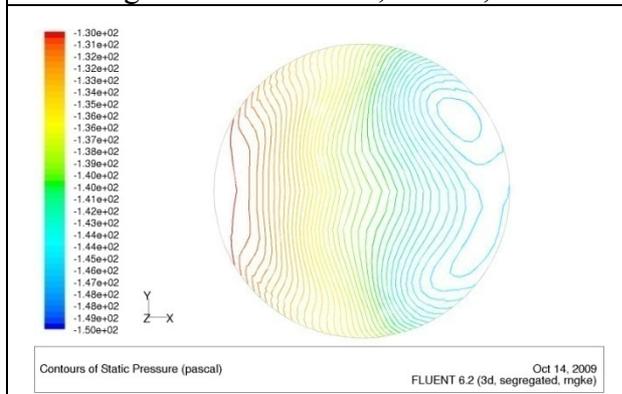


Fig.C.3.a : cas de  $z=0,5d-Z=1,25d$

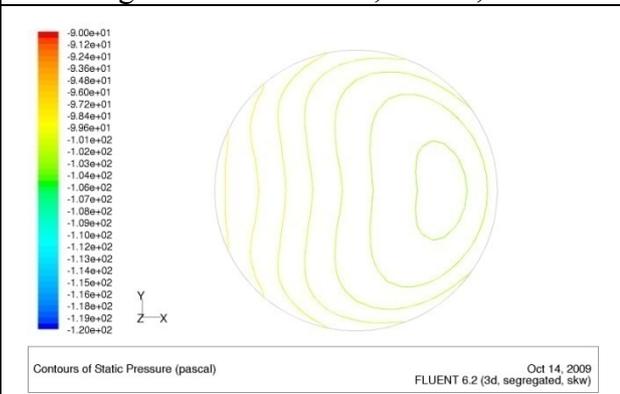


Fig.C.3.b : cas de  $z=0,5d-V_{ax}$  à  $Z=1,25d$

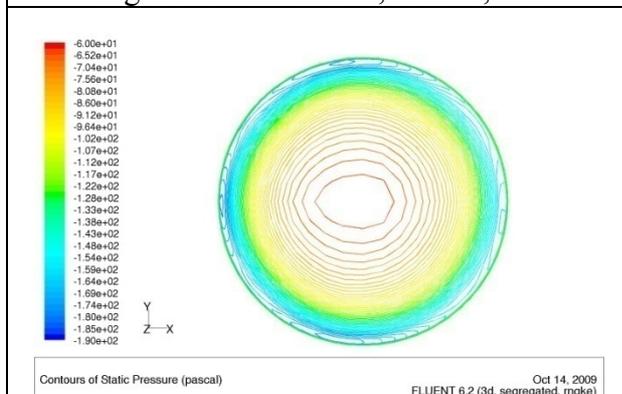


Fig.C.4.a : cas de  $z=0,5d-Z=0,5d$

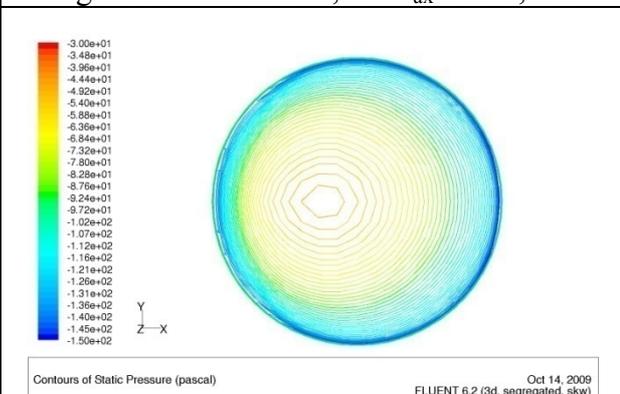


Fig.C.4.b : cas de  $z=0,5d-Z=0,5d-k$

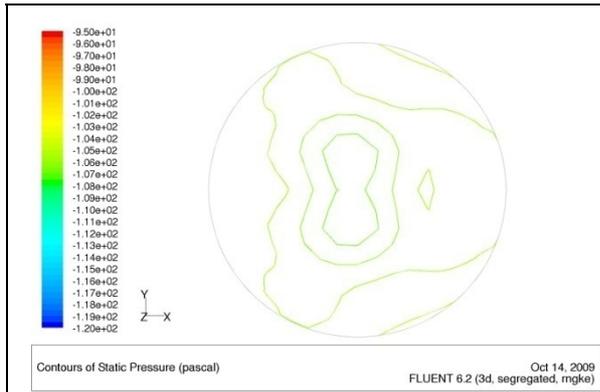


Fig.C.5.a : cas de  $z=0,75d-Z=2,5d$

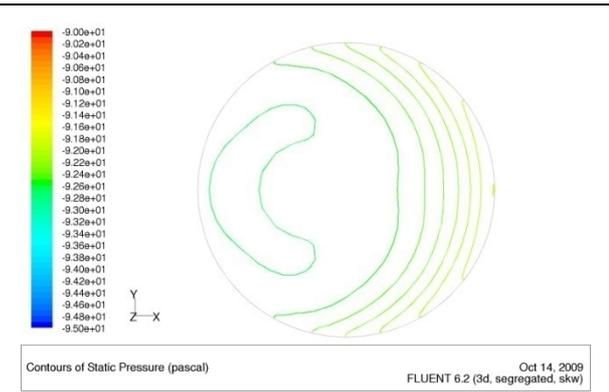


Fig.C.5.b : cas de  $z=0,75d- \grave{a} Z=2,5d$

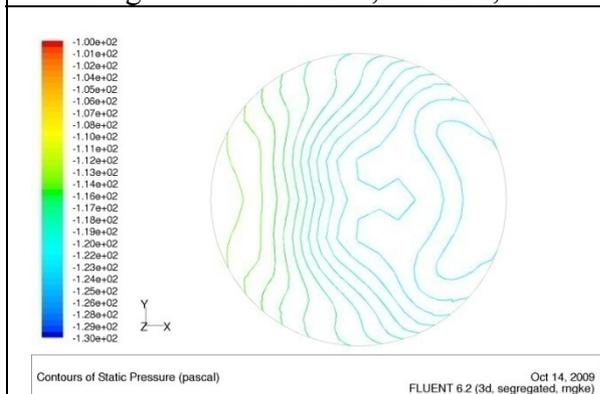


Fig.C.6.a : cas de  $z=0,75d- \grave{a} Z=1,75d$

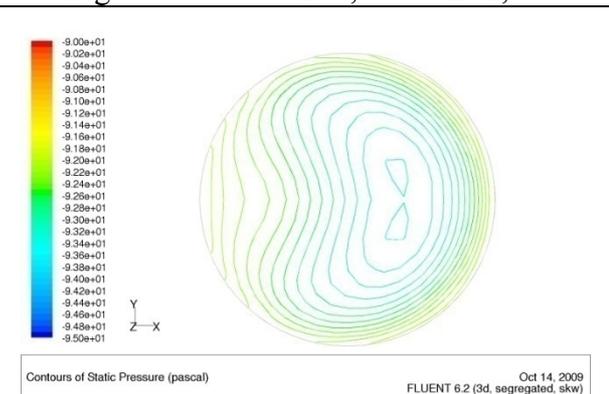


Fig.C.6.b : cas de  $z=0,75d-Z=1,75d$

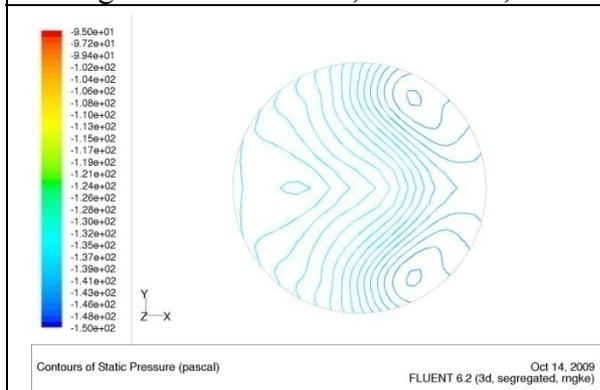


Fig.C.7.a. : cas de  $z=0,75d-Z=1,25d$

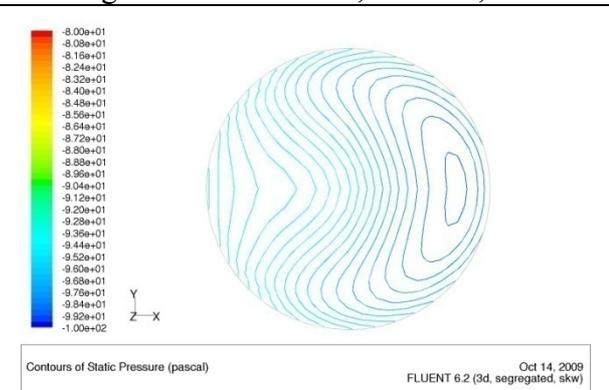


Fig.C.7.b : cas de  $z=0,75d- Z=1,25d$

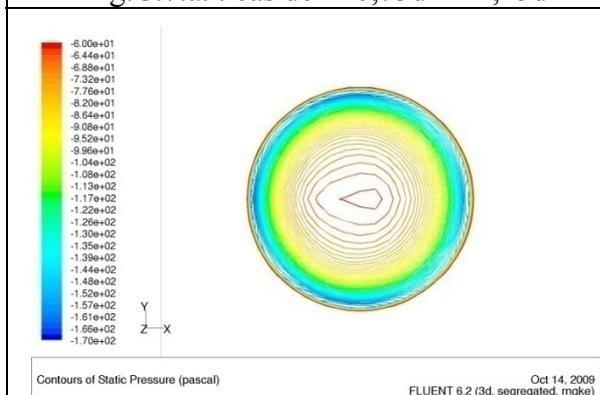


Fig.C.8.a. : cas de  $z=0,75d- \grave{a} Z=0,75d- k-\epsilon$

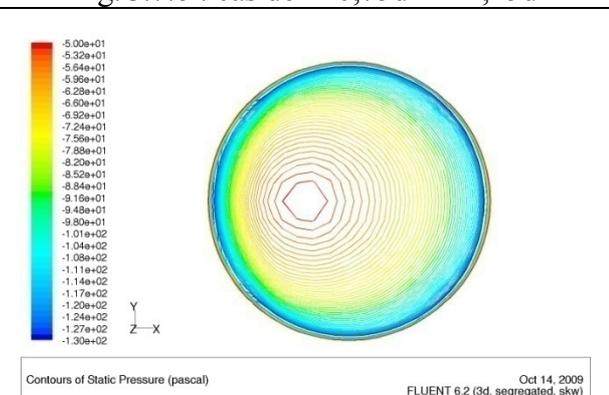


Fig.C.8.b : cas de  $z=0,75d- \grave{a} Z=0,75d$

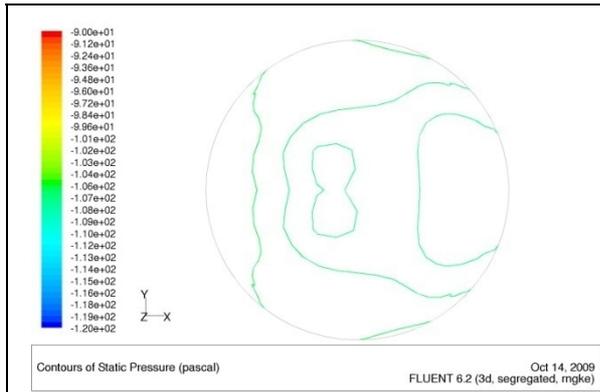


Fig.C.9.a : cas de  $z=d-Z=2,5d$

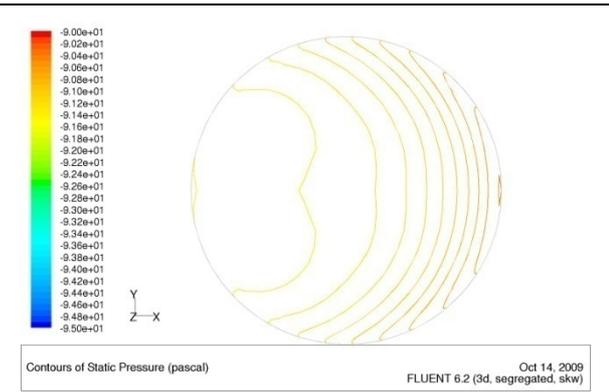


Fig.C.9.b : cas de  $z=d-Z=2,5d$

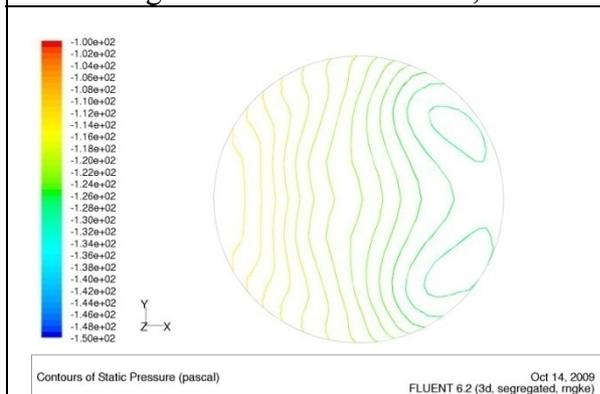


Fig.C.10.a : cas de  $z=d-Z=1,75d$

