

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université M'Hamed Bougara-Boumerdes**  
**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**



**Département Transport et Equipements des Hydrocarbures**

**Mémoire de fin d'études**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

**Domaine** : Sciences et Technologies

**Filière** : Hydrocarbure

**Option** : Génie mécanique-Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par : HAMOUDA Aymen  
BENCHEHAIMA Med Amine

THEME

**Contribution à l'amélioration des performances du desilter  
du système de nettoyage de la boue de forage**

Soutenu publiquement le 12 / 06 / 2024

Devant le jury :

Université/Affiliation	Nom et Prénom	Grade	
Président de jury	K. SAHNOUNE	MCB	UMBB
Examinateur	A. GUEBLI	MCB	UMBB
Examinateur	K. SABRI	MCB	UMBB
Encadreur	A. BENBRIK	Pr.	UMBB

Boumerdes 2024

## Remerciement

Louange à Allah, le Seigneur des mondes. Sans Son soutien et Sa miséricorde, ce mémoire n'aurait pas été possible. Nous Le remercions pour la force, la patience et la sagesse qu'Il nous a accordées tout au long de ce parcours académique.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers nos parents. Leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants ont été des piliers essentiels tout au long de ce parcours académique.

Nous souhaitons également remercier notre encadrant, **M. Benbrik Abderrahmane**, pour sa guidance, ses précieux conseils et sa disponibilité. Son expertise et son soutien ont grandement enrichi notre travail et nous ont permis de mener à bien cette recherche.

Nos remerciements vont également à l'ensemble du corps professoral de **l'Université M'Hamed Bougara** pour les connaissances et les compétences qu'ils nous ont transmises au cours de ces années.

Nos vifs remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de **l'ENAFOR** et à l'ensemble du personnel du **département de solide contrôle**.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers nos camarades de promotion. Leur soutien, leur camaraderie et les moments partagés ont été inestimables tout au long de notre parcours académique.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes, de près ou de loin, qui nous ont soutenus, encouragés et inspirés durant cette aventure académique. Merci à tous pour votre aide précieuse.

Que ce mémoire soit le reflet de notre reconnaissance envers vous tous.

# Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mots que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents, qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs sages conseils

À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureux : ma adorable mère, **Saighi Nedjla**.

À l'homme qui a toujours été pour moi un ami, qui a fait énormément d'efforts et de sacrifices pour l'éducation de ses enfants, leur bien-être et leur soutien, mon cher père **Jallal**.

À mon très cher frère **Younes** et mon petit frère adorable **Acil**, qui sait toujours comment m'apporter joie et bonheur.

À ma **chère grand-mère** disparue, la femme de ma vie et mon exemple éternel. Repose en paix.

À mes proches **BOUDOUH Aymen**, **CHOUDAR Amar** et **DEBBECHE Anis**, pour avoir partagé tant de moments inoubliables pendant ces années d'études. Vos rires, vos encouragements et vos discussions passionnantes ont rendu ce parcours plus riche et m'ont aidé à rester motivé dans les moments les plus difficiles.

À mes amis **Raouf**, **Yazid**, **Halima**, **Yacine**, **Islem** et mon cousin **Riad**, qui m'ont toujours encouragé. Votre présence a enrichi mon parcours et m'a aidé à rester motivé.

Sans oublier mon binôme **Med BENCHEHAIMA** pour son soutien moral, sa patience, ses idées brillantes et sa détermination, qui ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire.

**HAMOUDA Aymen**

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère **MEKAOU Rachida** aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me porter depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

À mon cher père **Nour Dine** tes conseils avisés, ta sagesse et ton exemple de persévérance ont été les fondations sur lesquelles j'ai construit mon cheminement académique. Ta présence constante et ton soutien indéfectible m'ont donné la confiance nécessaire pour surmonter les obstacles. Je te suis profondément reconnaissant pour tout ce que tu as fait pour moi, cher père

À **mes sœurs**, Pour votre soutien indéfectible, vos encouragements constants et votre amour inconditionnel. Vous avez été ma source de motivation et d'inspiration tout au long de ce parcours. Merci pour votre présence réconfortante et votre soutien précieux.

À ma chère **grand-mère**, Pour ton amour infini, ta sagesse et ton soutien inébranlable.

À mon binôme **HAMOUDA AYMEN**, Pour ton soutien constant et ta collaboration précieuse tout au long de ce projet. Ta détermination et ton engagement ont été essentiels à la réussite de ce mémoire. Merci pour tout.

À mes amis **DERRADJI Mustapha, ZEMMAL Akram** et **Chahrazed** pour avoir partagé tant de moments inoubliables pendant ces années d'études. Vos rires, vos encouragements et vos discussions passionnantes ont rendu ce parcours plus riche et m'ont aidé à rester motivé dans les moments les plus difficiles.

**Med BENCHEHAIMA.**

## Résumé

Le desilter de boue de forage est un composant crucial dans le processus de forage pétrolier et gazier, conçu pour éliminer les solides abrasifs de la boue de forage. Il utilise des hydrocyclones pour séparer et éliminer les déblais indésirables (particules telles que le sable et le limon), améliorant ainsi la qualité et les propriétés du fluide de forage recyclable. En éliminant les solides abrasifs, les desilters aident à protéger les équipements en aval, y compris les pompes, les tuyaux, la tête d'injection, le train de tiges et les outils de forage. Cela réduit l'usure des composants de l'équipement, prolongeant la durée de vie de l'équipement et réduisant les coûts de maintenance. Le desilter aide à maintenir un système de boue de forage clair et bien contrôlé, minimise les temps d'arrêt associés aux pannes d'équipement, améliore le taux de pénétration et augmente l'efficacité globale du forage. Le desilter utilise des forces inertielle et gravitationnelle pour séparer les particules solides du liquide. Le flux dans le desilter est un écoulement turbulent et tourbillonnaire à deux phases (phase continue (boue) et phase discrète (solide)). Dans cette étude, la performance du desilter est évaluée en utilisant la dynamique des fluides numérique. Le modèle de turbulence  $k-\epsilon$  RNG a été utilisé pour étudier l'interaction entre la boue et les particules solides. Les simulations réalisées se concentrent sur la dépendance de l'efficacité du desilter en fonction des paramètres de fonctionnement. Les résultats obtenus montrent que les paramètres de fonctionnement appropriés utilisés améliorent l'effet de séparation cyclonique.

# SOMMAIRE :

Introduction.....	1
Introduction générale .....	1
Chapitre 1 : Présentation du système de circulation de l'appareil de forage .....	3
1.1. Introduction .....	3
1.2. Système circulation de la boue .....	3
1.2.1. Circuit Haute Pression : .....	3
1.2.2. Circuit Basse Pression.....	5
1.3. Conclusion.....	10
Chapitre 2 : Théorie de fonctionnement du desilter .....	11
2.1. Introduction .....	11
2.2. Hydrocyclonage .....	11
2.2.1. Description d'hydrocyclone .....	11
2.2.2. La théorie de fonctionnement .....	12
2.2.3. Influence de certains paramètres sur les performances : .....	13
2.2.4. Distributions de la vitesse du liquide .....	16
2.2.5. Capacité des hydrocyclones .....	17
2.2.6. La décharge à la sousverse (spigot) .....	17
2.3. Eliminations des particules.....	18
2.3.1. Types de solides .....	18
2.3.2. Classification des tailles de particules .....	19
2.3.3. Forme des solides.....	20
2.3.4. Mouvement des particules .....	20
2.4. Conclusion.....	20
Chapitre 3 : Etat de l'art.....	21
Etude bibliographique.....	21
Chapitre 4 : Modélisation numérique .....	25
4.1. Introduction .....	25
4.2. La dynamique des fluides numérique (CFD) .....	25
4.3. Forme générale des équations fondamentales .....	26
4.4. Modèle de turbulence .....	26
4.4.1. Modèles de turbulence à deux équations .....	26

4.4.2.	Modèle de turbulence k- $\epsilon$ .....	27
4.4.3.	L'écoulement multiphasique .....	27
4.5.	Méthodologie de Simulation Numérique .....	27
4.5.1.	Software .....	27
4.5.2.	Présentation du code de calcul ANSYS Fluent.....	27
4.5.3.	Présentation de l'interface ANSYS WorkBench .....	28
4.5.4.	Propriété de la machine.....	29
4.5.5.	Développement d'un modèle numérique.....	29
4.5.6.	Mise en données et simulation .....	37
4.6.	Conclusion.....	42
Chapitre 5 : Analyse et discussion des résultats .....		43
5.1	Introduction .....	43
5.2.	Validation du modèle de simulation.....	43
5.3.	Analyse des Résultats.....	44
5.3.1.	Analyse des Flux.....	44
5.3.2.	Distribution de la Pression .....	46
5.3.3.	Distribution de la vitesse.....	51
5.3.4.	Distribution de la Fraction Volumique des Particules .....	59
5.3.5.	Distribution des particules selon le diamètre .....	60
5.3.6.	Effet des Paramètres de Simulation .....	60
5.4.	Efficacité de séparation .....	61
5.5.	Conclusions .....	62
Conclusion générale.....		63

# Listes des figures :

Figure 1.1 : Système de circulation de l'appareil de forage. ....	3
Figure 1.2 : Pompe de suralimentation de l'appareil de RIG ENF#61. ....	4
Figure 1.3 : La pompe à boue de RIG ENF#61. ....	4
Figure 1.4 : Système de circulation de boue. ....	6
Figure 1.5 : Tamis vibrant de RIG ENF#61. ....	6
Figure 1.6 : Dégazeur de boue de RIG ENF#61. ....	7
Figure 1.7 : Dessableur de marque derrick de RIG ENF#61. ....	8
Figure 1.8 : Mud cleaner de la marque Derrick. ....	8
Figure 1.9: Desilter de mud cleaner RIG ENF#61 la marque derrick. ....	9
Figure 1.10 : Centrifugeuse. ....	10
Figure 2.1 : Photo réel d'un hydrocyclone de marque derrick. ....	11
Figure 2.2 : Schéma de fonctionnement de l'hydrocyclone. ....	12
Figure 2.3 : Illustration de l'écoulement de l'hydrocyclone. ....	13
Figure 2.4 : Taille de coupe et débit pour différents diamètres de cyclone. ....	14
Figure 2.5: Gravité et force centrifuge. ....	15
Figure 2.6 : Décharges en parapluie en boudin à la sousverse. ....	18
Figure 2.7 : Classification des tailles de particules. ....	19
Figure 4.1 : Démarrage de WorkBench et la fenêtre principale du WorkBench. ....	29
Figure 4.2 : Les dimensions de la géométrie. ....	30
Figure 4.3 : Choix de l'unité. ....	30
Figure 4.4 : création d'un plan XY. ....	31
Figure 4.5 : Détail du cylindre du corps. ....	31
Figure 4.6 : Détail de cylindre d'alimentation. ....	32
Figure 4.7 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière d'alimentation. ....	32
Figure 4.8 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière du corp cylindrique. ....	33
Figure 4.9 : Détail du détecteur de tourbillon cylindrique. ....	33
Figure 4.10 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière du détecteur de tourbillon. ....	33
Figure 4.11 : Détail du cône. ....	34
Figure 4.12 : Détail du cône d'enlèvement de matière. ....	34
Figure 4.13 : Volume intérieur du desilter. ....	35
Figure 4.14 : La Génération de maillage. ....	36
Figure 4.15 : La fenêtre d'ouverture d'Ansys Fluent ....	37
Figure 4.16 : Choix de solveur. ....	37

Figure 4.17 : choix des modèles physiques .....	38
Figure 4.18 : Choix du model multiphase.....	38
Figure 4.19 : Définir les propriétés d'injection. ....	39
Figure 4.20 : Les deux phases continue et discrète.....	40
Figure 4.21 : Conditions limites de l'entrée (Inlet) .....	40
Figure 4.22 : Conditions limites de la sortie (Outlet). ....	41
Figure 4.23 : Etape de l'initialisation.....	41
Figure 4.24 : Résidus scalaires en fonction des itérations pour différentes méthodes numériques. ....	42
Figure 5.1 : Schéma du cyclone de Hsieh.....	43
Figure 5.2 : Comparaison des distributions de de vitesse axiale et vitesse tangentielle... 44	44
Figure 5.3 : La trajectoire de la boue. ....	45
Figure 5.4 : La trajectoire des particules solide. ....	46
Figure 5.5 : Les contours de la distribution de la pression statique.....	47
Figure 5.6 : Graphe de la pression statique dans $y= 20$ .....	48
Figure 5.7 : Graphe de la pression statique à $y= -30$ . ....	50
Figure 5.8 : Le contour de la distribution de vitesse axiale. ....	52
Figure 5.9 : graphe de la vitesse axiale dans la position $y=20$ .....	53
Figure 5.10 : graphe de la vitesse axiale dans la position $y=-30$ .....	54
Figure 5.11 : Les contours de vitesse tangentielle .....	55
Figure 5.12 : graphe de vitesse tangentielle $y=20$ .....	56
Figure 5.13 : La vitesse tangentielle dans $y=-30$ .....	57
Figure 5.14 : Contour de fraction volumique .....	59
Figure 5.15 : Distribution des diamètres.....	60

# Liste des tableaux

Tableau 2.1: Capacité des hydrocyclones. ....	17
Tableau 2.2 : Classification des solides par taille. ....	20
Tableau 4.1: Caractéristiques d'ordinateur utilisé. ....	29
Tableau 5.1 : Effets de la vitesse d'alimentation sur l'efficacité. ....	62

## Introduction générale

Les hydrocarbures jouent un rôle fondamental dans le développement et le fonctionnement de l'industrie moderne. Leur impact en tant que première source d'énergie est incontestable, fournissant les combustibles fossiles essentiels qui alimentent une multitude d'activités industrielles et répondent aux besoins énergétiques mondiaux. Cette importance découle de leurs propriétés polyvalentes, de leur densité énergétique élevée et de leur facilité de stockage et de transport.

Dans le secteur de l'exploitation pétrolière, les opérations de forage consistent à percer à travers différents types de roches, produisant des déblais (débris de roches, sable et fines particules) qui se mêlent au liquide de forage. Si ces déblais ne sont pas correctement éliminés, ils peuvent endommager l'équipement, réduire l'efficacité de forage et augmenter les coûts de maintenance. De plus, le fluide de forage doit être maintenu à une viscosité spécifique pour garantir le bon fonctionnement des opérations de forage. Pour remédier à ce problème, les systèmes de circulation des installations de forage sont équipés de système de nettoyage composés, généralement, de tamis vibrants, de dessableurs et de desilters, permettant d'éliminer ces déblais solides du liquide de forage.

Le fluide de forage joue un rôle essentiel dans le processus de forage où il sert de lubrifiant et transporte les déblais vers la surface. Pour surmonter cette situation difficile et prolonger la durée de vie des équipements de forage, un desilter est utilisé. Dans ce contexte, le dessableur et desilter éliminent les solides abrasifs des fluides de forage que le tamis vibrant ne peut pas éliminer. Le desilter en éliminant les fines particules solides (de l'ordre de 50 microns), son rôle est crucial pour maintenir la propreté et les propriétés désirées du fluide de forage. Un fluide correctement épuré permet d'optimiser le processus de forage et de réduire les coûts d'exploitation à long terme.

## Problématique

La présence de particules solides dans la boue de forage peut entraîner divers problèmes pour les équipements du système de circulation. Tout d'abord, les débris de roche, les grains de sable et autres particules solides peuvent augmenter l'érosion des équipements tels que les pompes de forage, les conduites de surface, les têtes d'injection, les trains de sonde, et les outils de forage. Ces particules abrasives peuvent rayer et endommager les surfaces internes des équipements, provoquant une usure prématurée et, par conséquent, des coûts de maintenance plus élevés. De plus, les particules solides qui ne sont pas éliminées lors du processus de nettoyage peuvent être renvoyées dans le trou de forage, où elles peuvent causer une abrasion et un réaffûtage sous le trépan de forage. Elles peuvent devenir trop fines pour être facilement éliminées lors de leur retour à la surface, ce qui entraîne une accumulation de solides dans le fluide de forage et des problèmes de nettoyage du trou foré. En somme, la présence de particules solides non éliminées dans la boue de forage peut engendrer des coûts de maintenance accrus, une dégradation prématurée des équipements, et des difficultés pour nettoyer le trou foré. Il est donc crucial de s'assurer que le desilter et les autres équipements de nettoyage fonctionnent de manière optimale pour éliminer efficacement ces particules.

## **Objectifs**

Le travail envisagé concerne l'amélioration des performances du desilter en optimisant ses paramètres de fonctionnement, précisément le débit volumique d'alimentation.

## **Matériels et Méthodes**

Ce travail est une étude numérique, qui a été réalisée à l'aide du logiciel ANSYS, disponible sur la station de calcul du Laboratoire de recherche scientifique de Fiabilité des Equipements Pétroliers et Matériaux de la faculté des hydrocarbures et de la chimie.

## **Structure générale du mémoire**

Le mémoire se compose de Cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons le système de circulation de l'AdF et la description du dessableur et desilter. Au chapitre 2, une description et la théorie de fonctionnement du desilter. Dans le chapitre 3, nous présentons l'état de l'art (étude bibliographique). Le chapitre 4 est consacré à la modélisation numérique du desilter réalisée à l'aide du logiciel ANSYS. Dans le chapitre 5 nous présentons l'analyse et discussions des résultats obtenus. Une conclusion générale des travaux est présentée, en fin du mémoire, qui reprend les principaux résultats obtenus.