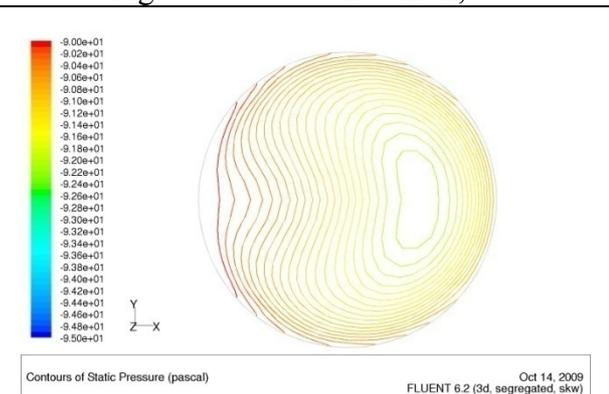


Fig.C.10.b : cas de  $z=d-Z=1,75d$

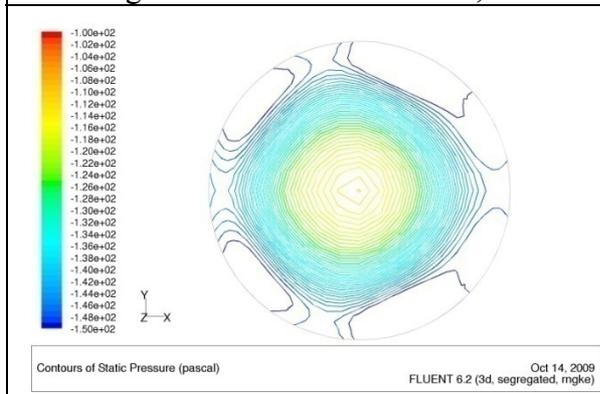


Fig.C.11.a : cas de  $z=d-Z=1,25d$

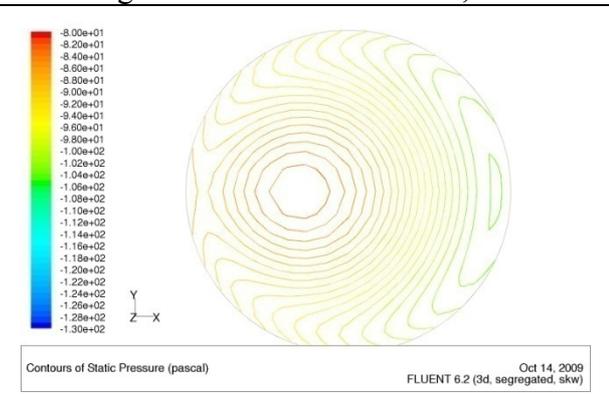


Fig.C.11.b : cas de  $z=d-Z=1,25$

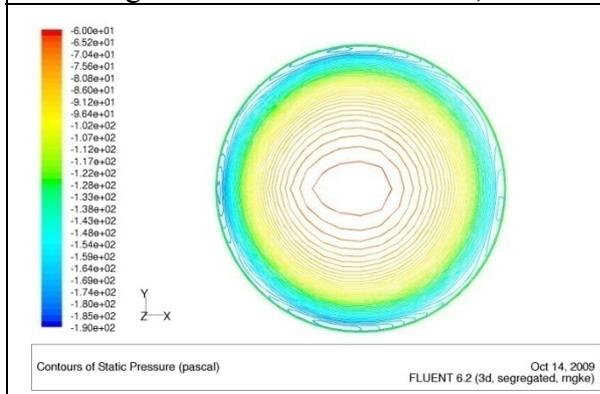


Fig.C.12.a : cas de  $z=d-Z=d-k-\epsilon$

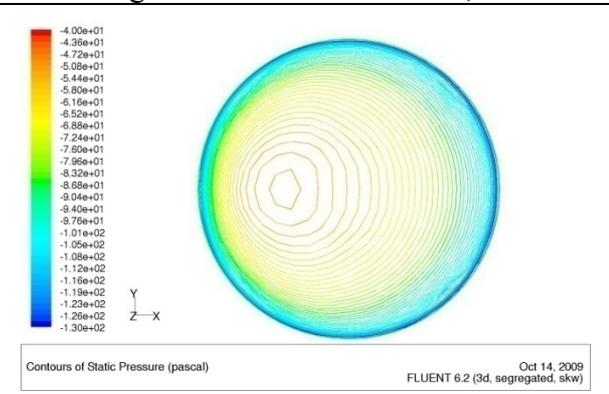


Fig.C.12.b : cas de  $z=d-Z=d$

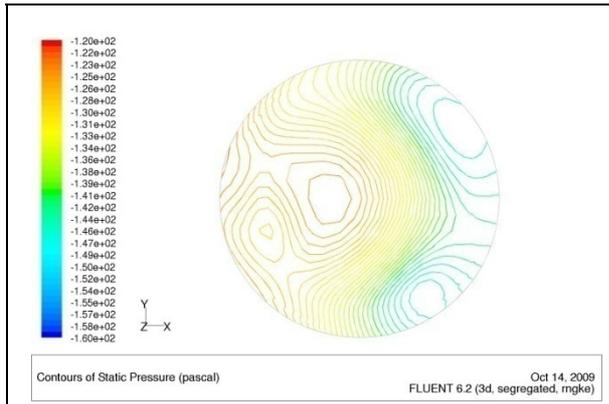


Fig.C.13.a. : cas de  $H=1,6d$ -  $Z=1,25d$ -  $k-\epsilon$

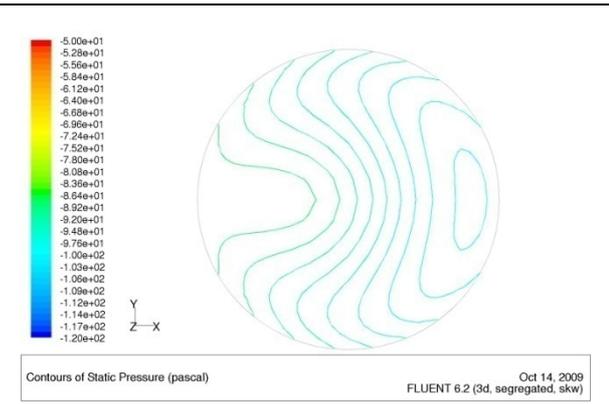


Fig.C.13.b. : cas de  $H=1,6d$ -  $Z=1,25d$

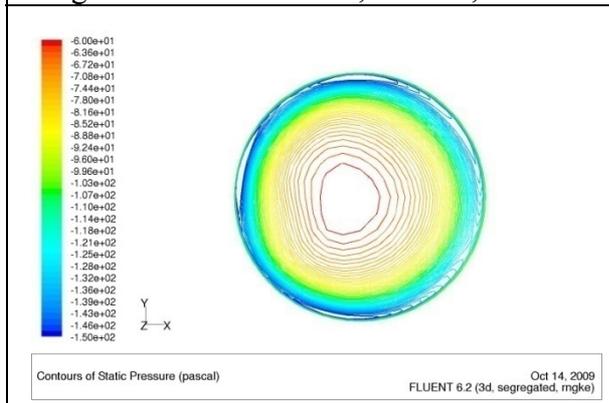


Fig.C.14.a. : cas de  $H=1,6d$ -  $V_{ax}$  à  $Z=0,85d$

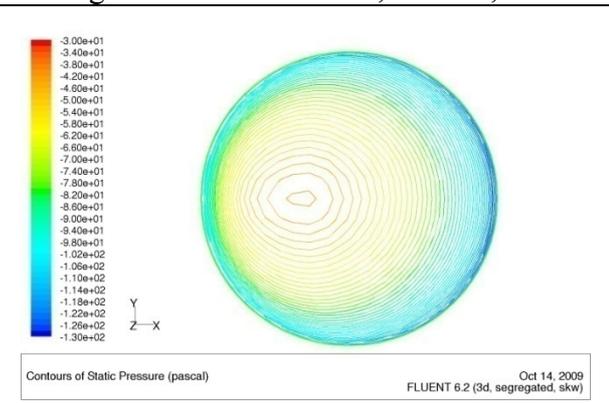


Fig.C.14.b. : cas de  $H=1,6d$ -  $Z=0,85d$

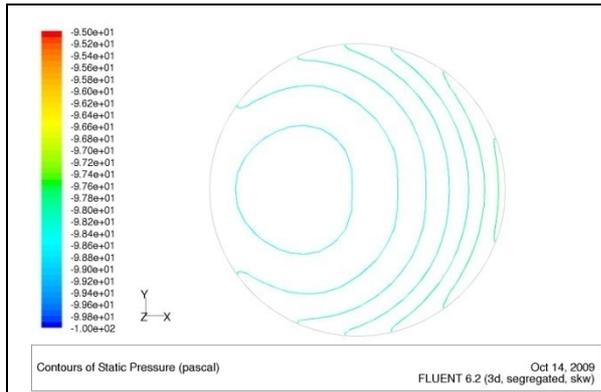


Fig.C.15.b. : cas de  $b=2,6d$  -  $Z=2,5d$

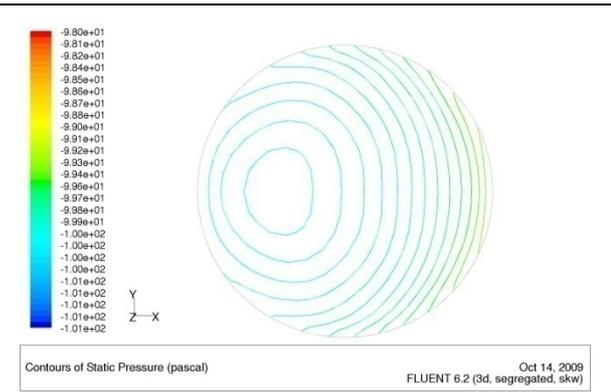


Fig.C.16.b. : Cas de  $b=2d$  -  $Z=2,5d$

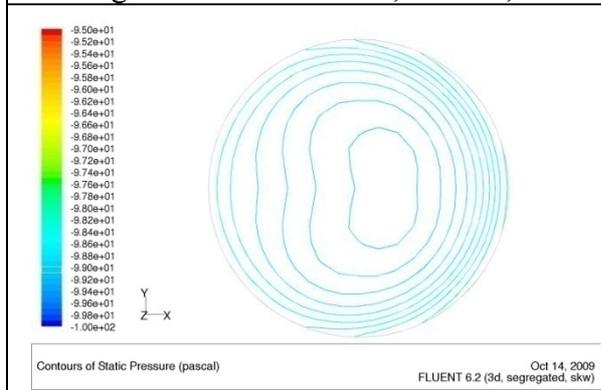


Fig.C.17.b. : cas de  $b=2,6d$  -  $Z=1,75d$

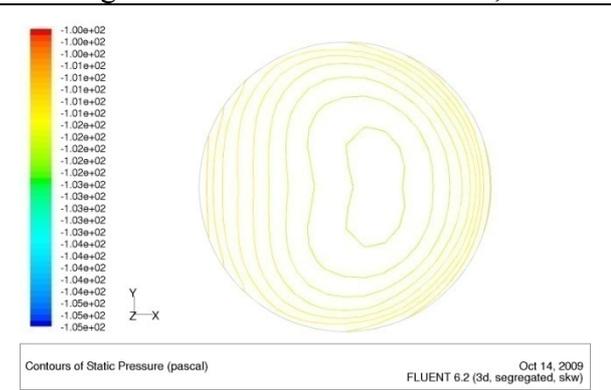


Fig.C.18.b. : Cas de  $b=2d$  -  $Z=1,75d$

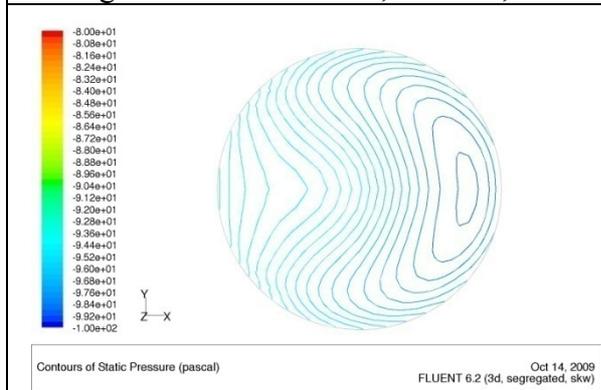


Fig.C.19.b. : cas de  $b=2,6d$  -  $Z=1,25d$

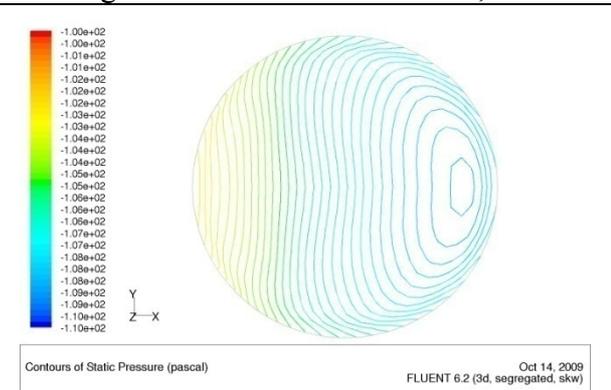


Fig.C.20.b. : Cas de  $b=2d$  et  $-Z=1,25d$

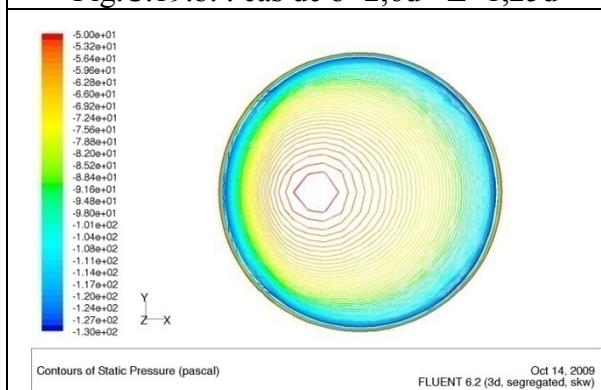


Fig.C.21.b. : cas de  $b=2,6d$  -  $Z=0,5d$

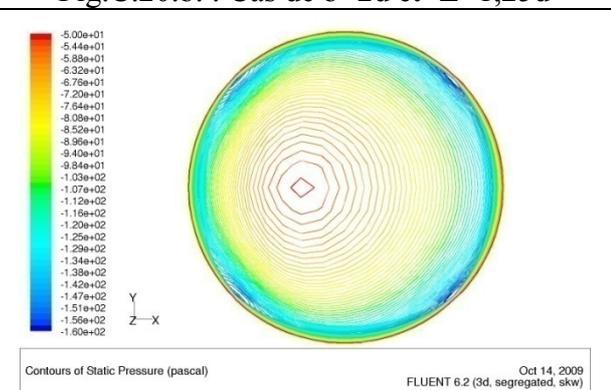


Fig.C.22.b. : Cas de  $b=2d$  -  $Z=0,5d$

Les deux cas pour  $z=0,5d$

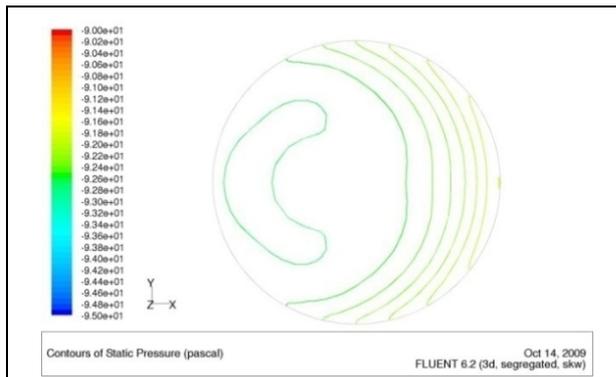


Fig.C.23.b: cas de  $b=2,6d - Z=2,5d$

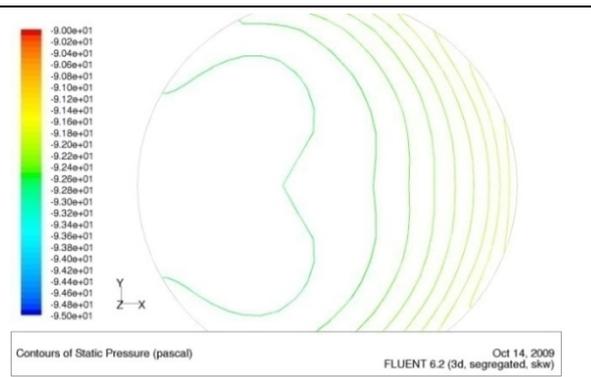


Fig.C.24.b : Cas de  $b=2d - Z=2,5d$

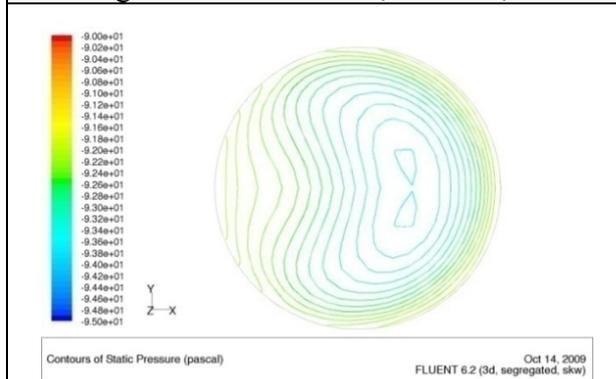


Fig.C.25.b : cas de  $b=2,6d - Z=1,75d$

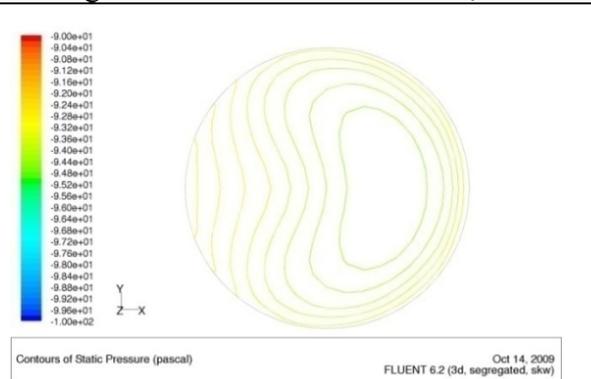


Fig.C.26.b : Cas de  $b=2d - Z=1,75d$

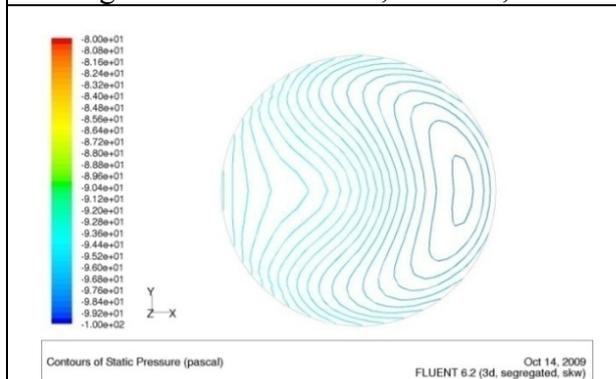


Fig.C.27.b : cas de  $b=2,6d - Z=1,25d$

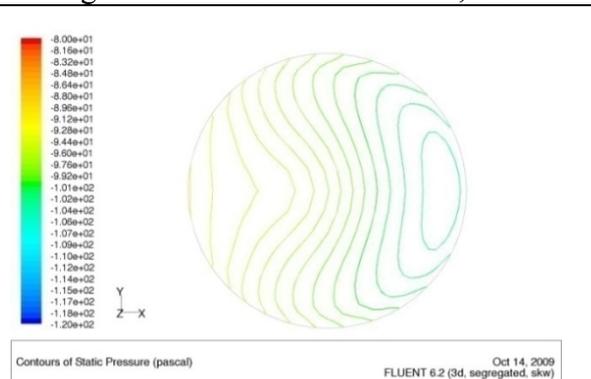


Fig.C.28.b: Cas de  $b=2d - Z=1,25d$

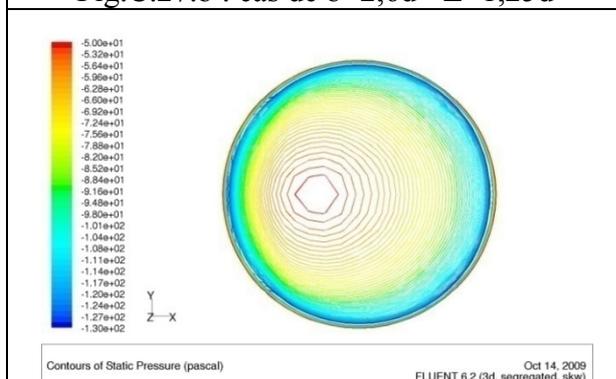


Fig.C.29.b : cas de  $b=2,6d - Z=0,75d$

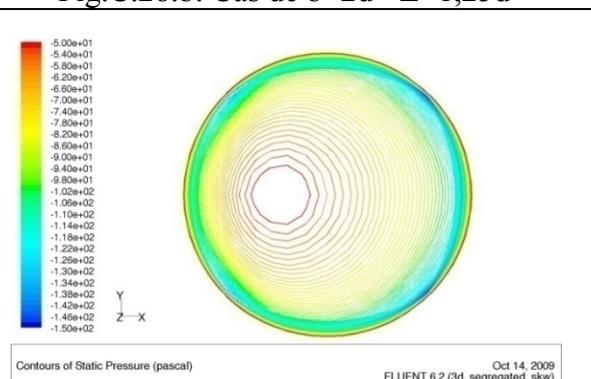


Fig.C.30.b : Cas de  $b=2d - Z=0,75d$

Les deux cas pour  $z=0,75d$

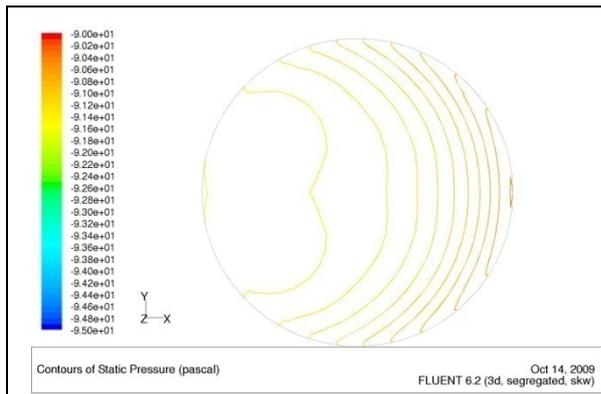


Fig.C.31.b : cas de  $b=2,6d - Z=2,5d$

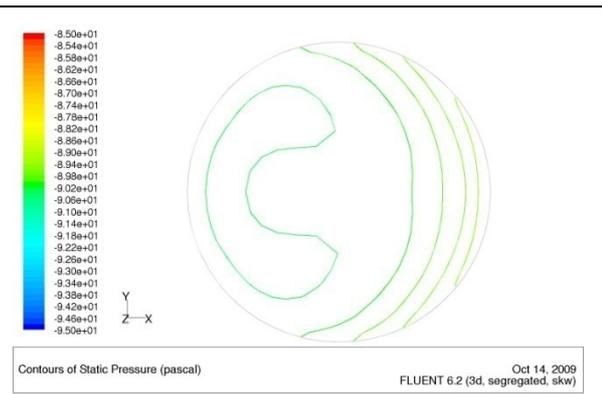


Fig.C.32.b : Cas de  $b=2d - Z=2,5d$

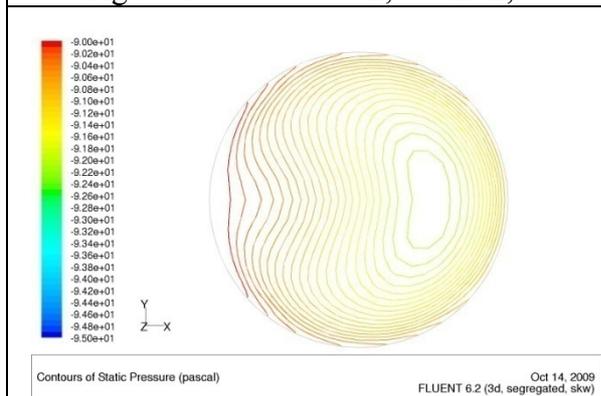


Fig.C.33.b : cas de  $b=2,6d - Z=1,75d$

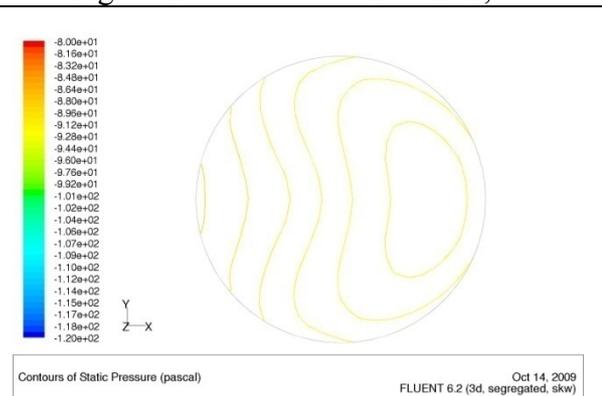


Fig.C.34.b : Cas de  $b=2d - Z=1,75d$

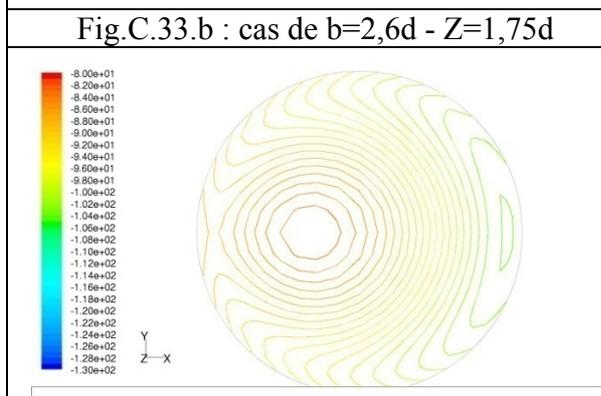