## 1.1. Introduction[a1]

Les défis rencontrés dans les opérations de forage souterrain soulignent l'importance de la performance des fluides de forage pour garantir le succès de ces opérations. Ces fluides, circulant ou pompés depuis la surface à travers le train de tiges, le trépan et revenant à la surface via l'espace annulaire dans un circuit fermé. À la surface, on trouve le système de nettoyage de la boue, les déblais sont éliminés au moyen des tamis vibrants, de dessableur, et de desilter.

## 1.2. Système circulation de la boue

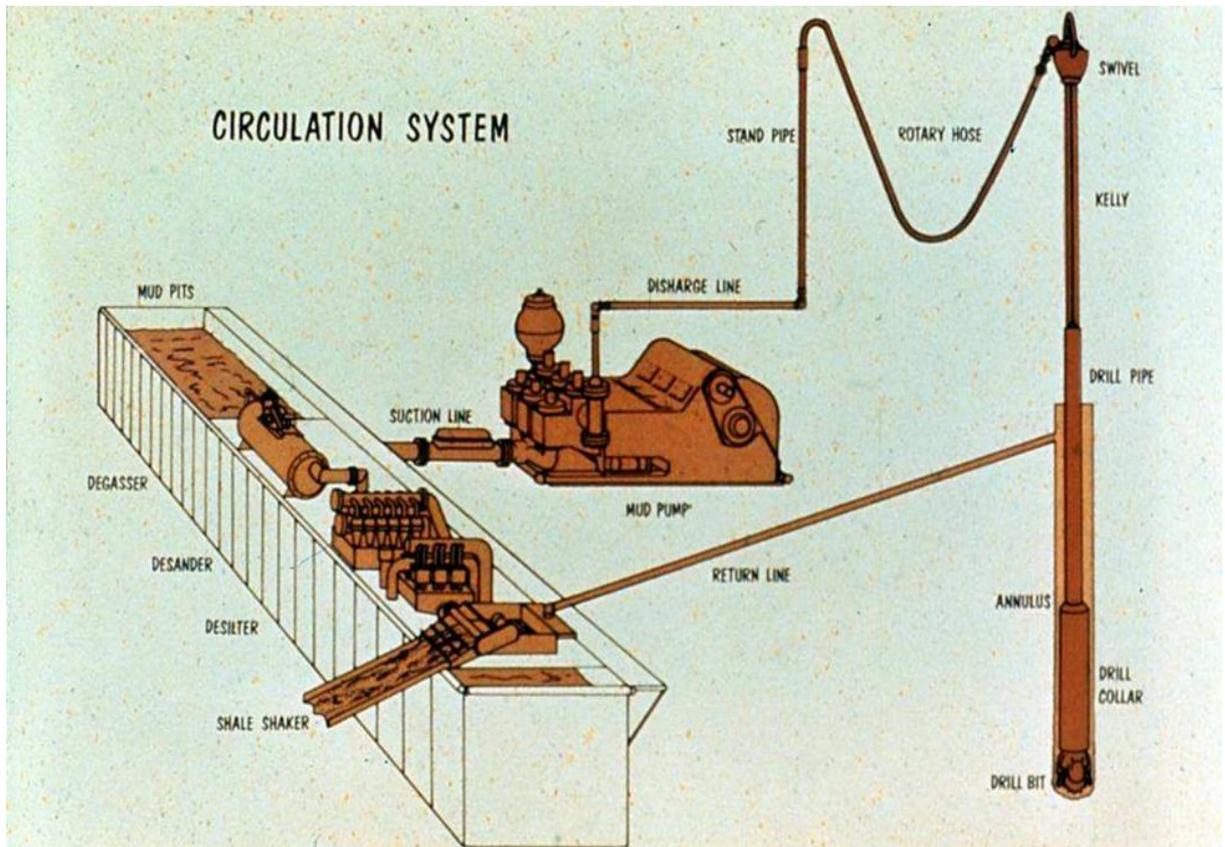


Figure 1.1 : Système de circulation de l'appareil de forage. [2]

Le circuit de boue est un système essentiel dans le forage pétrolier, responsable de la circulation et du contrôle du fluide de forage. Il se divise principalement en deux parties :

### 1.2.1. Circuit Haute Pression

Permet l'acheminement de la boue de forage depuis le refoulement de la pompe jusqu'à la tête d'injection, il est important pour maintenir la pression adéquate au fond du puits, essentiel pour contrôler les venues et assurer la sécurité des opérations de forage. [2]

## 1.2.1.1. La ligne d'aspiration

La ligne d'aspiration relie les réservoirs de boue à la pompe de suralimentation. Il y a généralement une crépine entre les réservoirs de boue et les pompes de suralimentation pour éviter que de grosses particules ne pénètrent dans les pompes.

Pompes de suralimentation sont des pompes centrifuges qui envoient la boue dans les conduites d'aspiration des pompes. Cela doit être fait pour éviter le phénomène de cavitation dans les pompes à boue.



Figure 1.2 : Pompe de suralimentation de l'appareil de RIG ENF#61.

- Les pompes à boue sont des grandes pompes à piston à haute pression utilisées pour faire circuler la boue dans le système de circulation de l'appareil de de forage.

L'installation de forage du chantier RIG ENF#61 était doté de 2 pompes de type :

- **Pompes duplex** : elles ont deux cylindres à double effet.
- **Pompes triplex** : elles ont trois cylindres qui sont à simple effet.



Figure 1.3 : La pompe à boue de RIG ENF#61.

## 1.2.1.2. Ligne de refoulement

- Les conduites de refoulement acheminent la boue des pompes au manifold de plancher.
- Les pompes sont équipées des amortisseurs de pulsations, qui est un équipement essentiel pour réduire les pulsations de pression dans les systèmes de pompage, assurant un fonctionnement stable et régulier des pompes.
- Les flexibles de refoulements en acier et en caoutchouc qui se trouvent entre les tuyauteries rigides en acier. Ils permettent un désalignement mineur et l'élimination de l'entrée ou du "choc" du système.
- Le manifold est un système de vannes et de tuyauteries permettant de contrôler la boue provenant des pompes et arrivant sur la plate-forme. Cette boue peut être distribuée au tube de support, à la ligne d'obturation du BOP ou simplement retournée au système de boue.
- La colonne montante (stand pipe) représente la conduite fixée à la structure du derrick. Elle est surmontée d'un col de cygne (goose neck) ; elle permet la liaison entre le manifold de plancher et le flexible d'injection.
- Le flexible d'injection (Rotary ou Kelly hoses) il est fabriqué du même matériau que les tuyaux de vibreur. Il est fixé d'un côté au col de cygne de la colonne montante (stand pipe) et de l'autre côté au col de cygne du renvoi tournant (swivel) ou du top drive. Il permet le mouvement vertical de la colonne de forage.
- Le col de cygne (goose neck) permet le raccordement du flexible d'injection à la tête d'injection. L'angle que fait l'axe du col de cygne avec la verticale est de 15°.
- Le raccordement des diverses pièces d'une canalisation fixe se fait soit par soudure, soit au moyen de manchons vissés, soit par des brides assemblées par boulons et écrous, soit par des raccords-union.

## 1.2.2. Circuit Basse Pression

Le circuit de basse pression est une partie essentielle du système de circulation de la boue de forage. Il s'agit d'un réseau qui relie la sortie du puits jusqu'à l'aspiration de la boue, en passant par des équipements tels que des pompes à boue, des équipements de nettoyage de la boue, des régulateurs de pression et des valves de séquence.

### 1.2.2.1. La circulation inverse

La circulation inverse de la boue dans un système de forage est un processus spécifique où le fluide de forage est injecté dans l'espace annulaire autour des tiges de forage, et les déblais de forage remontent à travers les tiges de gros diamètres. Ce système permet de faire remonter les débris de forage à l'intérieur du train de tiges en utilisant le fluide de forage pour faciliter le processus de forage.

### 1.2.2.2. Traitement mécanique

C'est la méthode d'élimination physique des solides à l'aide de shale shakers, de dessableurs, de desilter, mud cleaner et de centrifugeuses. Chaque équipement a généralement une capacité limitée d'élimination des particules

Chaque équipement de nettoyage de la boue est efficace dans une certaine gamme de taille de particules. Les tamis vibrants séparent les déblais de gros diamètres (petits morceaux de

roche) ; les autres dispositifs qui utilisent la force centrifuge pour la séparation séparent les particules en fonction de leur masse. [3]

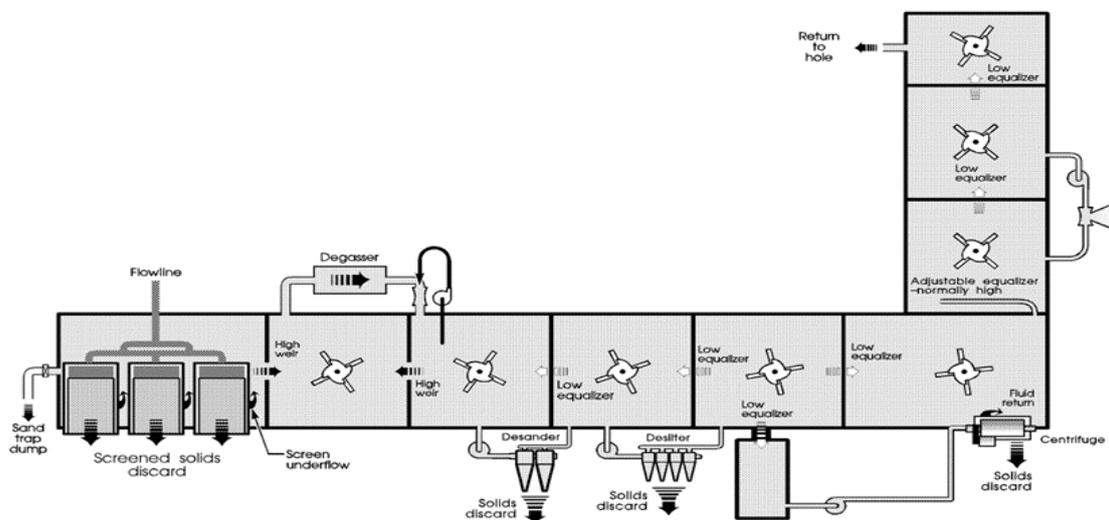


Figure 1.4 : Système de circulation de boue.

## Le tamis vibrant

Le premier dispositif de nettoyage, recevant la boue à sa sortie du trou de forage et probablement le plus important sur l'appareil destiné à réaliser une première filtration de la boue. Le tamis est en toile métallique. Sa fonction de nettoyage est assurée par la vibration. Sa vibration. La phase liquide de la boue et les particules solides plus petites que le treillis métallique passe à travers le tamis, tandis que les déblais plus gros sont retenus sur le tamis et finissent par être rejetés dans le borbier.

L'arbre à excentrique fait vibrer le tamis à une fréquence réglable entre 1200 et 2500 vibrations par minute. L'angle d'inclinaison du tamis peut également être ajusté de 10 à 20 degrés pour un meilleur rendement.



Figure 1.5 : Tamis vibrant de RIG ENF#61.

**Dégazeur de boue** c'est un dispositif qui élimine le gaz de la boue sortant d'un puits. Il est important que le gaz présent dans la boue soit détecté et éliminé le plus rapidement possible, car il peut être dangereux pour les personnes (sulfure d'hydrogène) et causer des problèmes d'équipement.

**Vaccum degasser** c'est la forme la plus courante de dégazeur. Il peut être constitué d'un cylindre horizontal ou vertical. Le fluide de forage est aspiré dans le réservoir par l'action du vide. La principale force du vide pour remplir le réservoir est créée par le jet qui évacue le fluide de forage ou, dans certains cas, par la pompe qui évacue le fluide de forage. Le niveau de liquide dans le réservoir est contrôlé par un flotteur qui ouvre ou ferme une vanne casse-vidé. La séparation du gaz et du liquide commence lorsque le fluide de forage est aspiré. Lorsque le liquide pénètre dans le réservoir, il est réparti sur une plaque ou une série de plaques où il s'écoule sous la forme d'un film mince. Au fur et à mesure que les bulles entraînées augmentent en taille, remontent à la surface et se brisent, le refoulement de la pompe à vide pompe le gaz libéré vers une conduite d'évacuation.



Figure 1.6 : Dégazeur de boue de RIG ENF#61.

**Les dessableurs** sont des hydrocyclones d'un diamètre supérieur à 5" . En règle générale, plus le cône est petit, plus les particules qu'il sépare sont petites. Les dessableurs sont principalement utilisés pour éliminer les volumes élevés de solides associés au forage extrêmement rapide d'un trou de grand diamètre, en particulier lorsqu'un tamis vibrant fin n'est pas disponible, les dessableurs sont installés en aval du shale shaker et du dégazeur.



Figure 1.7 : Dessableur de marque derrick de RIG ENF#61.

Le dessableur élimine les particules de taille sableuse et les solides de forage plus importants qui ont traversé le tamis du shaker et les rejette avec un peu de liquide. Le fluide de forage partiellement propre est déchargé dans le compartiment suivant en aval.

### **Mud cleaner**

Le mud cleaner est composé d'une combinaison d'hydrocyclones montés au-dessus de tamis vibrant à mailles fines. Sur les gros appareils de forage, plusieurs tamis vibrants sont souvent disponibles pour traiter le fluide de forage. Lorsque le puits devient plus profond et que la densité de la boue augmente, l'un des tamis n'est plus nécessaire pour traiter tout le fluide provenant du puits. Un ensemble de desilters peut alors être monté sur ce tamis et utilisé comme mud cleaner.



Figure 1.8 : Mud cleaner de la marque Derrick.

**Le desilter** utilise des hydrocyclones plus petits qu'un dessableur et, par conséquent, élimine généralement des particules plus petites. Les cônes plus petits permettent au desilters d'effectuer la séparation granulométrique la plus fine de tous les équipements de contrôle des solides à écoulement total en éliminant les solides de 15 micron et plus. Il s'agit donc d'un dispositif important pour réduire la taille moyenne des particules et éliminer les grains abrasifs des fluides de forage non pondérés.

Les cyclones des unités de désilage fonctionnent selon le même principe que les cyclones utilisés comme dessableurs. Ils effectuent simplement une coupe plus fine et les capacités de débit de chaque cône sont inférieures à celles des cônes de dessablage. Plusieurs cônes sont généralement regroupés dans une seule unité de désilage pour répondre aux exigences de débit. L'installation des desilters se fait normalement en aval du shale shaker, du dégazeur et du dessableur.



Figure 1.9: Desilter de mud cleaner RIG ENF#61 la marque derrick.

### Les centrifugeuses

Les équipements couramment utilisés pour la centrifugation des boues de forage sont des centrifugeuses à bol horizontal cylindro-conique avec une vis convoyeuse qui entraîne les solides centrifugés vers l'extrémité conique, basé sur le principe de la gravité accélérée. Le degré de force générée est fonction de la vitesse de rotation de l'objet et de la distance de l'objet par rapport au point central. Utilisé pour contrôler les solides fins qui contribueraient à une densité ou une rhéologie indésirable de la boue.

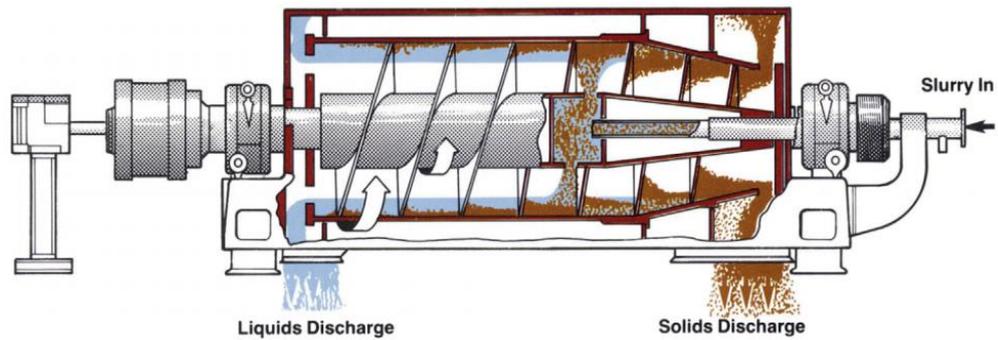


Figure 1.10 : Centrifugeuse.

### 1.3. Conclusion

En conclusion, ce premier chapitre met en lumière l'importance des équipements de l'installation de forage dans les opérations de forage. Des composants tels que les desilters qui jouent un rôle essentiel dans le maintien de la qualité et de la performance des boues de forage, avec leur capacité à éliminer les particules de taille de sable et à ajuster leurs paramètres selon les besoins. Dans le prochain chapitre, nous plongerons en détail dans l'analyse des desilters. Une compréhension approfondie de leur fonctionnement est indispensable pour entamer notre étude sur l'amélioration des performances.

### 2.1. Introduction

Le desilter, un élément essentiel des circuits de boue de forage, joue un rôle crucial dans la séparation efficace des solides indésirables de la boue. Comprendre en profondeur le fonctionnement de cet équipement est essentiel pour les ingénieurs et les opérateurs afin d'optimiser les performances du système de gestion des boues. Dans ce chapitre, nous plongerons dans la théorie de fonctionnement du desilter, en explorant les paramètres qui influencent son efficacité tels que la force centrifuge.

### 2.2. Hydrocyclonage

Les hydrocyclones sont essentiellement des dispositifs simples qui convertissent la pression générée par une pompe centrifuge en force centrifuge, ce qui permet de séparer les solides en suspension dans la boue. Cette séparation est en fait une décantation accélérée due à l'augmentation de la force gravitationnelle provoquée par l'action centrifuge à l'intérieur du cône. L'action à l'intérieur de l'hydrocyclone peut multiplier la force gravitationnelle jusqu'à 200 fois. Dans les opérations de forage, les hydrocyclones utilisent ces forces centrifuges pour séparer les solides de 15 à 80 microns du fluide de forage. Ce fluide chargé de solides est évacué par le sommet inférieur du cône, et le fluide de forage nettoyé est évacué par le trop-plein. [4]



Figure 2.1 : Photo réel d'un hydrocyclone de marque derrick.