Fig.C.35.b : cas de  $b=2,6d - Z=1,25d$

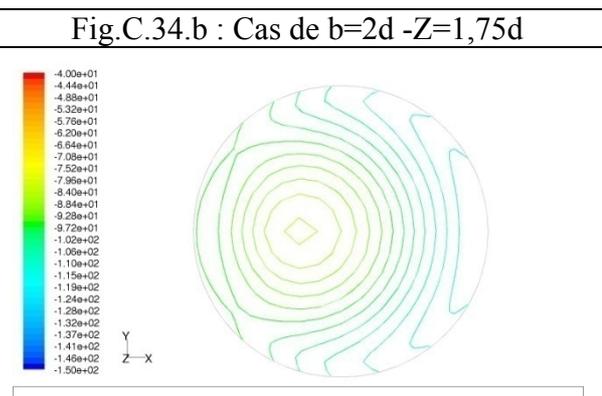


Fig.C.36.b : Cas de  $b=2d - Z=1,25d$

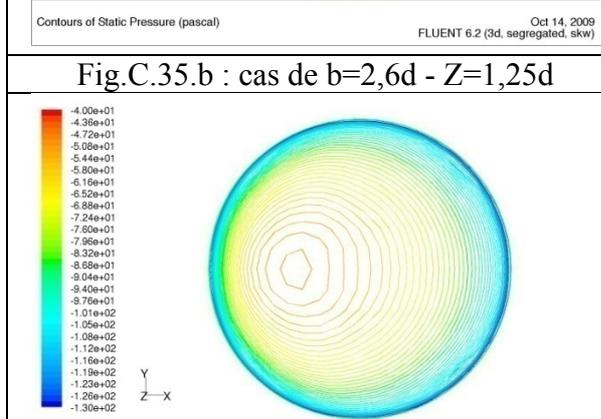


Fig.C.37.b : cas de  $b=2,6d - Z=d$

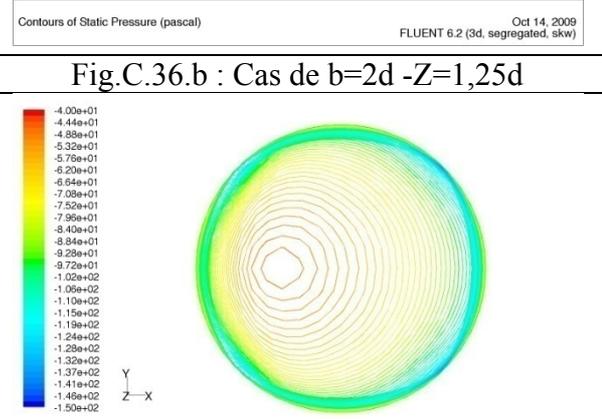


Fig.C.38.b : Cas de  $b=2d - Z=d$

Les deux cas pour  $z=d$

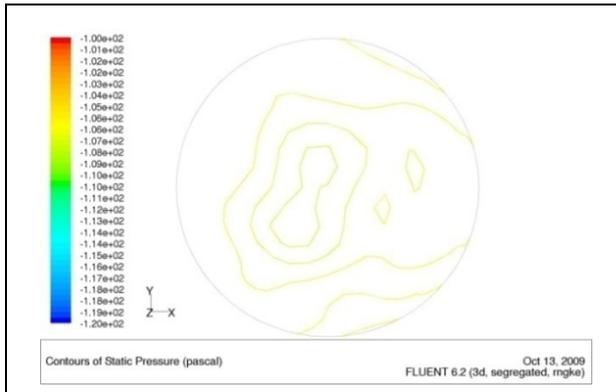


Fig.C.39.a : I -Z=2.5D

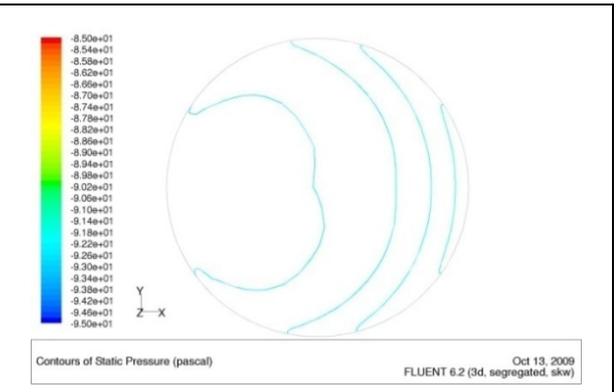


Fig.C.39.b : I -Z=2.5D

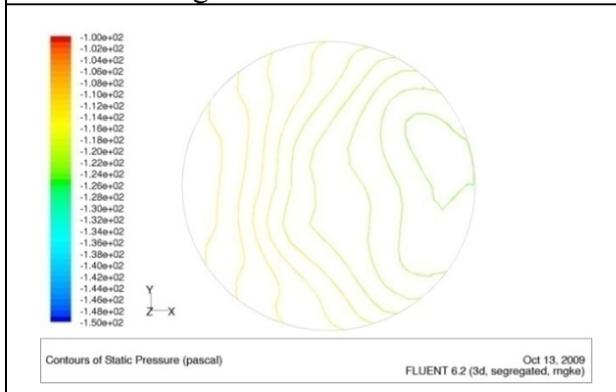


Fig.C.40.a : I -Z=1.75D

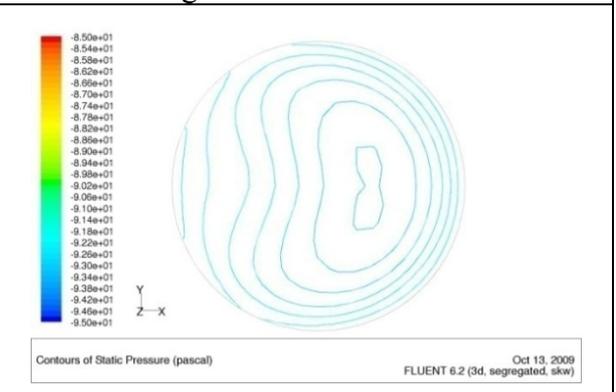


Fig.C.40.b : I -Z=1.75D

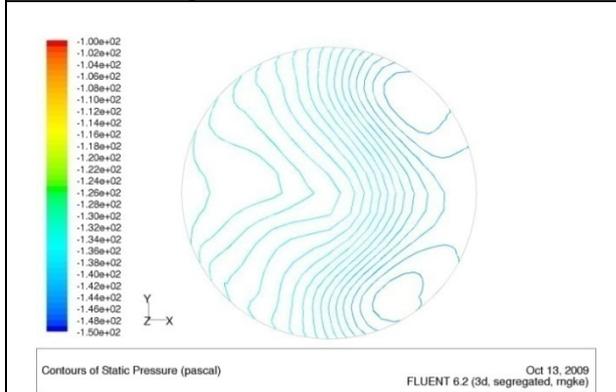


Fig.C.41.a : I - Z=1.25D

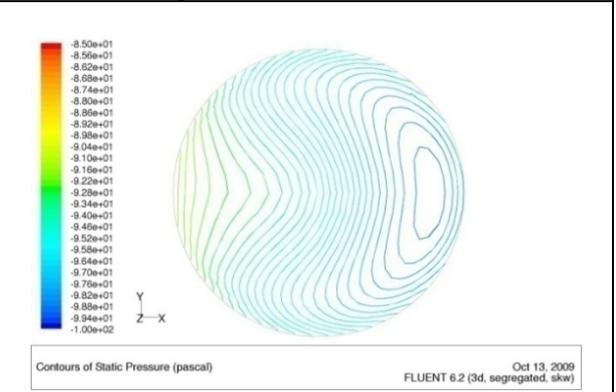


Fig.C.41.b : I - Z=1.25D

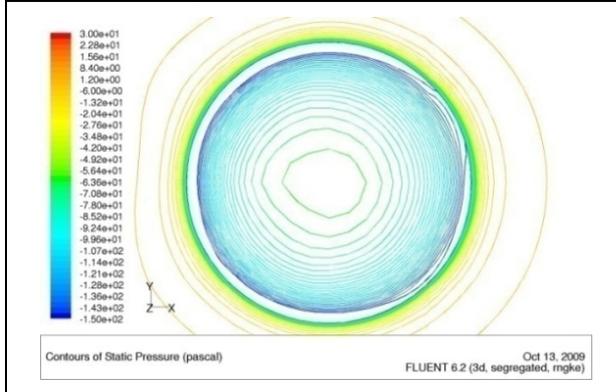


Fig.C.42.a : I - Z=0.75D

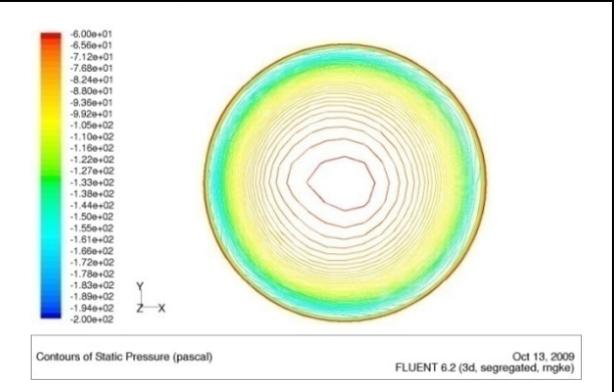


Fig.C.42.b : I - Z=0.75D

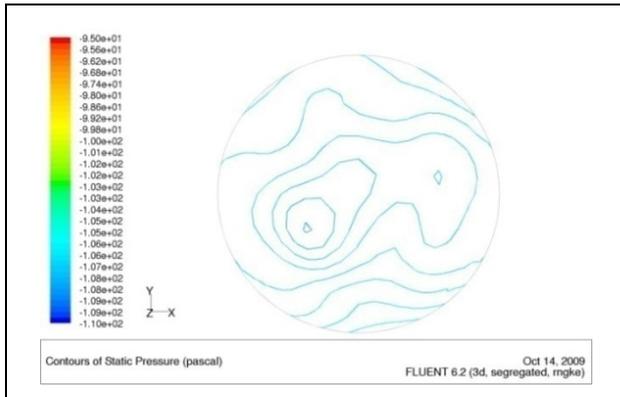


Fig.C.43.a : II -Z=2.5D

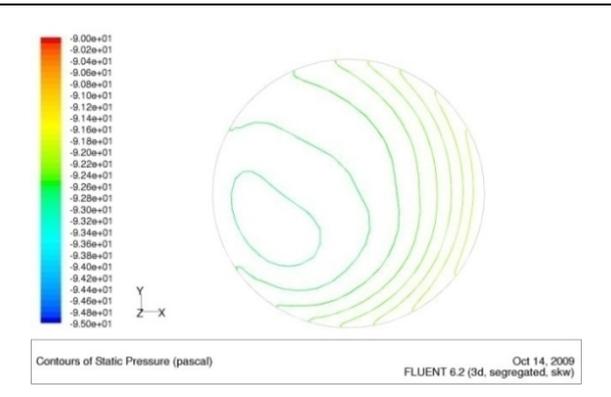


Fig.C.43.b : II -Z=2.5D

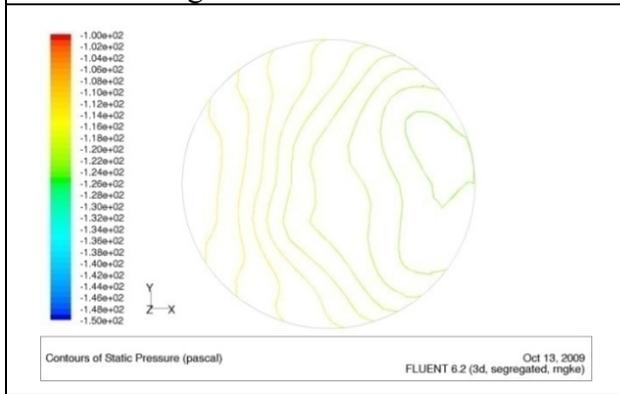


Fig.C.44.a : II -Z=1.75D

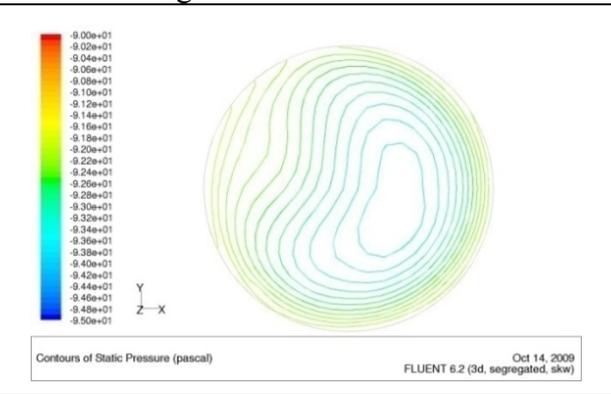


Fig.C.44.b : II -Z=1.75D

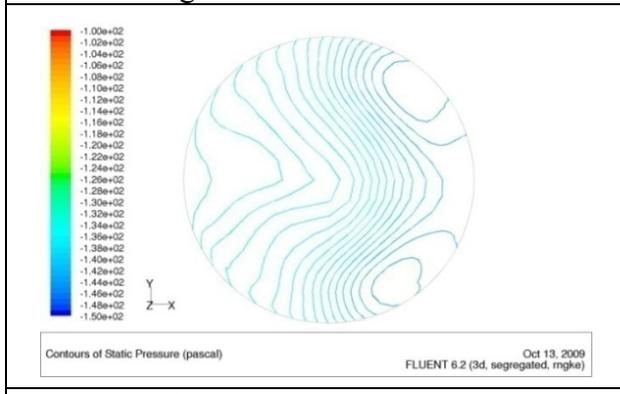


Fig.C.45.a : II -Z=1.25D

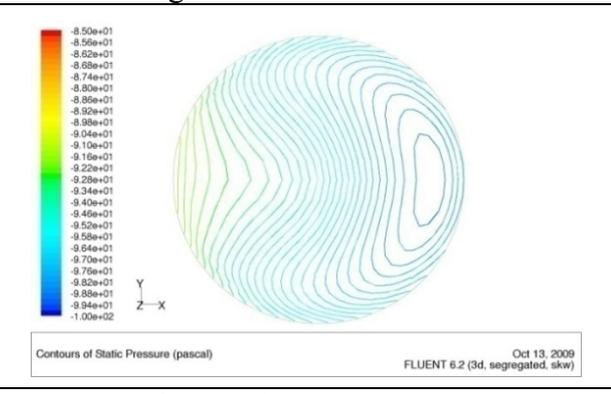


Fig.C.45.b : II -Z=1.25D

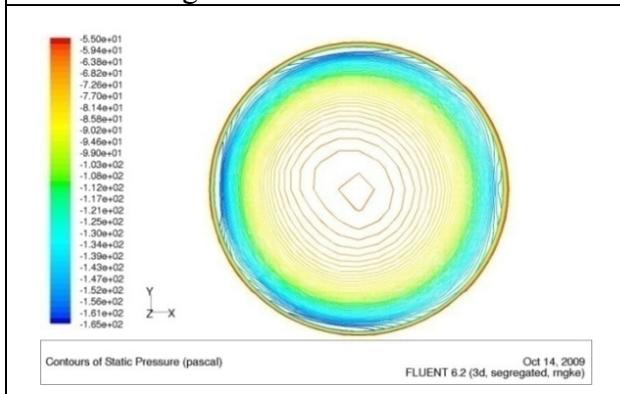


Fig.C.46.a : II -Z=0.75D

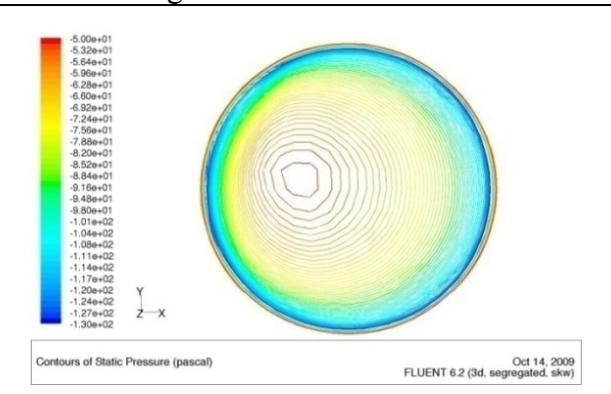


Fig.C.46.b : II -Z=0.75D

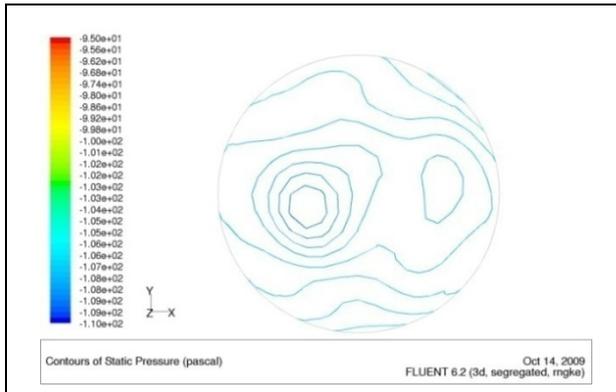


Fig.C.47.a : III -Z=2.5D

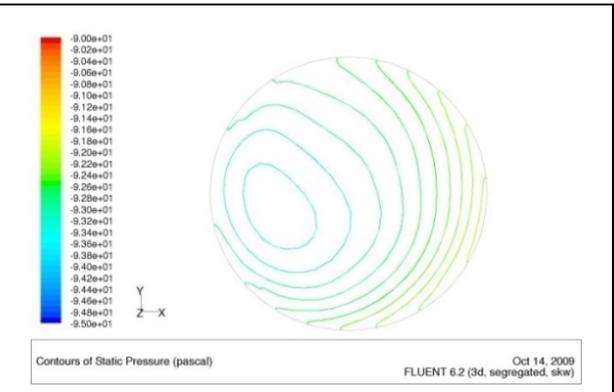


Fig.C.47.b : III - Z=2.5D

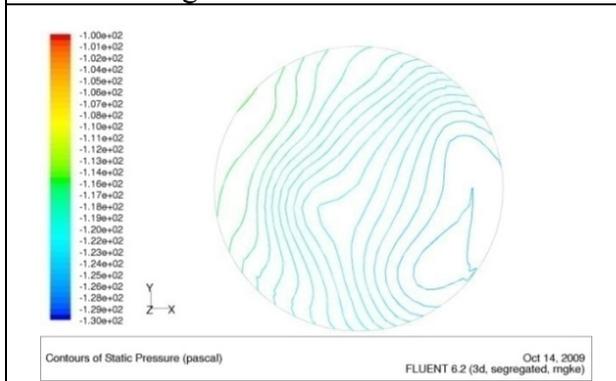


Fig.C.48.a : III -Z=1.75D

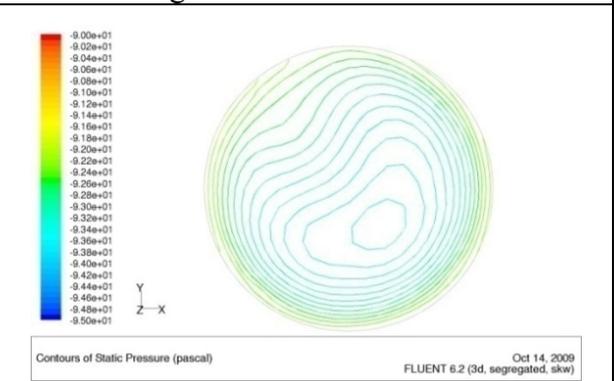


Fig.C.48.b : III -Z=1.75D

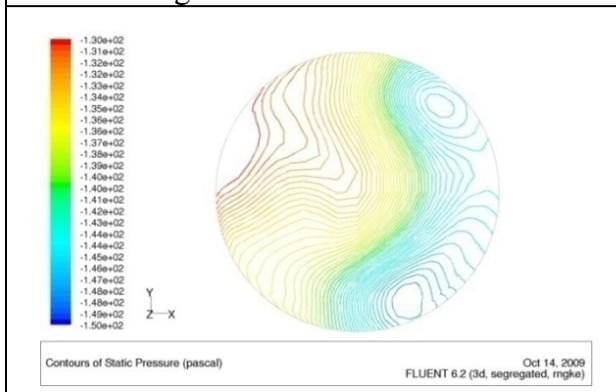


Fig.C.49.a : III - Z=1.25D

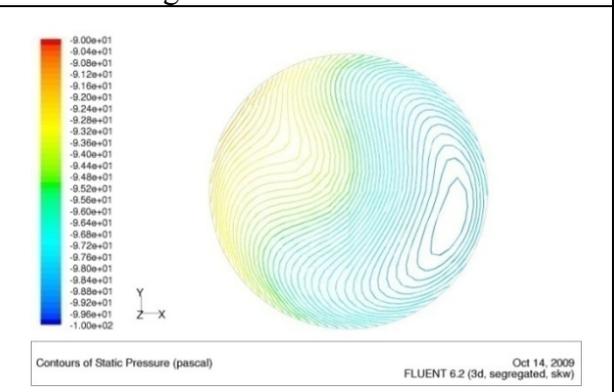


Fig.C.49.b : III - à Z=1.25D

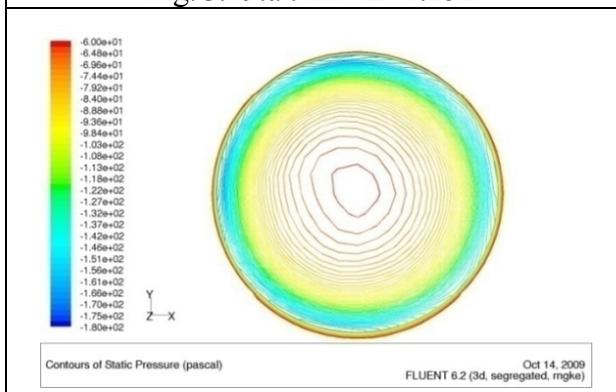


Fig.C.50.a : III - Z=0.75D

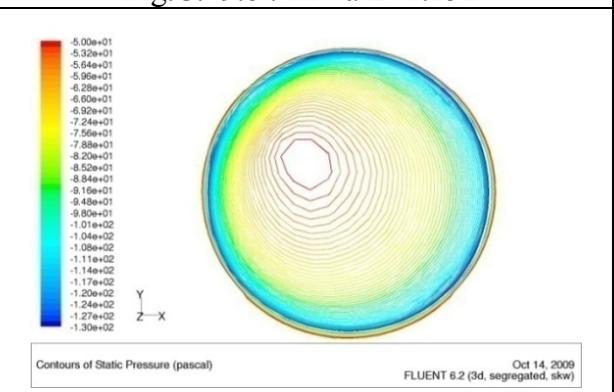


Fig.C.50.b : III -Z=0.75D

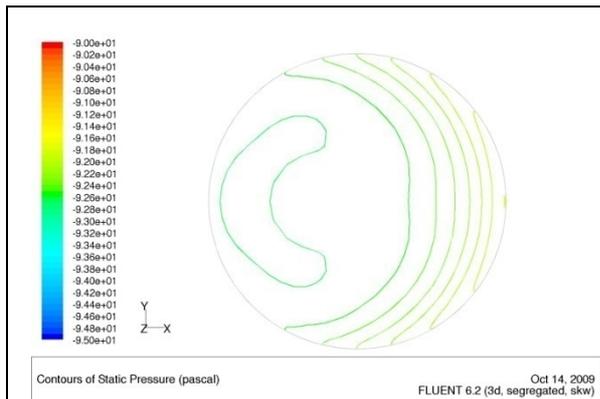


Fig.C.51.b cas de  $\theta=0^\circ$ -  $Z=2,5d$

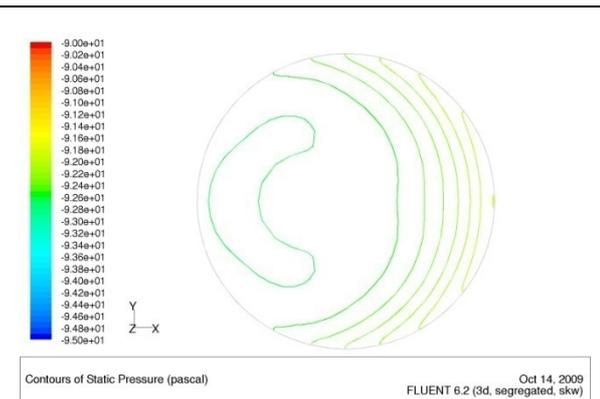


Fig.C.52.b cas de  $\theta=6^\circ$ -  $Z=2,5d$

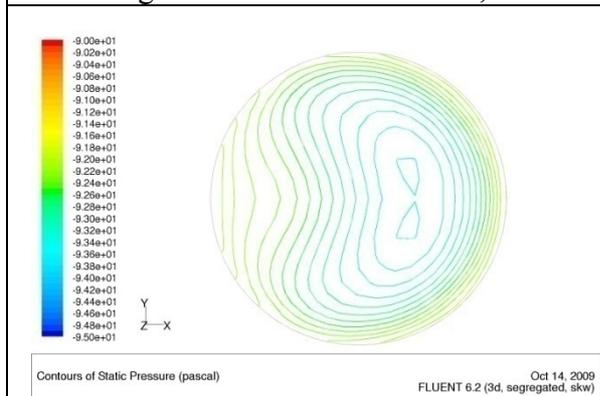


Fig.C.53.b cas de  $\theta=0^\circ$ -  $V_{ax}$  à  $Z=1,75d-k$

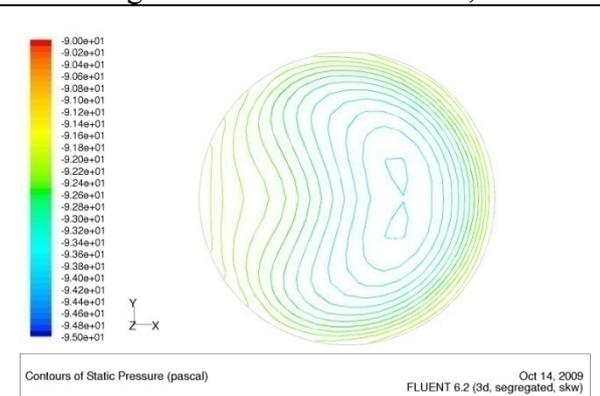


Fig.C.54.b cas de  $\theta=6^\circ$ -  $Z=1,75d-k$

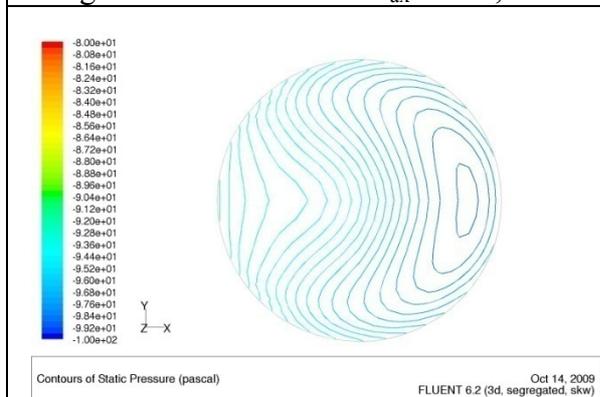


Fig.C.55.b cas de  $\theta=0^\circ$ -  $Z=1,25d-k$

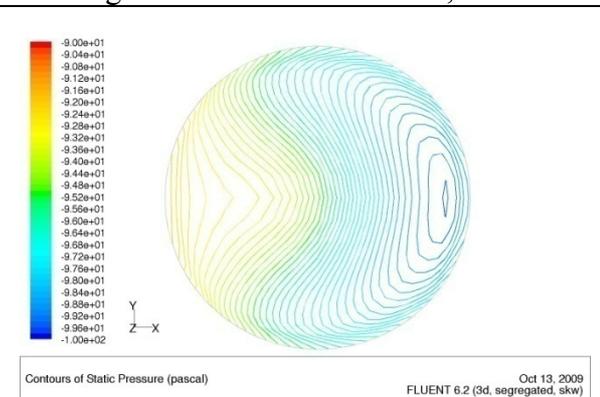


Fig.C.56.b cas de  $\theta=6^\circ$ -  $Z=1,25d-k$