#### 2.2.1. Description d'hydrocyclone

Les hydrocyclones ont une forme cono-cylindrique, avec une entrée d'alimentation tangentielle dans la section cylindrique et une sortie à chaque axe. La sortie de la section cylindrique est appelée le déflecteur tourbillonnaire et s'étend dans le cyclone pour réduire l'écoulement de court-circuit directement depuis l'entrée. À l'extrémité conique se trouve la deuxième sortie et le déversoir. Pour la séparation par taille, les deux sorties sont généralement ouvertes à l'atmosphère. Les hydrocyclones sont généralement utilisés à la verticale avec le

déversoir à l'extrémité inférieure, d'où le fait que le produit grossier est appelé la sousverse (underflow) et le produit fin, quittant le déflecteur tourbillonnaire, la surverse (overflow). La figure 2.2 montre de manière schématique les principales caractéristiques d'écoulement et de conception d'un hydrocyclone typique : les deux tourbillons, l'entrée d'alimentation tangentielle, l'entrée axiale et les sorties axiales. À l'exception de la région immédiate de l'entrée tangentielle, le mouvement du fluide à l'intérieur du cyclone a une symétrie radiale. Si une ou les deux sorties sont ouvertes à l'atmosphère, une zone de basse pression provoque un noyau gazeux le long de l'axe vertical, à l'intérieur du tourbillon intérieur. [5]

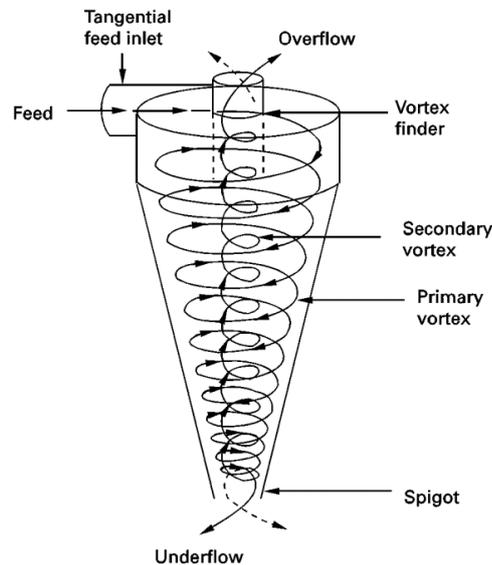


Figure 2.2 : Schéma de fonctionnement de l'hydrocyclone. [5]

### 2.2.2. La théorie de fonctionnement

Le fluide provenant d'une pompe centrifuge pénètre dans l'hydrocyclone tangentielle, à grande vitesse, par une buse d'alimentation située sur le côté du cylindre supérieur. Lorsque le fluide de forage pénètre dans l'hydrocyclone, la force centrifuge exercée sur la boue tourbillonnante accélère les solides jusqu'à la paroi du cône. Le fluide de forage, un mélange de liquide et de solides, tourne rapidement tout en descendant en spirale vers le sommet. Les solides de plus grande masse se déplacent vers la paroi du cône. Le mouvement progresse jusqu'à l'ouverture de l'apex au fond du cône. Au niveau de l'ouverture du sommet, les solides le long de la paroi du cône, ainsi qu'une petite quantité de liquide, sortent du cône. La décharge est limitée par la taille de l'apex. Le fluide et les particules de plus petite masse, qui ont été concentrés loin de la paroi du cône, sortent du cône.

De la paroi du cône, les particules sont forcées à inverser leur direction d'écoulement pour suivre un chemin spiralé ascendant au centre du cône afin de sortir par le déflecteur tourbillonnaire.

Le déflecteur tourbillonnaire (The vortex finder) est un tube creux qui s'étend au centre du cône. Il détourne le fluide de forage pour l'empêcher de s'écouler directement vers la sortie de trop-plein, forçant ainsi le fluide à s'écouler vers le bas et dans le cône.

Le liquide tourbillonnant est forcé vers l'intérieur et, tout en continuant à tourner dans la même direction, inverse l'écoulement descendant et se déplace vers le haut en direction du centre du déflecteur tourbillonnaire (The vortex finder). Dans un cône équilibré, le cylindre intérieur de liquide tourbillonnant entoure un cylindre d'air qui est aspiré à travers l'apex du cône. Les solides et une petite quantité de liquide sont évacués par l'ouverture inférieure de l'apex. L'ouverture de l'apex par rapport au diamètre du déflecteur tourbillonnaire déterminera la siccité des solides évacués

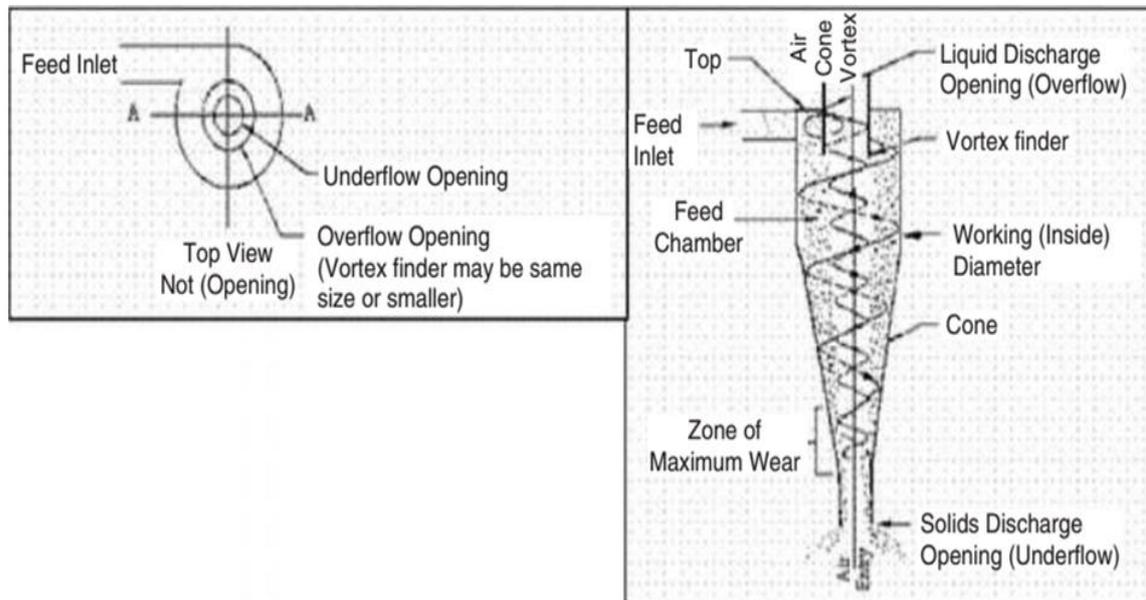


Figure 2.3 : Illustration de l'écoulement de l'hydrocyclone. [4]

### 2.2.3. Influence de certains paramètres sur les performances

#### Le diamètre de l'hydrocyclone

Le diamètre de l'hydrocyclone est la principale variable de conception et affecte à la fois la capacité et la taille de la coupe. La large plage de fonctionnement disponible pour n'importe quel diamètre d'hydrocyclone est réduite en modifiant les dimensions d'entrée et de sortie. Il n'est généralement pas possible de sélectionner indépendamment toutes les variables de conception ; cependant, il existe des plages raisonnables en relation avec le diamètre de l'hydrocyclone,  $D_c$ . La figure 2.4 montre la taille approximative des particules solides (la coupe) et la plage de débit qui peuvent être obtenues en utilisant des cyclones de différents diamètres. L'angle du cône pour la classification des hydrocyclones est de 15-30°, avec des angles plus petits pour les tailles de coupe plus fines et des angles plus grands pour les tailles de coupe plus grossières, respectivement. La hauteur du tourbillon libre est la distance entre le fond du détecteur de tourbillon et l'embout. L'augmentation de la hauteur de l'hydrocyclone améliore à la fois la capacité et l'efficacité de la séparation, et varie généralement entre 3 et 8  $D_c$ .

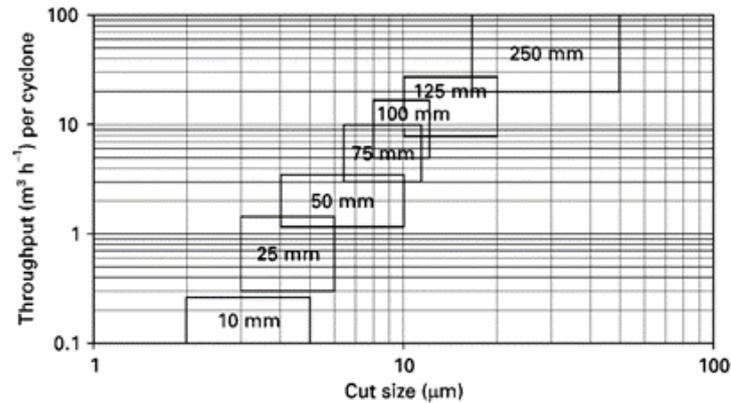


Figure 2.4 : Taille de coupe et débit pour différents diamètres de cyclone.

### Diamètres du détecteur de tourbillon et de l'embout

La taille des ouvertures du cyclone (spigot and vortex finder) affecte considérablement le point de coupure. Les raisons sont complexes mais peuvent être simplifiées en disant que l'augmentation de la taille de l'une ou l'autre des ouvertures permettra à une plus grande partie du matériau d'alimentation de sortir par cette ouverture. Par conséquent, à une pression de fonctionnement donnée, une augmentation du diamètre de la tête de vortex se traduira par un point de coupe plus grossier, car une plus grande quantité de matériau d'alimentation s'écoulera vers le trop-plein. Il est donc important de contrôler régulièrement les diamètres des têtes de vortex et de les remplacer en cas d'usure excessive. De même, un diamètre d'embout trop grand permettra à plus de fines et à l'excès d'eau d'atteindre la sousverse.

### La viscosité

La viscosité de la boue de forage est un facteur déterminant dans le fonctionnement du desilter. Une boue de forage plus visqueuse peut faciliter la rétention des particules solides, mais elle peut également entraîner une augmentation de la perte de charge et une réduction du débit de la boue de forage.

### Débit

Le débit est un paramètre clé pour la performance du desilter, car il détermine la quantité de boue de forage qui traverse le desilter. Un débit trop élevé peut entraîner une perte de charge excessive et réduire l'efficacité du desilter, tandis qu'un débit trop faible peut réduire la capacité du desilter à éliminer les particules solides.

### La force centrifuge

La force nécessaire aux processus de séparation des phases peut être la force de gravité ou la force centrifuge. Lorsqu'un mélange solide-liquide au repos est soumis à l'accélération de la pesanteur, les particules plus denses que le fluide se déposent. Ainsi, en fonction de la taille et de la densité des particules, la gravité entraîne la chute contrôlée des inclusions, influencée par la force d'Archimède et la viscosité du fluide. La méthode de séparation gravitaire, par décantation, n'est pas universellement efficace. La séparation centrifuge permet d'augmenter significativement la vitesse de sédimentation. Cette opération de séparation repose sur

l'utilisation de la force centrifuge, dépendant de la masse des particules. Cette force d'inertie se manifeste lorsque des objets effectuent un mouvement de rotation autour d'un axe.

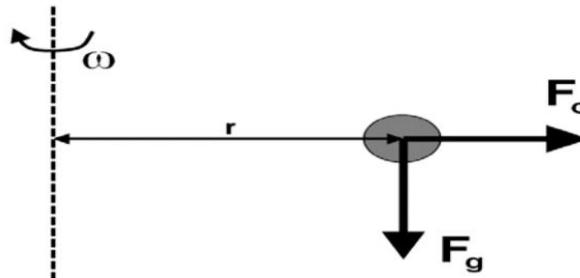


Figure 2.5: Gravité et force centrifuge.

Ainsi, en comparant le poids d'une particule de masse  $m_p = \rho_p \frac{\pi d_p^3}{6}$  à la force centrifuge appliquée pour une vitesse de rotation donnée  $\omega$  :

$$F_g = m_p g \quad (2.1)$$

$$F_c = m_p \omega^2 r \quad (2.2)$$

Avec

$F_g$  = Force de gravité.

$F_c$  = Force centrifuge.

$m_p$  = Masse de la particule.

$\rho_p$  = Masse volumique de la particule.

$\rho_l$  = Masse volumique de fluide.

$d_p$  = Diamètre de la particule.

$g$  = Gravité.

$\omega$  = Vitesse de rotation de la particule

$r$  = Distance du centre de rotation au centre de gravité de la particule

$V_g$  = Vitesse terminale de Stokes.

$V_c$  = Vitesse de coupure.

$\mu_l$  = Viscosité dynamique de fluide.

On obtient ainsi les vitesses caractéristiques suivantes :

$$V_g = \frac{g(\rho_p - \rho_l)d_p^2}{18\mu_l} \quad (2.3)$$

$$V_c = \frac{\omega^2(\rho_p - \rho_l)d_p^2}{18\mu_l} \quad (2.4)$$

Sous l'hypothèse que la force de trainée est régie par la loi de Stokes :

$$\rho_l \frac{V_g d_p}{\mu_l} \ll 1 \quad (2.5)$$

Au final, on obtient :

$$V_c = \frac{w^2 r}{g} V_g \quad (2.6)$$

On appelle le rapport  $\frac{w^2 r}{g}$  le coefficient de centrifugation qui est directement le

« Nombre de G » subit par la particule.

### La pression d'alimentation

La pression à laquelle les cyclones fonctionnent est un paramètre important car elle affecte le point de coupe. La pression est due au fait que les ouvertures des cyclones (spigot et vortex finder) limitent le flux de boue dans le système. Ceci est analogue à la fermeture partielle d'une vanne et, par conséquent, l'ouverture et la fermeture des cyclones auront un effet sur la pression des cyclones. De même, l'augmentation du débit de boue vers un nombre fixe de cyclones (par exemple en ajoutant plus d'eau dans la trémie de décharge ou en accélérant la pompe d'alimentation des cyclones) modifiera également la pression. En effet, la force centrifuge exercée sur les particules est accrue, ce qui pousse davantage de particules fines vers la paroi du cyclone et, par conséquent, vers le sous-écoulement. Toutefois, une augmentation trop importante de la pression peut dépasser la capacité de fonctionnement des cyclones et entraîner l'évacuation des grosses particules vers le trop-plein. Il est important de maintenir la pression de fonctionnement en conservant un niveau adéquat dans la trémie d'alimentation du cyclone. Si le niveau de la trémie baisse trop, la pompe d'alimentation du cyclone va caviter et la pression va chuter. Pendant cette transition, les solides grossiers s'écoulent vers le trop-plein. Si la pression baisse trop, la majeure partie de la boue à l'intérieur du cyclone se dirige vers la partie inférieure. La pression de fonctionnement doit être réduite au minimum tout en maintenant la séparation requise. La pression de fonctionnement la plus basse possible minimisera l'énergie consommée par la pompe d'alimentation du cyclone et réduira également l'usure de la pompe et du cyclone.

### 2.2.4. Distributions de la vitesse du liquide

La vitesse du fluide dans le cyclone a des composantes tangentielle, axiale et radiale. La vitesse axiale est négative (vers le bas) près des parois du cône et positive (vers le haut) près du noyau d'air, et augmente en direction de l'embouchure (spigot). Il en résulte un lieu de vitesse verticale nulle entre les deux tourbillons, qui suit approximativement le profil du cyclone. La rotation toroïdale dans le flux d'entrée et l'interaction entre les tourbillons se traduisent par de multiples inversions de flux.

La vitesse tangentielle augmente vers l'axe, atteignant un maximum près du noyau d'air, puis diminue dans une région de tourbillons forcés. C'est la composante tangentielle de la vitesse qui génère la force centrifuge, qui sépare les particules les plus grossières des plus fines.

La vitesse radiale, qui est inférieure de deux ordres de grandeur à la vitesse axiale ou tangentielle, est dirigée vers le centre du cyclone et augmente vers l'apex.

### 2.2.5. Capacité des hydrocyclones

Les hydrocyclones sont connus pour leur capacité à traiter des débits volumiques élevés et à séparer des particules de tailles très fines.

Type	Diamètre du Cône en pouce	Débit maximum admissible par cône
<b>Desilter</b>	2"	60 à 100 l/min.
	4"	180 à 340 l/min.
<b>Dessableur</b>	6"	380 à 400 l/min.
	8"	570 à 600 l/min.
	10"	1 800 à 2000 l/min.
	12"	1 800 à 2000 l/min.

Tableau 2.1: Capacité des hydrocyclones.

### 2.2.6. La décharge à la sousverse (spigot)

La plupart des hydrocyclones sont conçus de manière équilibrée pour garantir un fonctionnement optimal. Un cyclone équilibré doit fonctionner avec une décharge par pulvérisation. Dans ce processus, les solides les plus grossiers se séparent vers l'extérieur dans la spirale descendante et passent sur la lèvre de l'apex sous la forme d'un anneau annulaire. L'apex est en fait un déversoir ou un barrage, et non un étranglement ou une vanne.

Le flux de retour rapide près du centre du cône crée une colonne de basse pression qui aspire l'air par le centre de l'ouverture de l'apex. Pour équilibrer le cône, ouvrez progressivement l'orifice d'évacuation de l'apex jusqu'à ce que peu d'eau soit évacuée et que le noyau d'air central ait presque le même diamètre que l'ouverture.