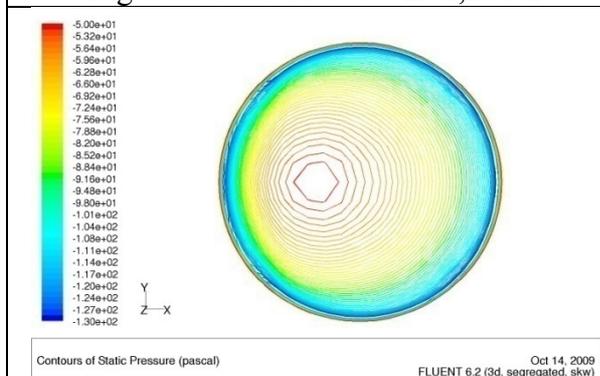


Fig.C.57.b cas de  $\theta=0^\circ$ -  $Z=0,75d$

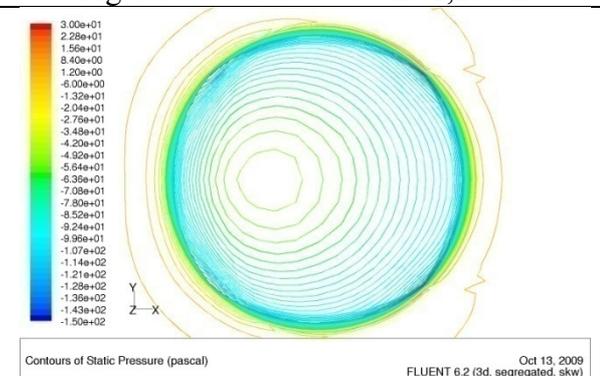


Fig.C.58.b cas de  $\theta=6^\circ$ -  $Z=0,75d$

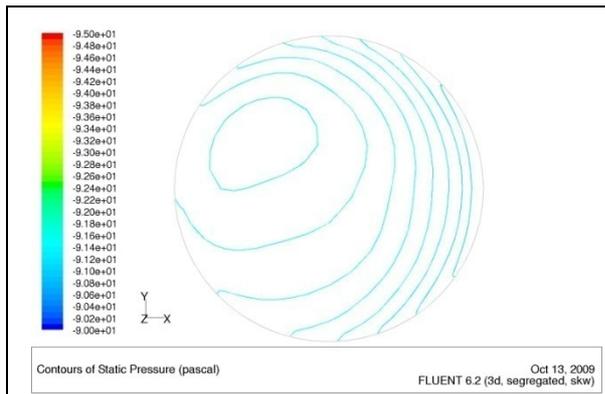


Fig.C.59.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $Z=2,5d$

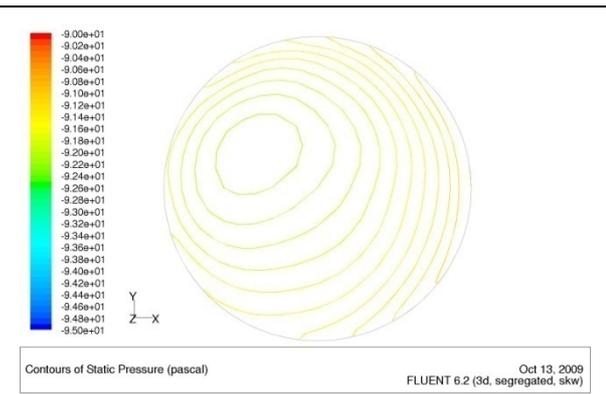


Fig.C.60.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $Z=2,5d$

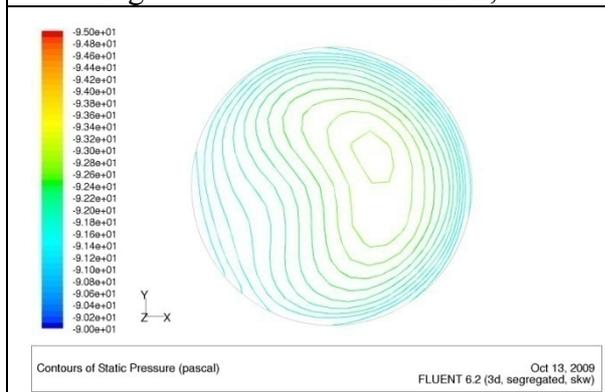


Fig.C.61.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $Z=1,75d$

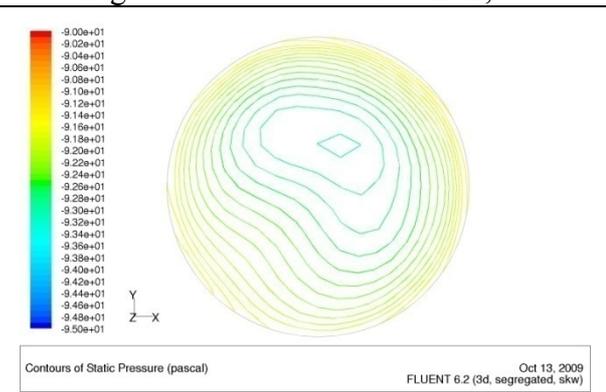


Fig.C.62.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $Z=1,75d$

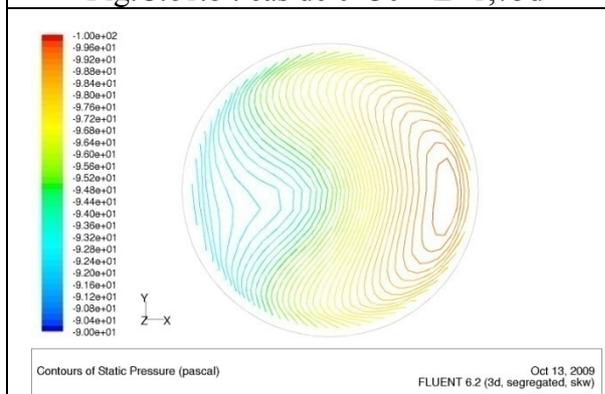


Fig.C.63.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $Z=1,25d$

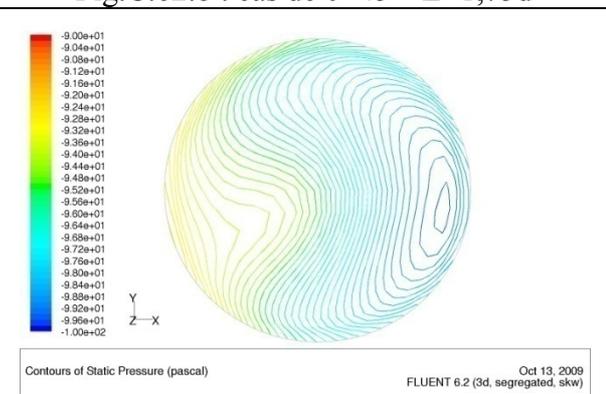


Fig.C.64.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $Z=1,25d$

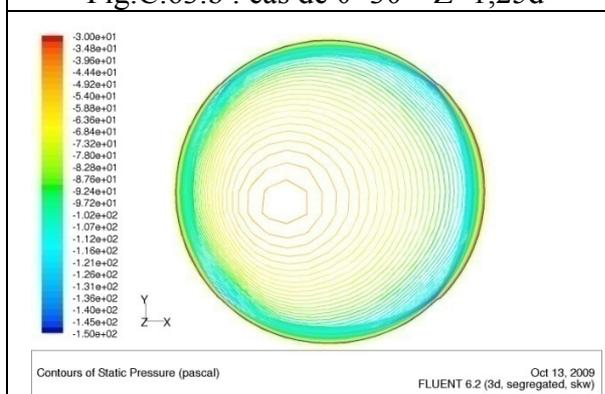


Fig.C.65.b : cas de  $\theta=30^\circ$ -  $Z=0,75d$

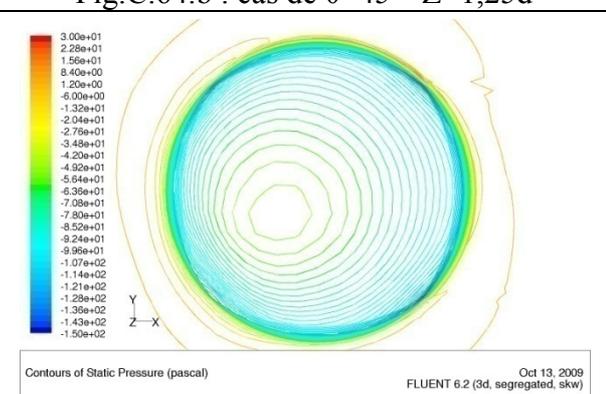


Fig.C.66.b : cas de  $\theta=45^\circ$ -  $Z=0,75d$

## Etudes hydrauliques de l'influence des géométries des bassins sur l'alimentation des pompes

**RESUME:** Les travaux portent sur l'analyse des écoulements qui se développent dans les bassins