Avec la décharge en parapluie, le dispositif élimine la quantité maximale de solides, et le rejet de la boue entière est minimisé. Le jet en forme de parapluie indique qu'une charge uniforme de solides est présentée au cône et qu'une séparation correcte se produit. La forme de la décharge de l'apex donne une bonne indication du fonctionnement du cône. La décharge doit avoir un centre creux et se présenter sous la forme d'un cône de pulvérisation

Plusieurs conditions limitent la séparation et la sortie des solides qui ont spiralé le long de la paroi du cône. Il s'agit notamment de :

- Concentration excessive de solides
- Débit d'alimentation volumétrique excessif par cône (dépassement du point d'équilibre sur un cône équilibré)
- Viscosité excessive du fluide Centre de rotation
- Vide excessif (causé par une longue jambe de siphon)

- Apex restreint (trop petit)
- Pression d'alimentation inadéquate.

L'évacuation par câble est un processus dans lequel le matériau s'écoule de l'apex du cône sous la forme d'un cylindre (ou d'un câble) se déplaçant lentement. Un hydrocyclone fonctionnant de la sorte effectue une séparation solide/liquide inefficace. La vitesse de l'apex dans le cas d'une décharge par câble est bien moindre que dans le cas d'une décharge par pulvérisation ; par conséquent, la séparation est moins efficace car moins de solides sont rejetés.

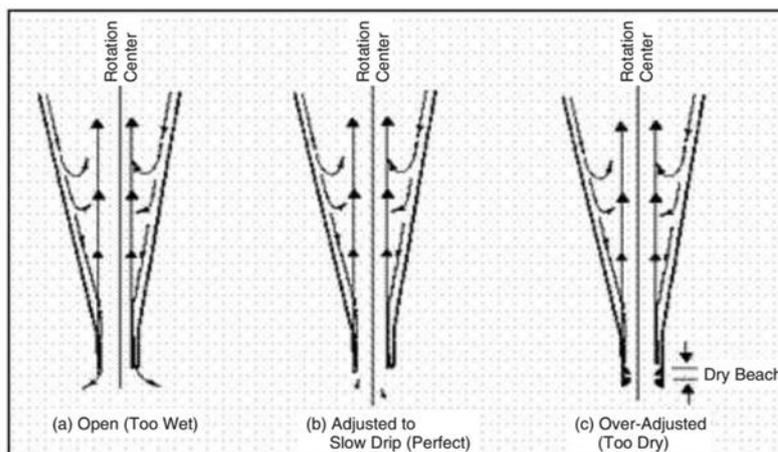


Figure 2.6 : Décharges en parapluie en boudin à la sousverse.

### 2.3. Eliminations des particules

Les facteurs importants des solides qui affectent les performances de la boue sont le type, la taille et la forme. Ces caractéristiques dépendent de la source des solides, qu'ils proviennent de schistes forés, de roches dures, de matériaux ajoutés tels que la barytine et la bentonite, ou de précipitants chimiques. Dans une boue, les solides peuvent être quantifiés par leur concentration (pourcentage de volume ou livres par baril) et décrits en fonction de leur distribution de taille et de forme, ainsi que de leur type.

#### 2.3.1. Types de solides

Les solides de forage sont généralement classés comme actifs ou inertes. Ces termes font référence à la manière dont les solides interagissent avec l'eau et les ions présents dans l'eau. Une autre classification se fait en fonction de la densité - haute gravité ou basse gravité.

**Solides actifs** solides de type argileux ayant une activité et une surface élevées. Étant électro chimiquement actifs, les solides argileux sont fortement attirés les uns par les autres ainsi que par les ions et les polymères présents dans la boue.

**Solides inertes** sont ceux qui n'ont pas de surfaces chargées de manière significative et qui n'interagissent pas de manière électrochimique. Ils encombrant le système et, ce faisant, rapprochent les solides actifs les uns des autres, ce qui entraîne des problèmes de viscosité. Les solides inertes à forte gravité, tels que la barytine, sont nécessaires dans une boue ; cependant, les solides inertes à faible gravité ne sont généralement pas souhaités.

**Solides à haute gravité** utilisés comme matériaux de pondération (généralement la barytine à 4,20 g/cm<sup>3</sup>) et généralement considérés comme des solides inertes.

**Solides à faible gravité** comprennent divers types de solides de forage et d'argiles commerciales et peuvent être inertes ou actifs. La bentonite est la plus active, bien que certains solides de forage puissent également être actifs. Les solides de forage tels que le calcaire et la dolomie sont inertes. Leur densité est comprise entre 2,7 et 2,9 g/cm<sup>3</sup>. Les cristaux de sel dans les boues salines saturées sont inertes et ont une densité d'environ 2,1 g/cm<sup>3</sup>. Les schistes peuvent être actifs ou inertes et ont une densité comprise entre 2,4 et 2,8 g/cm<sup>3</sup>, en fonction de leur teneur en eau.

### 2.3.2. Classification des tailles de particules

Il est important de comprendre comment la taille des particules dans la boue de forage est classée et les types de solides qui entrent dans chaque catégorie. Les particules présentes dans la boue de forage peuvent aller de très petites argiles (moins de 1/25 400ème de pouce) à de très pouce). En raison des particules extrêmement petites, les tailles sont exprimées en microns. Un micron équivaut à un millionième de mètre (1/1 000 000 ou  $1 \times 10^{-6}$ m). Ainsi, 1 pouce (25,4 mm) équivaut à 25 400 microns.

Les solides des fluides de forage sont classés selon leur taille dans les catégories suivantes :

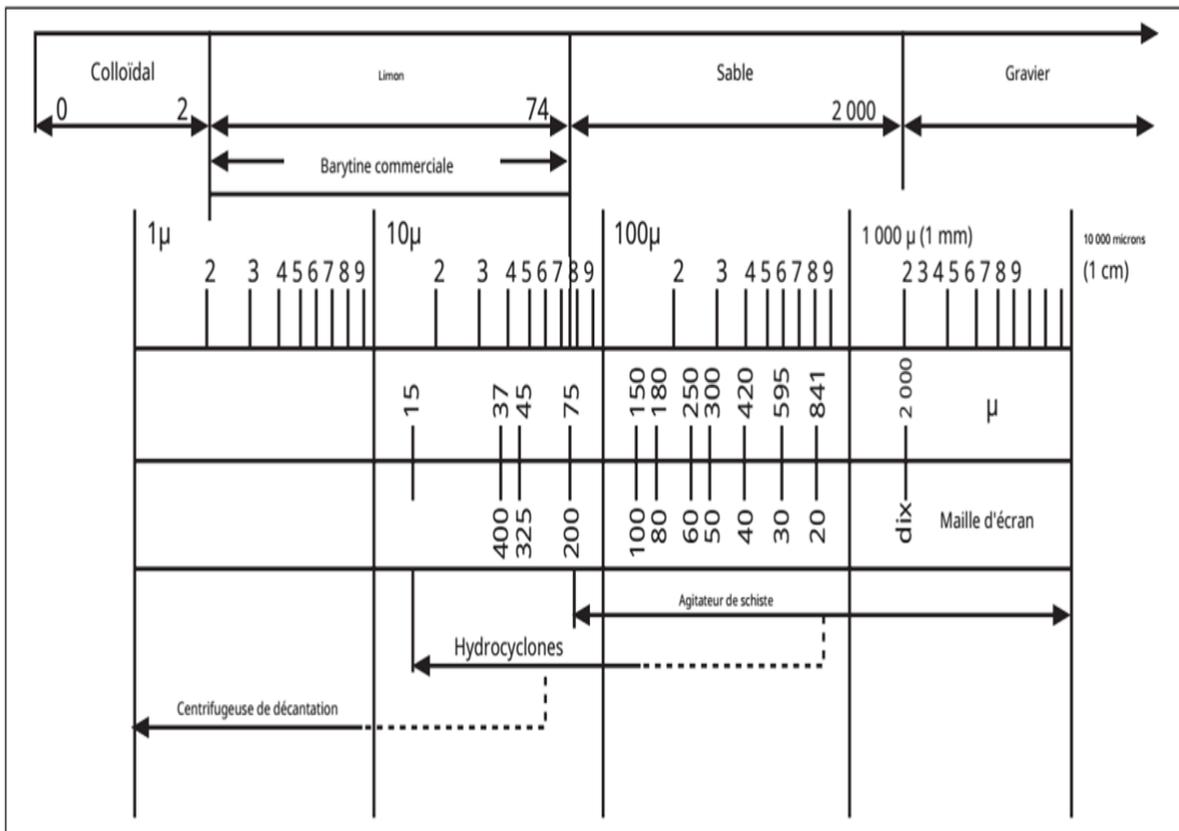


Figure 2.7 : Classification des tailles de particules.

Catégorie	Taille	Exemple
Colloïdal	2 $\mu$ ou moins	Bentonite, argiles et solides de forage ultra-fins.
Limon	2 – 74 $\mu$ ( $<$ 200 mailles)	Barytine, limon et solides fins de forage.
Sable	74 – 2 000 microns (200 – 10 mailles)	Sabler et percer des solides.
Gravier	Plus grand que 2 000 $\mu$ ( $>$ 10 mailles)	Forer des solides, du gravier et des galets.

Tableau 2.2 : Classification des solides par taille.

### 1.1.2.1. Forme des solides

Une distribution de formes et de tailles de particules est nécessaire pour former un bon gâteau de filtration. Il est difficile de savoir quelles formes et tailles sont nécessaires dans chaque situation ou quelle distribution de taille et quelles formes de particules existent réellement dans une boue. Des tests et des analyses tels que le test de perméabilité au colmatage, le test de filtration statique HTHP, les mesures de la taille des particules et les études au microscope peuvent aider à définir la taille et la forme des particules. On sait que certaines particules doivent être déformables et plates, comme la bentonite, pour constituer un gâteau de filtration peu perméable.

### 2.3.3. Mouvement des particules

Les particules entrant dans le cyclone se déplacent radialement, en fonction de leur masse, soit vers l'extérieur en raison du mouvement tangential du liquide, soit vers l'intérieur en raison du mouvement radial du liquide. Dans les directions radiale et axiale, le mouvement des particules est supposé être égal au mouvement du fluide.

La mesure directe du mouvement des particules et des concentrations de solides à certains endroits de l'hydrocyclone peut être effectuée à l'aide de l'anémométrie à effet Doppler.

## 2.4. Conclusion

La théorie de fonctionnement du dessableur est essentielle pour comprendre en profondeur le processus de séparation des particules solides dans les fluides de forage. Ce chapitre a permis d'explorer les principes physiques qui régissent le fonctionnement des dessableurs, mettant en lumière le rôle clé joué par la force centrifuge, la vitesse d'entrée de la boue de forage et la géométrie de construction. Ces paramètres influent directement sur l'efficacité de la séparation et sont donc essentiels pour optimiser le fonctionnement du dessableur. Le prochain chapitre sera consacré à la présentation des travaux de recherche scientifique liés au sujet de l'étude.

### Etude bibliographique

Dans le domaine du forage, la performance des équipements de traitement des fluides de forage a une importance cruciale dans le processus d'extraction du pétrole, et le dessableur occupe une place centrale en garantissant une séparation efficace des particules solides, telles que le sable et les débris rocheux, des fluides de forage.

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées sur l'optimisation des performances du système de nettoyage de la boue de forage des déblais, la recherche sur la performance des hydrocyclones de boue constitue un domaine dynamique et multidisciplinaire visant à améliorer l'efficacité et la performance de ces équipements en optimisant leurs paramètres de fonctionnement. Une partie significative de ces études consiste à comprendre les mécanismes de séparation des particules et à identifier les facteurs clés qui influent sur l'efficacité du processus. Des modèles mathématiques et des simulations sont souvent utilisés pour prédire le comportement des hydrocyclones dans différentes conditions de fonctionnement et pour optimiser leur conception et leurs performances. De plus, des expériences en laboratoire et sur le terrain permettent de valider ces modèles et d'identifier les meilleures pratiques opérationnelles. Les facteurs influençant la performance du desilter comprennent notamment la vitesse, la pression, la taille et la densité des particules solides, ainsi que la composition chimique du fluide de forage.

Le premier brevet sur les hydrocyclones a été déposé en 1891 par Bretney, mais leur adoption généralisée a pris près d'un demi-siècle. À partir des années 1950, des recherches approfondies ont été menées sur le fonctionnement des hydrocyclones, avec des travaux pionniers réalisés par Kelsall en 1952. Au cours des décennies suivantes, une gamme de modèles mathématiques physiquement fondés pour caractériser les profils de vitesse et les pertes de charge a été développée et partiellement résolue analytiquement. Ces modèles ont été dérivés sur la base de certaines hypothèses restrictives.

Ce chapitre a pour but de résumer quelques travaux antérieurs publiés dans ce domaine de recherche scientifique sur le sujet, synthétiser les connaissances déjà disponibles, d'identifier les tendances, les lacunes et les divergences dans la recherche, ainsi que de fournir un aperçu de l'état actuel des connaissances dans le domaine de l'amélioration des performances des dessableurs :

- Ces dernières années, certains travaux sur la modélisation détaillée et la simulation des cyclones en utilisant des méthodes de CFD modernes combinées à un modèle de turbulence adéquat pour les écoulements fortement tourbillonnants ont été réalisés uniquement pour les cyclones à gaz. Dans une étude de He et al. (1999), la simulation numérique d'un hydrocyclone est décrite en utilisant le modèle k-q corrigé avec un coefficient empirique unique dépendant du nombre de Richardson pour l'impact des lignes de courant courbes. Dans une autre étude par Dai et al. (1999), des résultats numériques pour un hydrocyclone sont présentés en utilisant le modèle de turbulence k-q dont les paramètres du modèle ont été ajustés aux données expérimentales.

- Dans leur étude intitulée "Analyzing the effect of the density of medium on efficiency of hydrocyclone separator in sorting of PVC and PET using CFD", Ratri Chowdhury et ses collaborateurs (2023) ont examiné en détail l'impact de la densité du milieu sur les performances de séparation d'un hydrocyclone utilisé pour le tri des particules de PVC et de PET. En utilisant la dynamique des fluides computationnelle (CFD), les auteurs ont développé un modèle numérique de l'hydrocyclone permettant d'étudier les principaux paramètres influencés par la densité du milieu, tels que la pression statique, la vitesse, le débit et l'efficacité de séparation. Leurs résultats ont montré que lorsque la densité du milieu augmente, la pression statique et les débits augmentent, avec une vitesse restante plus élevée près des parois. Le nombre de particules piégées varie également, affectant directement l'efficacité de séparation qui est optimale pour la plus faible valeur de CPET. Cette étude approfondie a permis de mieux comprendre les mécanismes complexes régissant le fonctionnement de l'hydrocyclone et ouvre la voie à des optimisations futures des procédés de tri utilisant ce type d'équipement. [6]

- Dans leur étude intitulée "Computational fluid dynamics and experimental investigation of inlet flow rate effects on separation performance of desanding hydrocyclone", Ling Zhou et ses collègues (2022) ont mené une recherche approfondie sur l'influence du débit d'entrée sur les performances de séparation de l'hydrocyclone de dessablage, cette étude a combiné des simulations numériques et des expérimentations pour explorer les effets du débit d'entrée sur la séparation des particules dans l'hydrocyclone. Les auteurs ont utilisé la dynamique des fluides computationnelle (CFD) pour simuler les écoulements dans l'hydrocyclone et ont également mené des expériences pour valider les résultats numériques. Ils ont examiné les effets du débit d'entrée sur les paramètres clés tels que la pression statique, la vitesse, le débit et l'efficacité de séparation. [7]

- Dans leur étude visant à analyser les " Effects of inlet concentration on the hydrocyclone separation performance with different inlet velocity", P. Liu et ses collaborateurs (2020) ont entrepris une investigation approfondie pour comprendre comment la concentration initiale des particules à l'entrée influence l'efficacité de séparation de l'hydrocyclone. Ils ont examiné cette relation dans le contexte de différentes vitesses d'entrée, cherchant à déterminer comment ces facteurs interagissent et affectent le processus de séparation, au moyen d'une simulation numérique. [8]

- Dans leur étude approfondie sur l'optimisation de la conception et des performances des séparateurs solide-liquide, M. Izadi et ses collaborateurs (2020) ont examiné de manière détaillée les différentes méthodes visant à améliorer l'efficacité de ces dispositifs. Leur

recherche a porté sur l'analyse des paramètres de conception, les techniques de modélisation avancées, ainsi que les approches expérimentales pour évaluer et optimiser les performances des séparateurs solide-liquide. La simulation a été réalisée en utilisant l'écoulement instable eulérien à deux phases et la méthode de turbulence RSM dans 25 états géométriques différents conformément à l'article de référence. En explorant ces aspects de manière approfondie, ils ont cherché à proposer des recommandations pratiques pour une conception et une exploitation optimale de ces équipements dans diverses applications industrielles. [9]

- .R. Murthy (2012) et ses collaborateurs ont entrepris des études paramétriques approfondies en utilisant la dynamique des fluides computationnelle (CFD). Leur étude a examiné en détail les variations des paramètres de conception et d'exploitation des hydrocyclones, ainsi que leurs impacts sur les performances de séparation. En explorant ces paramètres de manière exhaustive, ils ont cherché à identifier les configurations optimales et à fournir des recommandations pratiques pour améliorer l'efficacité des hydrocyclones dans divers contextes d'application. [10]

- K.U. Bhaskar 2007, intitulée "CFD simulation and experimental validation studies on hydrocyclones", constitue une avancée significative dans le domaine de la technologie des séparateurs solide-liquide. Cette recherche combine des simulations numériques avancées avec des expérimentations pratiques pour approfondir notre compréhension des performances des hydrocyclones. En évaluant l'exactitude des modèles CFD utilisés dans la conception et l'optimisation des hydrocyclones, cette étude offre des perspectives cruciales pour améliorer l'efficacité des procédés de séparation dans divers secteurs industriels, tels que l'industrie minière, pétrolière et gazière. En mettant en lumière les paramètres clés qui influent sur les performances des hydrocyclones et en fournissant des données de validation expérimentale, cette étude contribue de manière significative à l'évolution continue des technologies de séparation solide-liquide, essentielles pour l'optimisation des processus industriels. [11]