d'alimentation de pompes. Les structures qui en découlent sont généralement des tourbillons qui peuvent entraîner de l'air ou des particules solides comme les sédiments. Ce problème est généralement rencontré pour des applications d'irrigations, de captage des eaux usées et pour quelques applications marines.

Les travaux présentent d'une part, des résultats expérimentaux obtenus sur une configuration de bassin d'alimentation de pompes de forme rectangulaire. Plusieurs configurations géométriques sont testées et analysées en particulier celles qui traitent de l'influence de l'immersion du tuyau d'alimentation et de sa position entre les murs latéraux. D'autres parts, une analyse basée sur une modélisation numérique de type RANS, permet de comprendre certains phénomènes, pour des configurations bien documentées qui ont également fait l'objet de résultats publiés. L'étude numérique est ensuite étendue à d'autres configurations en particulier pour détecter l'influence relative de certains paramètres géométriques jugés importants pour modifier les structures d'écoulements dans ces bassins

**Mots-clés:** bassin d'aspiration, tourbillons issus de la surface libre, tourbillons issus des parois, modèle de turbulence,

## NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS ON FLOW IN WATER PUMP-SUMP

**ABSTRACT:** Two fundamental types of flow problems besetting water intakes are swirling flow problems in the pump sump and sediment problems at entrance or within intakes. Both problems reduce intake performance and lead to increased plant operating costs.

Experiments were conducted in order to select best positions of the suction pipe of a water-intake sump. These experiments show qualitative results concerning flow disturbances in the pump-intake related to sump geometries and position of the pump intake. The purpose of the paper is to reproduce the flow pattern and confirm the geometrical parameter influences of the flow behavior in such a pump.

The numerical model solves the Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) equations with a near-wall turbulence model. In the validation of this numerical model, emphasis was placed on the prediction of the number, location, size and strength of the various types of vortices.

The paper mainly focuses first, on mesh geometry turbulence model, closures and boundary conditions. Secondly, a comparison of different flow patterns for several intake locations in the sump will be presented.

**Keywords:** sump pump, free surface vortex, subsurface vortex, turbulence model,