- L'étude de N. Mangadoddy (2016) intitulée "Numerical simulation of industrial hydrocyclones performance : Role of turbulence modelling" constitue une contribution essentielle à la compréhension et à l'amélioration des performances des hydrocyclones industriels. En se concentrant sur le rôle crucial de la modélisation de la turbulence, cette recherche explore les aspects complexes de la dynamique des écoulements à l'intérieur des hydrocyclones, un élément clé dans leur efficacité opérationnelle. En utilisant des simulations numériques, l'étude examine en détail comment différents modèles de turbulence influencent les prévisions des performances des hydrocyclones dans des environnements industriels réels. Les résultats de cette recherche fournissent des informations précieuses pour optimiser la conception et l'exploitation des hydrocyclones, ce qui peut conduire à des améliorations significatives dans divers secteurs industriels, notamment dans le domaine minier, pétrolier et chimique. [12]

- L'étude menée par GAO Shu-ling en 2011, intitulée "CFD numerical simulation of flow velocity characteristics of hydrocyclone", constitue une avancée significative dans la compréhension des caractéristiques de la vitesse d'écoulement des hydrocyclones. En utilisant des méthodes de simulation numérique avancées, cette recherche examine de manière

approfondie les schémas d'écoulement à l'intérieur des hydrocyclones, offrant ainsi des insights précieux sur la dynamique des fluides dans ces dispositifs de séparation. Les résultats de cette étude ont le potentiel d'optimiser la conception et les performances des hydrocyclones, avec des applications variées dans des secteurs industriels tels que le traitement des minéraux, le domaine pétrolier et gazier, ainsi que d'autres domaines nécessitant une séparation liquide-solide efficace. [13]

- L'étude conduite par Utikar, 2010 sous le titre "Hydrodynamic Simulation of Cyclone Separators", constitue une avancée remarquable dans la compréhension des séparateurs cycloniques. Axée sur la simulation hydrodynamique, cette recherche explore en profondeur les caractéristiques des flux à l'intérieur des cyclones. En utilisant des méthodes de modélisation avancées, l'étude analyse l'impact des paramètres de conception et des conditions opérationnelles sur les performances de séparation des cyclones. Les conclusions de cette étude fournissent des indications précieuses pour optimiser la conception et l'efficacité des séparateurs cycloniques, ouvrant ainsi la voie à des améliorations significatives dans divers secteurs industriels, notamment dans le traitement des fluides et des particules. [14]

Cette synthèse bibliographique souligne la profusion d'études consacrées au fonctionnement des hydrocyclones et aux phénomènes qui leur sont associés. Ces travaux démontrent la pluralité des approches adoptées pour explorer et améliorer les performances de ces équipements de séparation. Ils mettent en évidence l'ampleur des efforts déployés par la communauté scientifique pour mieux comprendre les mécanismes en jeu et pour optimiser l'efficacité des processus de séparation impliquant les hydrocyclones. Cette diversité de recherches souligne l'importance capitale d'une investigation continue dans ce domaine afin de répondre aux besoins croissants des industries concernées et d'atteindre des niveaux de performance toujours plus élevés.

### 4.1. Introduction

La mécanique des fluides numérique (CFD) est devenue une approche incontournable pour étudier les problèmes liés à la dynamique des fluides. Développée au cours des dernières décennies, cette méthode est aujourd'hui largement utilisée dans de nombreuses applications industrielles. La CFD permet de simuler facilement différents scénarios en faisant varier les paramètres et en testant différentes configurations de séparateurs. Cela offre un moyen efficace de compléter les expériences et de vérifier les résultats. Bien que la CFD se soit considérablement améliorée ces dernières années, elle ne peut pas encore remplacer complètement les essais expérimentaux. La CFD est donc un outil puissant qui, utilisé en complément des expériences, permet d'optimiser la conception des systèmes impliquant des écoulements de fluides.

Dans notre étude, nous avons réalisé une simulation de dynamique des fluides computationnelle (CFD) afin d'examiner en détail plusieurs paramètres clés. Nous avons analysé les champs de vitesse, les profils de pression et les trajectoires des particules en différentes vitesses d'alimentation : 1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s.

### 4.2. La dynamique des fluides numérique (CFD)

CFD est une branche de la mécanique des fluides. Il existe des logiciels permettant de résoudre les problèmes d'écoulement des fluides. Les équations régissant l'écoulement du fluide dans la CFD, à savoir les équations de Navier-Stokes, sont écrites sous forme de différences finies. Le programme a résolu les équations à l'aide d'un ordinateur sur une grille de points qui couvre le corps.

Les programmes de CFD sont apparus dans les années 1950, et depuis lors, ils n'ont cessé d'être continuellement développés. Cela est dû au développement du matériel et des logiciels. Pour travailler dans le domaine de la CFD, il faut avoir de solides connaissances en mécanique des fluides et en analyse numérique. Des erreurs importantes ont été commises en raison d'un manque de connaissances d'une manière ou d'une autre. Il est donc important d'acquérir une connaissance pratique de ces sujets avant d'utiliser le programme qui utilise des algorithmes et des méthodes numériques pour résoudre et analyser des problèmes impliquant des écoulements de fluides en se basant sur les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

#### Principes des codes CFD

Les logiciels de mécanique des fluides numérique sont des outils de simulation qui, basés sur la méthode des volumes finis, peuvent maintenant être considérés comme de véritables expériences numériques, lesquelles sont réalisées avec soin (Ismail zabet, 2011). Toutes les quantités physiques liées à l'écoulement (champ de vitesse, champ de pression, contraintes, température, etc.) sont immédiatement disponibles en tout point de l'écoulement, ce qui constitue un avantage principal des méthodes numériques. Cela est généralement impossible ou très difficile à obtenir en pratique.

### 4.3. Forme générale des équations fondamentales

Etant donné que notre étude consiste à simuler le phénomène de séparation des particules solides (morceaux de roches, sable, etc) de la boue de forage qui sera recyclée après sa sortie du puits de forage, nous présentons dans ce qui suit les équations gouvernantes de ce problème. Le but de la CFD est de résoudre les équations de base qui régissent les écoulements : L'équation de quantité de mouvement et l'équation de continuité. Des équations de transport sont également prises en considération lorsque le phénomène de turbulence est impliqué.

#### L'équation de continuité

L'équation instantanée de continuité traduisant le principe de conservation de masse est :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (4.1)$$

$\rho$  Représente la masse volumique,  $t$  le temps et  $\vec{u}$  le vecteur vitesse.

#### L'équation de quantité de mouvement

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \otimes \vec{u}) = -\nabla p' + \nabla \cdot (\mu (\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T) - \overline{\rho \vec{u} \otimes \vec{u}}) + B \quad (4.2)$$

D'où

$\vec{u}$  : vecteur vitesse du fluide.

$p'$  : pression modifiée .

$\mu$  : viscosité du fluide.

$\overline{\rho \vec{u} \otimes \vec{u}}$ : contraintes de Reynolds.

$B$  : force du corps.

### 4.4. Modèle de turbulence

#### 4.4.1. Modèles de turbulence à deux équations

Les modèles de turbulence à deux équations sont largement utilisés dans la modélisation CFD de nombreuses applications industrielles ; ils offrent un bon compromis entre l'effort numérique et la précision de calcul. Ils tirent leur nom du fait qu'ils résolvent à la fois la vitesse et l'échelle de longueur à partir de deux équations de transport distinctes.

Les modèles à deux équations basées sur  $k$ - $\epsilon$  et  $k$ - $\omega$  utilisent l'hypothèse du gradient de Reynolds pour relier les contraintes de Reynolds aux gradients de vitesse moyenne et à la viscosité turbulente. [1]

$$-\overline{\rho \vec{u} \otimes \vec{u}} = \mu_t (\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T) \quad (4.3)$$

La viscosité turbulente est définie comme le produit de la vitesse turbulente et de l'échelle de longueur turbulente. Dans les modèles à deux équations, l'échelle de vitesse de la turbulence est calculée à partir de l'énergie cinétique de la turbulence provenant de la solution d'une équation de transport. L'échelle de longueur de la turbulence est estimée à partir de deux propriétés du champ de turbulence, généralement l'énergie cinétique de la turbulence et son taux de dissipation. Le taux de dissipation de l'énergie cinétique de la turbulence est fourni par la solution de sa propre équation de transport.

### 4.4.2. Modèle de turbulence k-ε

Sur la base de la formulation ci-dessus, les valeurs de l'énergie cinétique de la turbulence ( $k$ ) et de la dissipation de la turbulence ( $\varepsilon$ ) sont obtenues en résolvant les équations différentielles de transport et sont données par les équations (4) et (5) [1], respectivement.

$$\nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (4.4)$$

$$\nabla \cdot (\rho U \varepsilon) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (4.5)$$

La viscosité turbulente de l'équation (3) est calculée à l'aide de la formule suivante

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.6)$$

$C_\mu$ ,  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $\sigma_k$  et  $\sigma_\varepsilon$  sont des constantes.

$P_k$  est la production de turbulence due aux forces visqueuses et de flottabilité, qui est modélisée à l'aide de :

$$P_k = \mu_t \nabla U \cdot (\nabla U + \nabla U^t) - \frac{2}{3} \nabla \cdot U (3\mu_t \nabla \cdot U + \rho k) \quad (4.7)$$

### 4.4.3. L'écoulement multiphasique

Un écoulement multiphasique à phase continue et phase discrète est caractérisé par la présence simultanée d'un fluide continu (dans notre cas d'étude, c'est la boue de forage (mud)), qui remplit l'espace de manière continue et assure le transport, et d'une phase dispersée sous forme d'éléments distincts et déformables (particules solides). Les deux phases interagissent entre elles par des échanges de quantité de mouvement, de masse et de chaleur. Dans ce mémoire, le modèle multiphasique Eulérien a été utilisé pour modéliser un écoulement multiphasique. Dans la modélisation de l'écoulement multiphasique, il est défini comme une quantité de matière dans le système qui a des propriétés physiques, par exemple une densité différente, une taille différente et une forme différente, pour la séparer des autres phases dans le système.

## 4.5. Méthodologie de Simulation Numérique

### 4.5.1. Software

Dans le cadre de ce mémoire, le logiciel Ansys 2024 R1 a été utilisé pour simuler et analyser les phénomènes de dynamique des fluides dans le dessableur. Cette version du logiciel offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes, ce qui en fait un outil puissant pour l'étude des écoulements de fluides et de la séparation des particules. Grâce à Ansys 2024 R1, nous avons pu simuler les écoulements dans le des, étudier les effets des paramètres opératoires sur la séparation des particules, et déterminer son efficacité.

### 4.5.2. Présentation du code de calcul ANSYS Fluent

ANSYS Fluent est le logiciel de dynamique des fluides (CFD) le plus puissant du marché pour aller plus vite et plus loin dans l'optimisation de la performance. ANSYS Fluent offre des fonctionnalités éprouvées de modélisation physique d'écoulement fluide, de turbulence, de transfert de chaleur et de réaction chimique, et fournit des résultats rapides et précis pour une

très large gamme d'applications CFD et multiphysiques. ANSYS permet de prédire avec confiance le succès des produits dans le monde réel. Les entreprises utilisent ANSYS pour créer des prototypes virtuels complets de produits et de systèmes complexes de mécanique, d'électronique, de composants électroniques et de logiciel mettant en jeu tous les phénomènes physiques qui existent dans la réalité. Fluent est un solveur très utilisé dans l'industrie à travers le monde. Il est souvent considéré comme une référence dans le domaine de la modélisation fluide. Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique, il dispose d'une interface de scripts pour automatiser les processus de calcul. L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides, Fluent contient également un outil de visualisation des résultats qui permet d'afficher les champs de pression, vitesse et autres autour de la paroi. Le logiciel FLUENT permet les capacités de modélisation suivantes : Ecoulements 2D ou 3D ; Ecoulement stationnaire ou instationnaire ; Ecoulements incompressibles ou compressibles ; Ecoulements non visqueux laminaires ou turbulents ; Fluide Newtonien ou non Newtonien ; Ecoulements avec changements de phases et Ecoulements en milieu poreux. Le logiciel Fluent basé sur la méthode des volumes finis comme procédé de discrétisation des équations qui gouvernent l'écoulement, telle que l'équation de continuité, de quantité de mouvement et de l'énergie. En utilisant cette technique basée sur l'intégration des équations sur un volume de contrôle, ce programme passe par les étapes suivantes :

1. La division du domaine en volumes de contrôle discrets en utilisant une grille (maillage) de calcul ;
2. L'intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels, afin de construire les équations algébriques pour les variables discrètes dépendantes, les inconnues telles que : vitesses ;
3. Linéarisation des équations discrétisées et solution du système d'équations linéaires résultant, pour tenir compte des effets turbulents. Le logiciel de calcul offre la possibilité de choisir un des modèles de turbulence.

### 4.5.3. Présentation de l'interface ANSYS WorkBench

L'interface est une plateforme unifiée qui permet aux ingénieurs d'effectuer diverses simulations et analyses, couvrant un large éventail de disciplines d'ingénierie telles que la structure, la thermique, la dynamique des fluides, l'électromagnétisme, etc. Il offre une interface conviviale qui simplifie le processus de simulation complexe et permet une collaboration et une intégration efficaces des différents outils de simulation. ANSYS Workbench intègre une technologie de résolution robuste, des capacités de post-traitement et des algorithmes d'optimisation, ce qui en fait une solution complète permettant aux ingénieurs de simuler et d'évaluer les performances de leurs conceptions

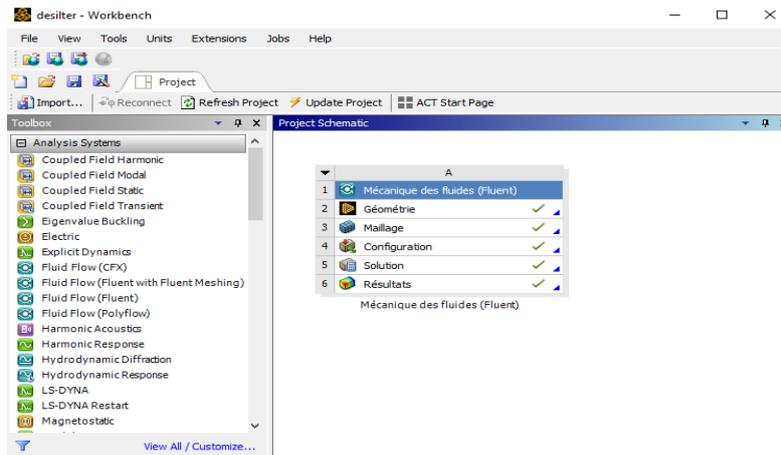


Figure 4.1 : La fenêtre principale du WorkBench

## 4.5.4. Propriété de la machine

Les résultats de simulations dépendent de la capacité de la machine. Dans notre projet, les calculs sont effectués par un ordinateur ayant les propriétés suivantes :

Processeur	Intel ® i5-8265U	
RAM	16 GO	
Processeur graphique	AMD Radeon R5 M330	
Disques dur	SSD	256 GO

Tableau 4.1: Caractéristiques d'ordinateur utilisé.

## 4.5.5. Développement d'un modèle numérique

### 4.4.5.1. La création de la géométrie du dessableur

La figure ci-dessous montre le schéma du desilter et décrit les principales parties et dimensions utilisées. Le corps principal du cyclone est constitué d'une partie cylindrique de 75 mm de diamètre et de 75 mm de hauteur, une partie conique 186 mm de hauteur, un diamètre inférieur du tronc égale à 12.5mm. Un détecteur de tourbillon (sortie de la boue propre) cylindrique d'un diamètre intérieur de 25 mm fait saillie dans le corps cylindrique principal et s'étend sur une hauteur de 50 mm à l'intérieur. Une ouverture d'alimentation (entrée de la boue non propre) cylindrique de 25 mm de diamètre intérieur est reliée tangentiellement au corps cylindrique principal.

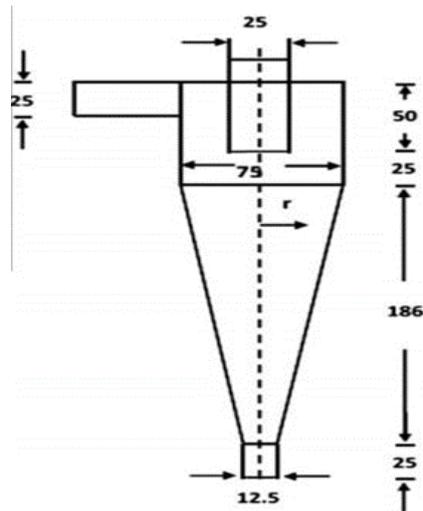


Figure 4.2 : Les dimensions de la géométrie.

L'élaboration du modèle de simulation a commencé par le dessin de la géométrie du desilter avec le logiciel ANSYS Design Modeler, en suivant les étapes suivantes :

- **Lancer ANSYS DesignModeler**

Dans le schéma du projet ANSYS Workbench, double-cliquez sur la cellule Geometry dans le système d'analyse de l'écoulement des fluides du coude. L'application ANSYS DesignModeler s'affiche. Vous pouvez également cliquer avec le bouton droit de la souris sur la cellule Geometry pour afficher le menu contextuel dans lequel vous pouvez sélectionner l'option New Geometry... (Nouvelle géométrie).

- **Définir les unités dans ANSYS DesignModeler**

Lorsque ANSYS DesignModeler apparaît pour la première fois, vous verrez une boîte de dialogue vous demandant de sélectionner le système d'unités de longueur à utiliser. Dans ce tutoriel, nous créerons la géométrie en millimètre et en degré. Pour cela, sélectionnez "Millimètre" comme unité de longueur souhaitée et cliquez sur "OK" pour fermer la fenêtre de dialogue.

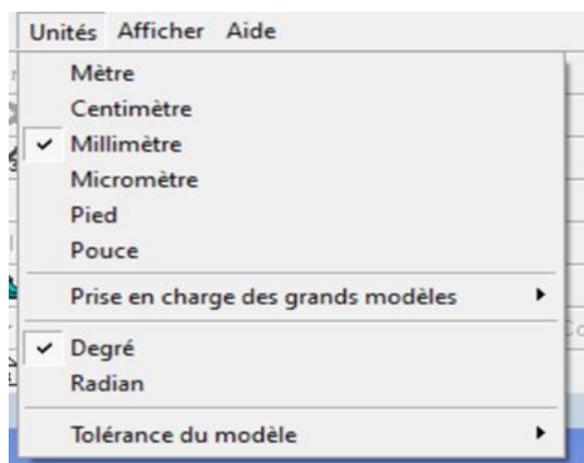


Figure 4.3 : Choix de l'unité.

- **Créer la géométrie.**

Pour dessiner la partie cylindrique, créez un nouveau plan en sélectionnant XY Plane dans le plan de l'arbre et cliquez sur New Plane dans la barre d'outils Active Plane/Sketch, près du haut de la fenêtre ANSYS Workbench. Le fait de cliquer d'abord sur XY Plane garantit que le nouveau plan est basé sur XY Plane.

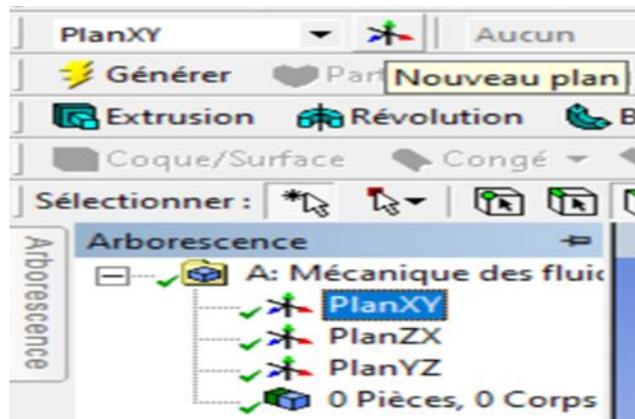


Figure 4.4 : création d'un plan XY.

Pour créer un cylindre, cliquez sur crée et sélectionnez primitives, on sélectionne cylindre et on fait entrer les paramètres choisis et l'opération ajouter un corps. Par la suite, on clique sur générer.

Détails de Cylindre1	
Cylindre	Cylindre1
Plan de base	PlanXY
Opération	Ajouter un corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	80 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	42,5 mm
Coque/Surface ?	Non

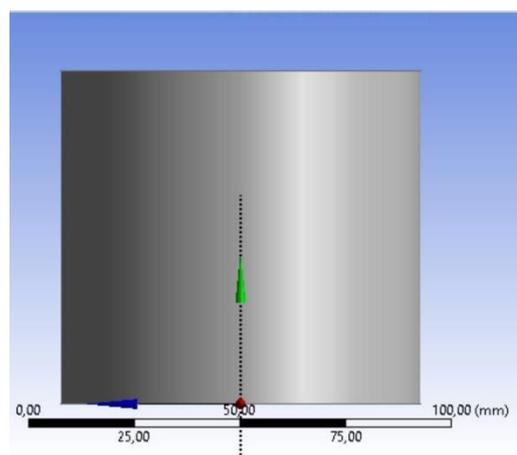


Figure 4.5 : Détail du cylindre du corps.

- **Créez l'ouverture d'alimentation cylindrique (Inlet)**

L'ouverture d'alimentation se présente sous la forme d'un cylindre creux, nécessitant ainsi deux opérations l'ajout d'un corps suivi de l'enlèvement de matière.

Pour ajouter un corps, après avoir suivi les étapes préliminaires de la création du cylindre, comprenant l'introduction des coordonnées de l'origine, des composants le long des trois axes

et du rayon, nous procédons à la sélection de l'opération "ajouter un corps". Ensuite, en cliquant sur "générer".

Détails de Cylindre2	
Cylindre	Cylindre2
Plan de base	PlanXY
Opération	Ajouter un corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	-25 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	62,5 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	82,5 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	17,5 mm
Coque/Surface ?	Non

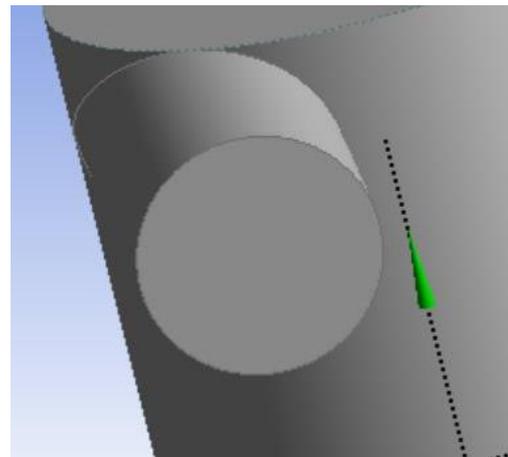


Figure 4.6 : Détail de cylindre d'alimentation.

Enlèvement de matière, après avoir sélectionné l'opération d'enlèvement de matière, nous avons réintroduit les mêmes coordonnées de l'origine, ainsi que les mêmes composants que lors de l'opération ajouter un corps. En plus de cela, nous avons spécifié le rayon intérieur de l'ouverture à créer.

Détails de Cylindre4	
Cylindre	Cylindre4
Plan de base	PlanXY
Opération	Enlever de la matière
Corps cibles	Tous les corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	-25 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	62,5 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	82,5 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	12,5 mm
Coque/Surface ?	Non

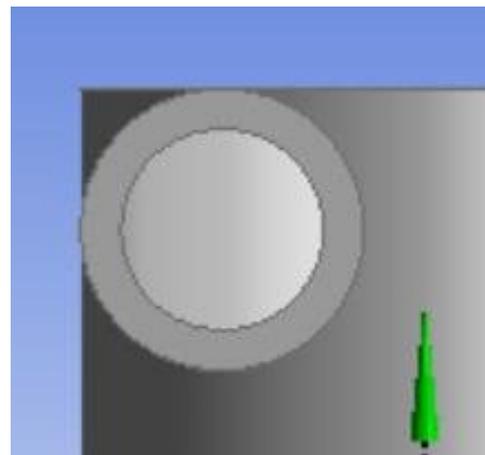


Figure 4.7 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière d'alimentation.

L'enlèvement de matière sur la partie cylindrique du desilter, nous avons défini le rayon intérieur du desilter et la hauteur sur laquelle l'enlèvement de matière aura lieu.

Détails de Cylindre3	
Cylindre	Cylindre3
Plan de base	PlanXY
Opération	Enlever de la matière
Corps cibles	Tous les corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	75 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	37,5 mm
Coque/Surface ?	Non

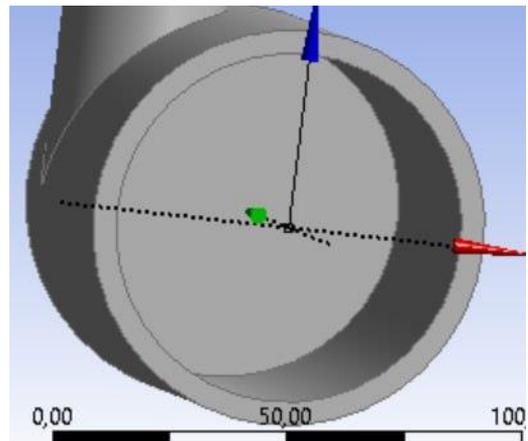


Figure 4.8 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière du corp cylindrique.

Le dessin du détecteur de tourbillon cylindrique se fait de la même manière que la création de l'ouverture d'alimentation (l'ajout du corps, définir les coordonnées de l'origine, la longueur, le rayon extérieur de détecteur de tourbillon).

Détails de Cylindre5	
Cylindre	Cylindre5
Plan de base	PlanXY
Opération	Ajouter un corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	120 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	-95 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	17,5 mm
Coque/Surface ?	Non

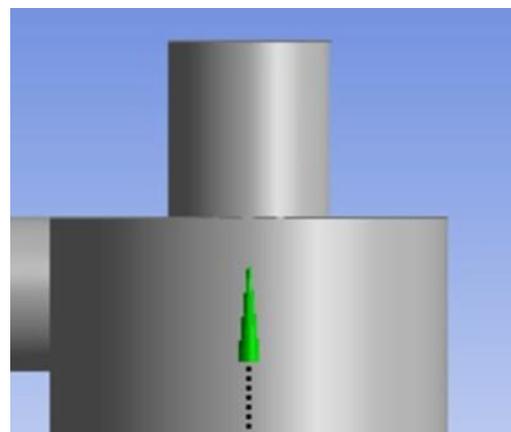


Figure 4.9 : Détail du détecteur de tourbillon cylindrique

L'enlèvement de matière : L'origine et la longueur restent les mêmes, seule la dimension du rayon intérieur diffère.

Détails de Cylindre6	
Cylindre	Cylindre6
Plan de base	PlanXY
Opération	Enlever de la matière
Corps cibles	Tous les corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	120 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	-95 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon (>0)	12,5 mm
Coque/Surface ?	Non

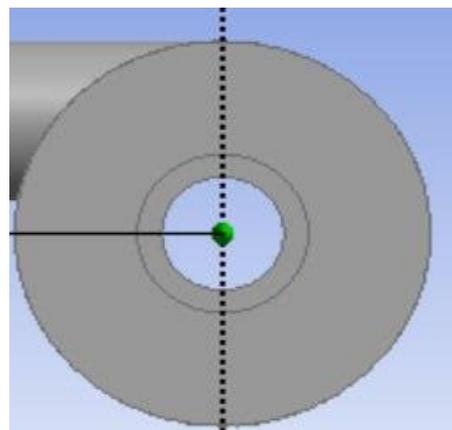


Figure 4.10 : Détail du cylindre d'enlèvement de matière du détecteur de tourbillon.

- **La création de la partie conique du desilter**

Pour la création du cône, nous cliquons sur "Créer" puis sélectionnons "Primitives". Ensuite, nous choisissons "Cône" et saisissons la longueur, le diamètre de base et le diamètre de sortie inférieur (outlet-dn), suivis de l'opération "Ajouter un corps". Enfin, nous cliquons sur "Générer".

Détails de Cône1	
Cône	Cône1
Plan de base	PlanXY
Opération	Ajouter un corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	-186 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon de base (>=0)	42,5 mm
<input type="checkbox"/> FD11, Rayon supérieur (>=0)	11,25 mm
Coque/Surface ?	Non

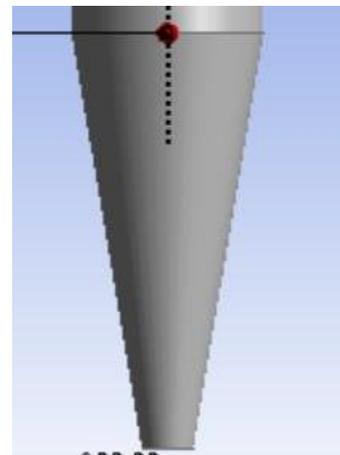


Figure 4.11 : Détail du cône.

Pour l'enlèvement de matière, nous cliquons sur "Créer" puis sélectionnons "Primitives". Ensuite, nous choisissons "Cône" et saisissons la même longueur que précédemment, ainsi que le diamètre intérieur de la base et le diamètre intérieur de la sortie inférieure (outlet-dn). Après cela, nous sélectionnons l'opération "enlèvement de matière". Enfin, nous cliquons sur "Générer".

Détails de Cône2	
Cône	Cône2
Plan de base	PlanXY
Opération	Enlever de la matière
Corps cibles	Tous les corps
Définition de l'origine	Coordonnées
<input type="checkbox"/> FD3, Coordonnée X de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Coordonnée Y de l'origine	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Coordonnée Z de l'origine	0 mm
Définition de l'axe	Composants
<input type="checkbox"/> FD6, Composante X de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Composante Y de l'axe	-186 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Composante Z de l'axe	0 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Rayon de base (>=0)	37,5 mm
<input type="checkbox"/> FD11, Rayon supérieur (>=0)	6,25 mm
Coque/Surface ?	Non

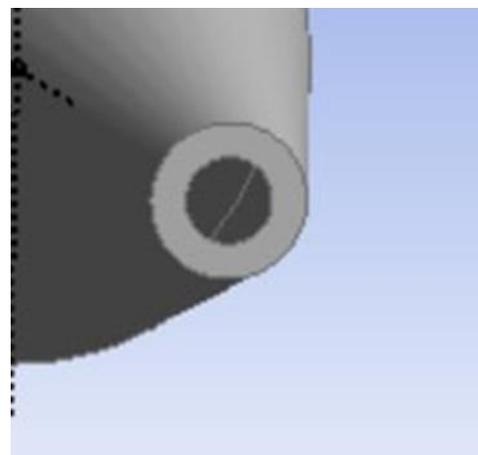


Figure 4.12 : Détail du cône d'enlèvement de matière.

### 4.4.5.2. Extraction de volume

La création d'un corps volumique précis du modèle 3D du desilter est essentielle pour assurer la précision de la simulation CFD. Nous avons utilisé l'outil d'extraction de volume d'ANSYS Design Modeler pour construire le corps volumique nécessaire. Cet outil permet de générer avec précision le volume interne du desilter, en définissant clairement les contours et les surfaces internes. Grâce à cette méthode, toutes les caractéristiques géométriques pertinentes. Cela garantit que le modèle volumique reflète fidèlement la réalité physique du desilter, permettant ainsi une simulation CFD plus fiable et précise.

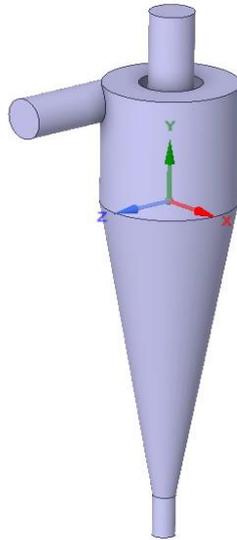


Figure 4.13 : Volume intérieur du desilter.

### 4.4.5.3. Maillage

L'étape suivante consiste à développer le maillage. Le maillage est le processus qui consiste à transformer des formes irrégulières en volumes plus reconnaissables. Le maillage consiste à diviser le domaine en mailles (morceaux), chaque maille représentant un "élément". Dans cette simulation, le développement du maillage a été incorporé en utilisant Ansys Mesh. Plus précisément, la méthode des tétraèdres a été utilisée pour obtenir une meilleure qualité de maillage, car elle est bien adaptée aux géométries complexes, et la taille des éléments a été fixée au nombre des éléments de 346245.

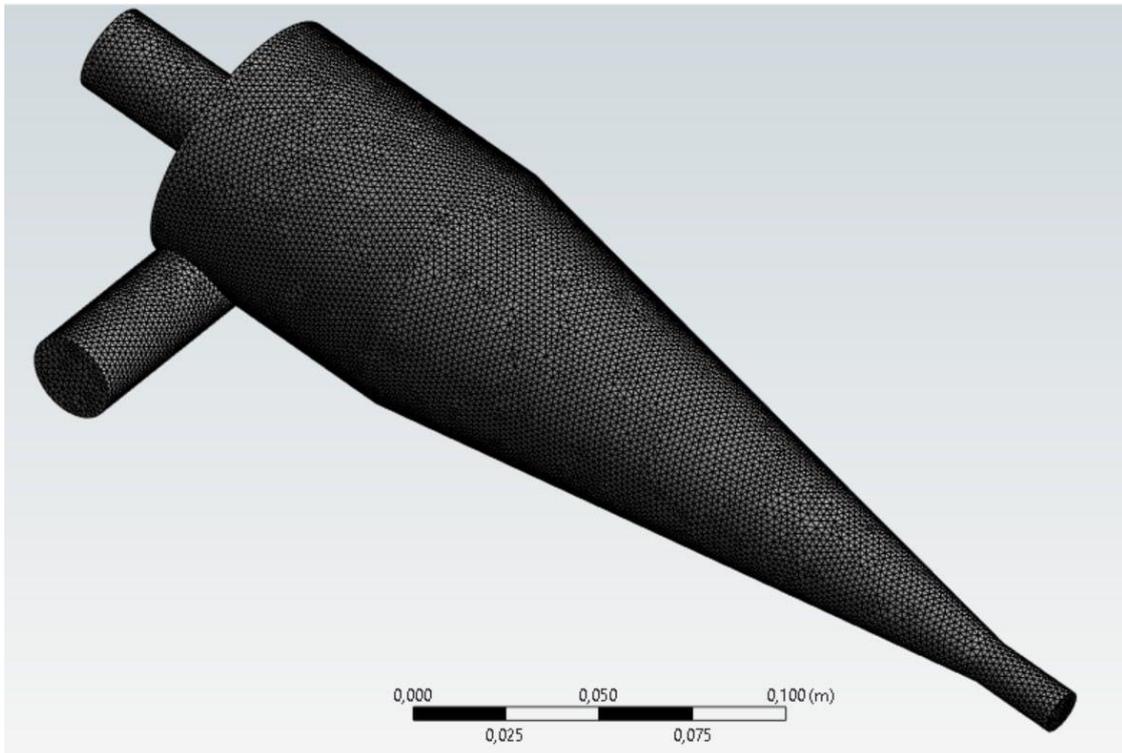


Figure 4.14 : La Génération de maillage.

Pour réaliser un maillage dans ANSYS, plusieurs étapes sont nécessaires pour garantir un résultat de haute qualité. Tout d'abord, après avoir validé l'étape précédente dans Workbench, vous pouvez lancer directement le logiciel de maillage ANSYS Meshing et charger la géométrie créée. Ensuite, identifiez les surfaces sur lesquelles vous souhaitez créer le maillage, telles que les parois solides ou les surfaces de fluide. Une fois les surfaces sélectionnées, choisissez le type de maillage le mieux adapté à votre application, qu'il soit structuré ou non structuré. Ensuite, configurez les paramètres de maillage tels que la densité de maillage, la taille d'élément et le type d'élément en fonction des spécifications de votre modèle. Après avoir ajusté les paramètres, lancez la génération du maillage à l'aide des outils disponibles dans ANSYS, en vérifiant visuellement le maillage pour détecter d'éventuels problèmes comme les éléments mal formés ou les singularités. Une fois le maillage généré, effectuez une validation en vérifiant qu'il satisfait les critères de qualité requis pour votre analyse. Une fois satisfait de votre maillage, exportez-le dans le format requis pour votre analyse dans ANSYS Fluent, ANSYS Mechanical ou tout autre module d'analyse ANSYS utilisé.

### **Qualité de maillage**

La qualité du maillage joue un rôle très important dans la précision et la stabilité du calcul numérique. Le nombre et la distribution des nœuds à travers chaque frontière du domaine de calcul sont choisis sur la base des considérations physiques. Un test préliminaire pour différents maillages est indispensable pour toute étude numérique.

La qualité de maillage est généralement évaluée en fonction de plusieurs critères, tels que la forme des éléments de maillage, la taille des éléments, le ratio de forme, la courbure des

éléments, et la connectivité des éléments. Ces critères peuvent varier en fonction de l'application et des exigences de la simulation. et en comparant les données avec le guide.

### 4.5.6. Mise en données et simulation

De retour dans la fenêtre WorkBench, l'étape de maillage a été actualisée, on peut passer à la suivante qui consiste à mettre en données le problème sous Fluent.

Apparaît tout d'abord la fenêtre de lancement, qui sert à indiquer si l'on va travailler en 2D ou en 3D, en monoprocesseur ou en parallèle et si besoin est, à préciser le répertoire de travail.

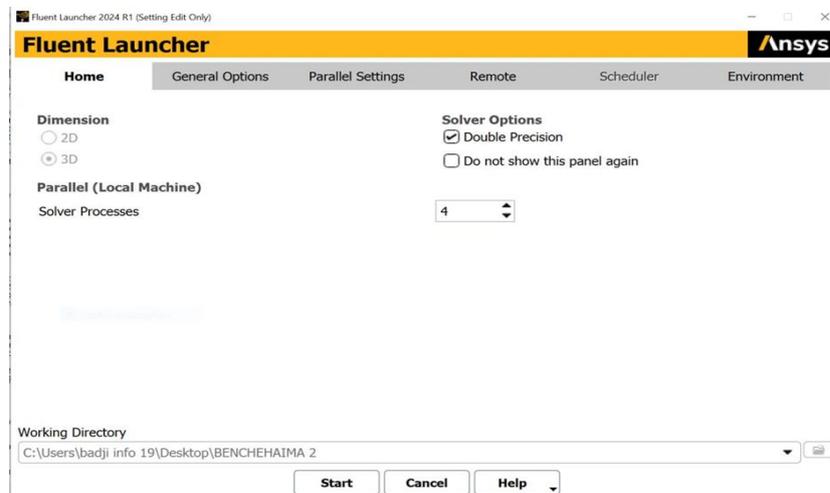


Figure 4.15 : La fenêtre d'ouverture d'Ansys Fluent

### 4.4.6.1. Définir le Modèle Physique

Sélection du Solveur : choisissez le solveur basé sur la pression.

L'insertion de la gravité : suivant l'axe Y avec une valeur négative -9.81 m/s.

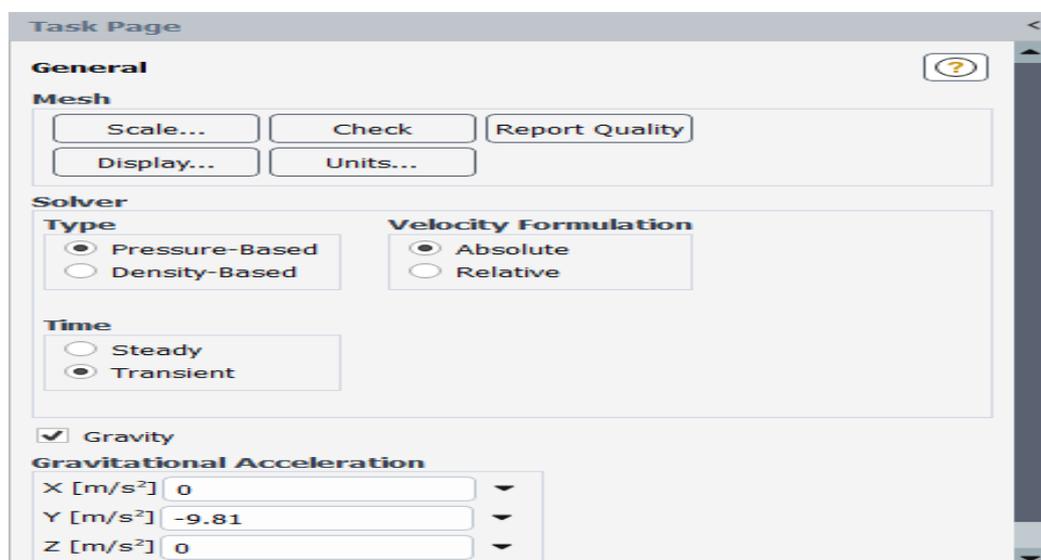


Figure 4.16 : Choix de solveur.

## 4.4.6.2. Modèles de Turbulence

Utilisez le modèle de turbulence k- $\epsilon$ , car ce modèle est efficace pour capturer les écoulements tourbillonnaires et les séparations de flux courants dans les desilters.

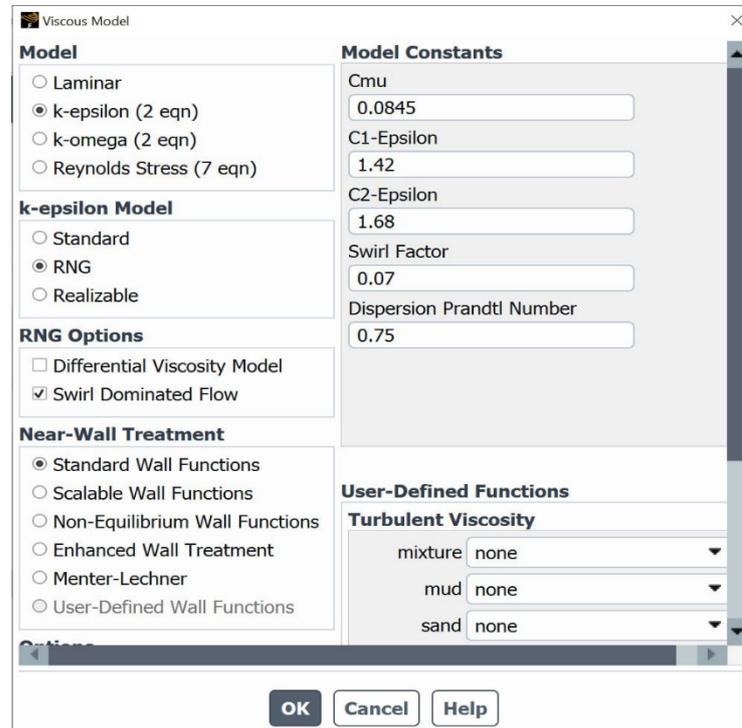


Figure 4.17 : choix des modèles physiques

## 4.4.6.3. Modèle Multiphasiques

Sélectionnez Multiphase, puis choisissez le modèle Eulerien. Assurez-vous que les paramètres inhomogènes sont sélectionnés si applicable.

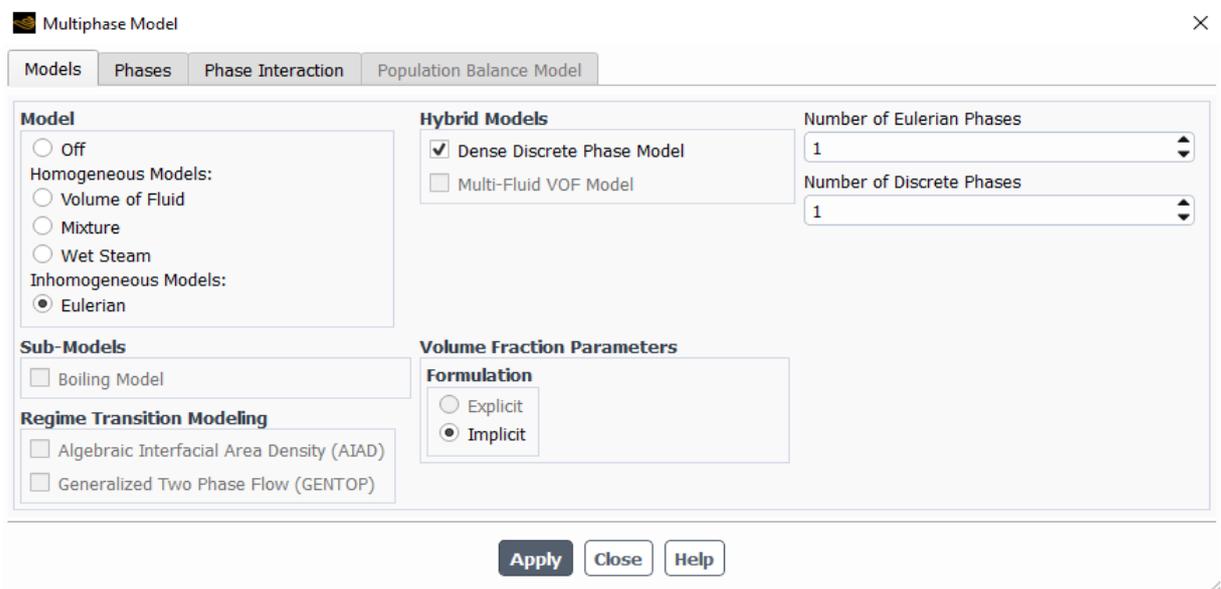


Figure 4.18 : Choix du model multiphase.

Ensuite, définissez les propriétés du matériau de la phase discrète dans la section Matériaux, en spécifiant des paramètres tels que la distribution de taille des particules et la densité. Allez dans Définitions puis Injections et créez une nouvelle injection, en sélectionnant le type d'injection (comme surface, groupe ou point) et en définissant les propriétés d'injection, y compris la surface d'injection, le débit, les vitesses initiale et le diamètre des particules

Variable	Value
X-Velocity [m/s]	0
Y-Velocity [m/s]	0
Z-Velocity [m/s]	-2.5
Total Flow Rate [kg/s]	0.0901
Min. Diameter [m]	5e-5
Max. Diameter [m]	8e-5
Mean Diameter [m]	6.5e-5

**Stagger Options**

- Stagger Positions
- Stagger Radius [m]  
0

**Surface Options**

- Scale Flow Rate by Face Area
- Inject Using Face Normal Direction
- Randomize Starting Points

Figure 4.19 : Définir les propriétés d'injection.

Définissez les phases en spécifiant la phase primaire (continue-mud) et la phase secondaire (discrète-sand), en détaillant leurs propriétés telles que la densité et la viscosité.

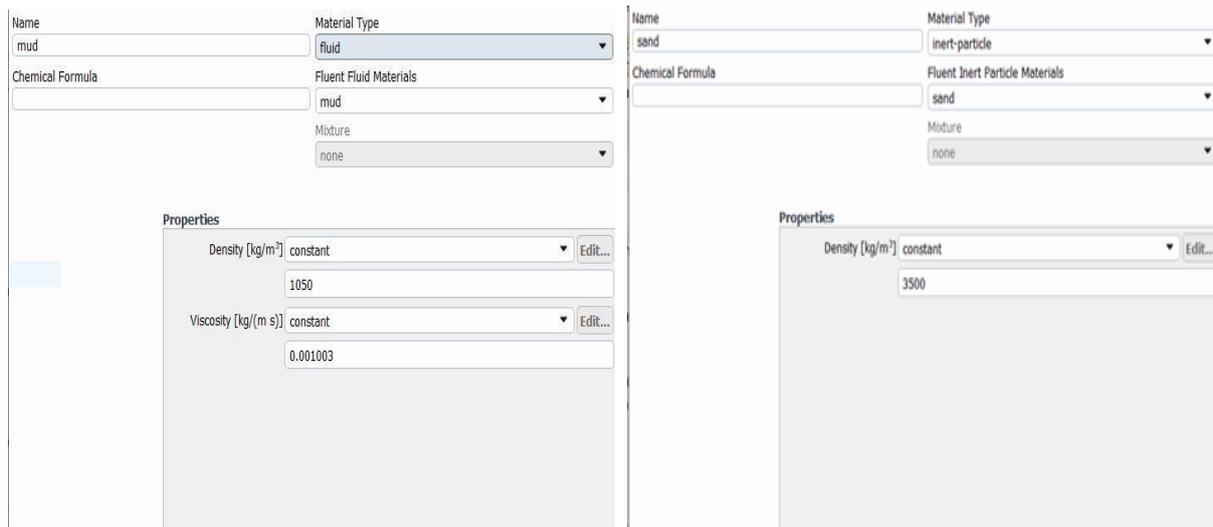


Figure 4.20 : Les deux phases continue et discrète.

#### 4.4.6.4. Conditions limites

Pour définir les conditions aux limites, commencez par configurer l'entrée (Inlet) et la sortie (Outlet).

Pour l'entrée, définissez l'intensité de turbulence, le diamètre hydraulique et la vitesse du flux.

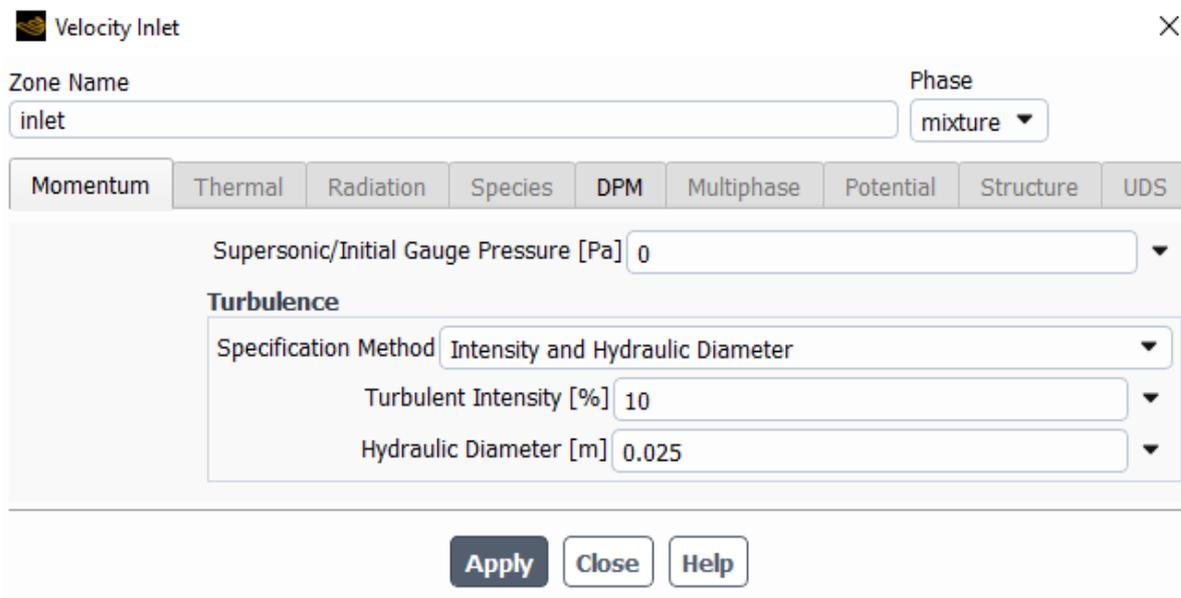
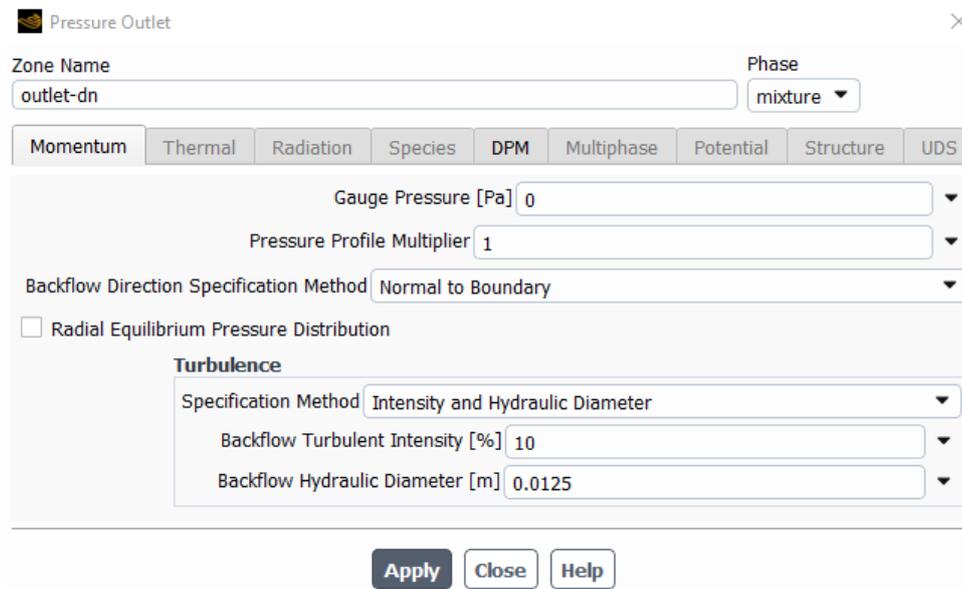


Figure 4.21 : Conditions limites de l'entrée (Inlet)

Pour la sortie, configurez les conditions de outlet up (overflow) et de outlet down (underflow). Ces conditions peuvent être définies par les valeurs de pression, intensité turbulente et le diamètre hydraulique.



Pressure Outlet

Zone Name: outlet-dn Phase: mixture

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Gauge Pressure [Pa]: 0

Pressure Profile Multiplier: 1

Backflow Direction Specification Method: Normal to Boundary

Radial Equilibrium Pressure Distribution

**Turbulence**

Specification Method: Intensity and Hydraulic Diameter

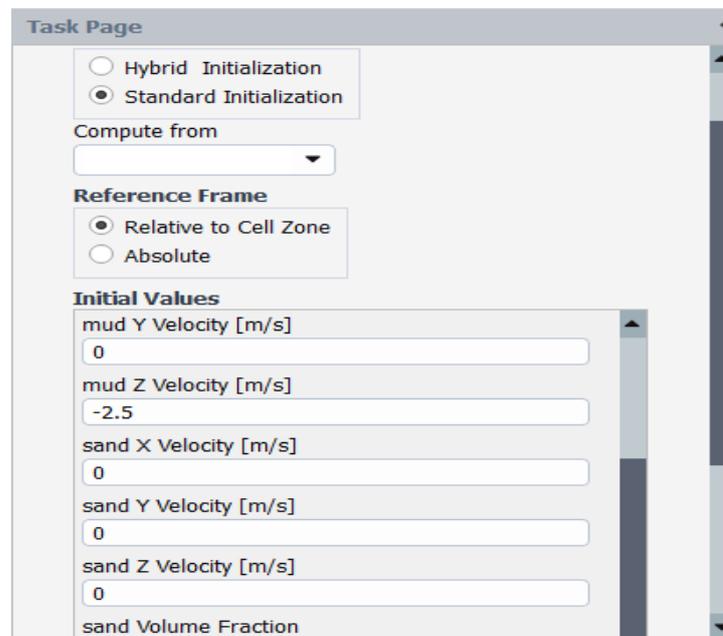
Backflow Turbulent Intensity [%]: 10

Backflow Hydraulic Diameter [m]: 0.0125

Apply Close Help

Figure 4.22 : Conditions limites de la sortie (Outlet).

Après configurer correctement tous les modèles physiques, tels que les modèles de turbulence et de multi phase, ainsi que de vérifier que toutes les conditions aux limites (entrée, sortie, parois, etc.) sont bien définies et adaptées au problème. L'initialisation est une étape fondamentale pour garantir des résultats précis et une convergence efficace.



Task Page

Hybrid Initialization

Standard Initialization

Compute from: [dropdown]

**Reference Frame**

Relative to Cell Zone

Absolute

**Initial Values**

mud Y Velocity [m/s]: 0

mud Z Velocity [m/s]: -2.5

sand X Velocity [m/s]: 0

sand Y Velocity [m/s]: 0

sand Z Velocity [m/s]: 0

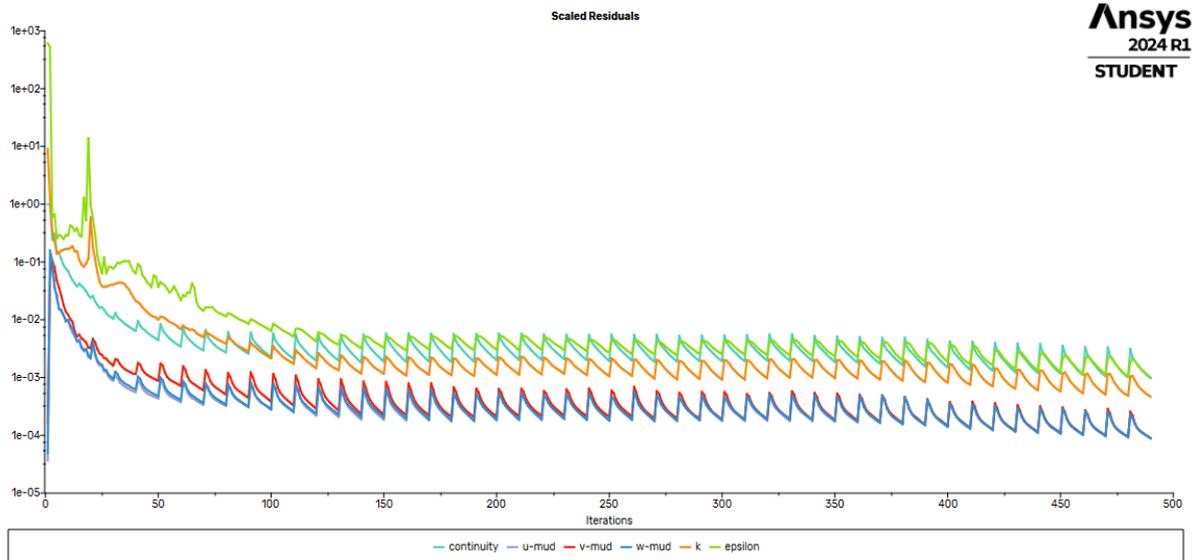
sand Volume Fraction: [dropdown]

Figure 4.23 : Etape de l'initialisation.

## 4.4.6.5. Lancement des Calculs

Une fois que tout est prêt, lancez les calculs en cliquant sur le bouton "Run Calculation".

Dans cette rubrique, on fixe le nombre d'opérations des itérations et on lance le calcul, l'opération de calcul va être entamée immédiatement, elle s'arrêtera si la condition de convergence est réalisée sinon, le calcul continue jusqu'à la réalisation de la dernière Itération, dans ce cas-là on doit relancer l'opération de calcul si la convergence n'est pas accomplie.



**Ansys**  
2024 R1  
STUDENT

Figure 4.24 : Résidus scalaires en fonction des itérations pour différentes méthodes numériques.

## 4.6. Conclusion

En conclusion, la modélisation numérique et la simulation avec ANSYS Fluent constituent un atout majeur pour la conception, l'optimisation et l'analyse des desilters, offrant des bénéfices significatifs en termes de performance opérationnelle et de coût. Les méthodologies et techniques présentées dans ce chapitre établissent une base solide pour des études futures et des améliorations technologiques continues dans le domaine de la séparation par desilter.

À travers ce chapitre, nous avons entrepris une exploration détaillée des étapes et des considérations cruciales nécessaires pour effectuer une simulation précise et efficace d'un desilter. Nous avons commencé par la préparation de la géométrie, une étape fondamentale où la création et l'importation de modèles géométriques dans ANSYS DesignModeler

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter et analyser en détail les résultats obtenus à partir de la simulation réalisée avec ANSYS Fluent.

### 5.1. Introduction

Les desilter sont des équipements largement utilisés dans divers secteurs industriels, notamment pour la séparation des particules solides des fluides. Leur performance et leur efficacité dépendent de nombreux paramètres, y compris la conception géométrique, les conditions d'écoulement, et les propriétés des fluides.

Dans ce chapitre, nous allons analyser et discuter en détail les résultats obtenus à partir de la simulation CFD (Computational Fluid Dynamics) de la performance du desilter de l'appareil de forage RIG ENF#61 réalisée avec ANSYS Fluent.

Nous commencerons par présenter les résultats bruts issus de la simulation, incluant les champs de vitesse, les profils de pression, les distributions de turbulence, et les trajectoires des particules. Ces données fourniront une base solide pour comprendre les dynamiques internes du desilter. Ensuite, nous procéderons à une analyse approfondie de ces résultats, en mettant en évidence les zones de recirculation, les variations de pression, et les mécanismes de séparation des particules.

Nous commencerons par la validation de notre modèle en comparant les résultats de la simulation avec des données expérimentales des études précédentes, ce qui représente une validation de la précision du modèle utilisé. Cette comparaison nous permettra d'identifier les points forts et les limitations de notre approche, afin d'en apporter des recommandations pour des améliorations futures.

### 5.2. Validation du modèle de simulation

Dans ce qui suit, nous présentons la validation du modèle mathématique développé avant de procéder aux simulations numériques. Cette étape de validation est cruciale pour s'assurer de la fiabilité et de la précision des résultats de la simulation.

Pour ce faire, nous avons utilisé les données expérimentales détaillées obtenues par Hsieh en 1988 sur le champ d'écoulement dans un hydrocyclone de 75 mm de diamètre (figure 5.1). [15] Ces données ont été largement utilisées par de nombreux chercheurs pour valider l'exactitude de leurs modèles mathématiques.

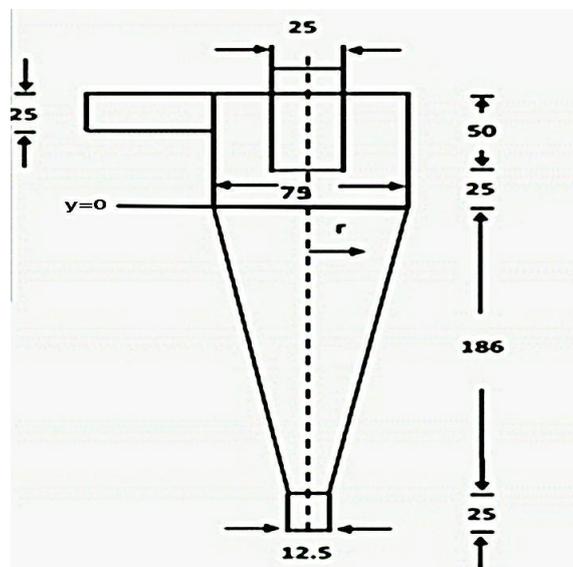


Figure 5.1 : Schéma du cyclone de Hsieh. [15]

Nous avons adopté le même modèle physique (géométrie) classique proposé par Hsieh pour effectuer les simulations numériques du champ d'écoulement d'eau claire en utilisant le modèle de turbulence k-epsilon. Nous avons comparé les résultats de simulation avec les données expérimentales à une section spécifique de l'hydrocyclone : à 15 mm, correspondant aux segments cylindriques.

Les résultats de la simulation ont été globalement en accord avec les valeurs expérimentales (figure 5.2), ce qui confirme la validité du modèle mathématique utilisé. Cependant, une légère différence a été observée au niveau du maximum de la vitesse tangentielle, que nous attribuons principalement à l'application réelle du modèle de turbulence ou à une erreur expérimentale.

En conclusion, cette étude démontre que le modèle de turbulence k-epsilon est capable de prédire avec précision les caractéristiques du champ d'écoulement dans un desilter. La validation du modèle mathématique à l'aide de données expérimentales fiables est une étape essentielle pour garantir la qualité et la pertinence des résultats de la simulation numérique.

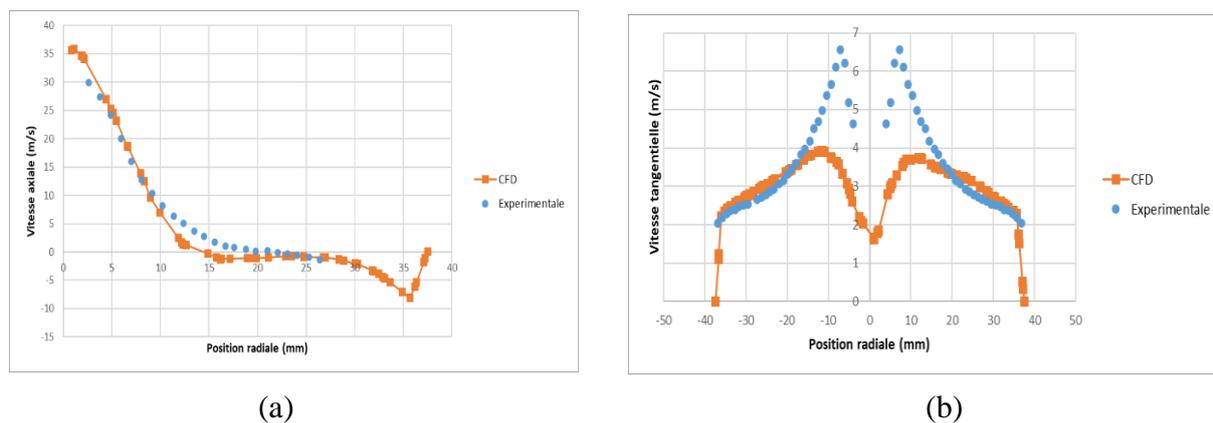


Figure 5.2 : Comparaison des distributions de vitesse axiale et vitesse tangentielle.

Vitesse : (a) Axial, (b): Tangentielle .

### 5.3. Analyse des Résultats

#### 5.3.1. Analyse des Flux

Dans un desilter, l'écoulement du fluide est caractérisé par la formation de zones de recirculation près de la paroi du cône. Ces zones se forment en raison de l'entrée tangente du fluide, qui crée un mouvement tourbillonnaire intense. Les zones de recirculation sont des régions où le fluide se déplace en boucle, formant des tourbillons secondaires. Ce comportement est typique des desilters et joue un rôle crucial dans la séparation des particules. Les particules en suspension sont entraînées dans ces vortex, favorisant leur déplacement vers la paroi et intensifiant le mélange et la redistribution des particules, ce qui améliore l'efficacité de séparation.

Par ailleurs, la vitesse tangentielle du fluide, qui est la composante de la vitesse parallèle à la paroi du desilter, atteint son maximum près de la paroi du cône. Cette augmentation de la vitesse tangentielle est due principalement à la force centrifuge générée par le mouvement tourbillonnaire, qui pousse les particules vers l'extérieur. La forme conique du desilter accentue cet effet, en réduisant progressivement le rayon de l'écoulement à mesure que le fluide descend, ce qui augmente la vitesse tangentielle. La combinaison de ces mécanismes contribue de

manière significative à la séparation des particules par force centrifuge, car les particules plus denses sont projetées vers la paroi extérieure où elles peuvent être collectées efficacement.

### La trajectoire de la boue de forage

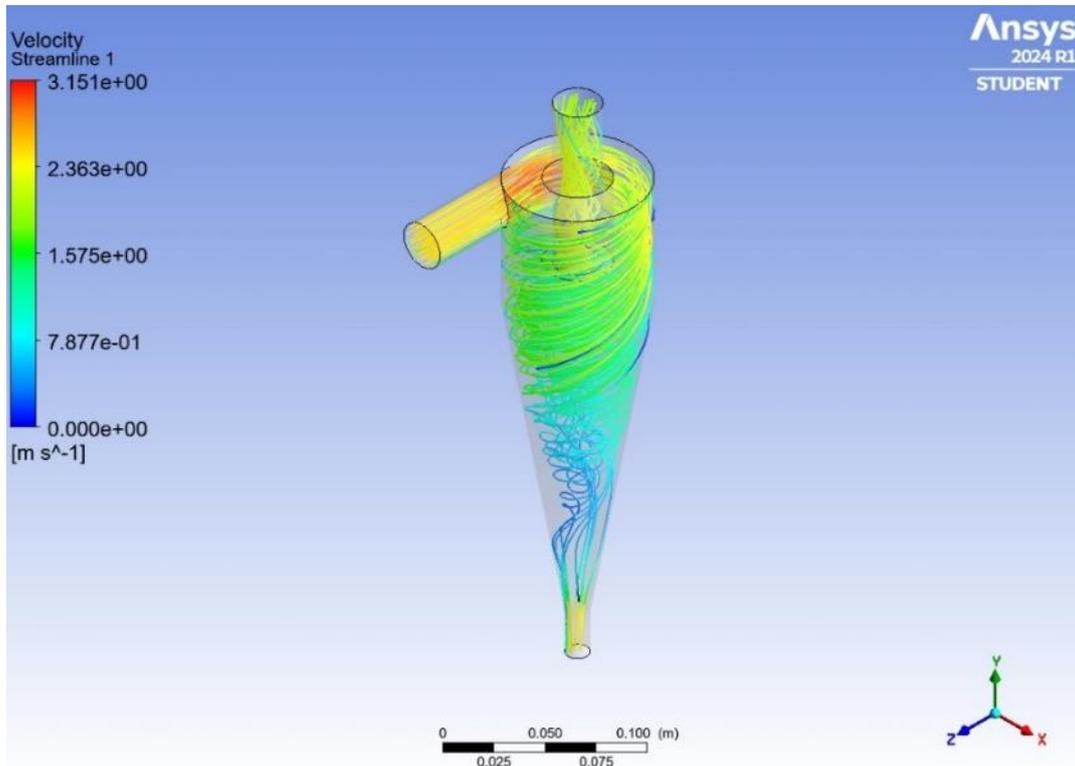


Figure 5.3 : La trajectoire de la boue.

L'image de la figure 5.3 présente la trajectoire simulée de la boue dans un desilter, l'écoulement commence en haut du cyclone avec une vitesse élevée d'environ 2.5 m/s. Ensuite, le fluide suit un mouvement spiral descendant à l'intérieur du cyclone. La vitesse diminue progressivement le long de la trajectoire, atteignant des valeurs inférieures à 1 m/s dans la partie basse du desilter. Cette diminution de vitesse est due au plus grand diamètre dans la partie conique. Les lignes de courant décrivent des spires bien définies et régulières, indiquant un écoulement ordonné sans perturbations majeures. L'écoulement en spirale permet de générer des forces centrifuges qui séparent les particules solides plus denses vers la paroi, tandis que l'eau moins dense est évacuée vers le haut au centre du cyclone (vortex finder).

### La trajectoire des particules solides

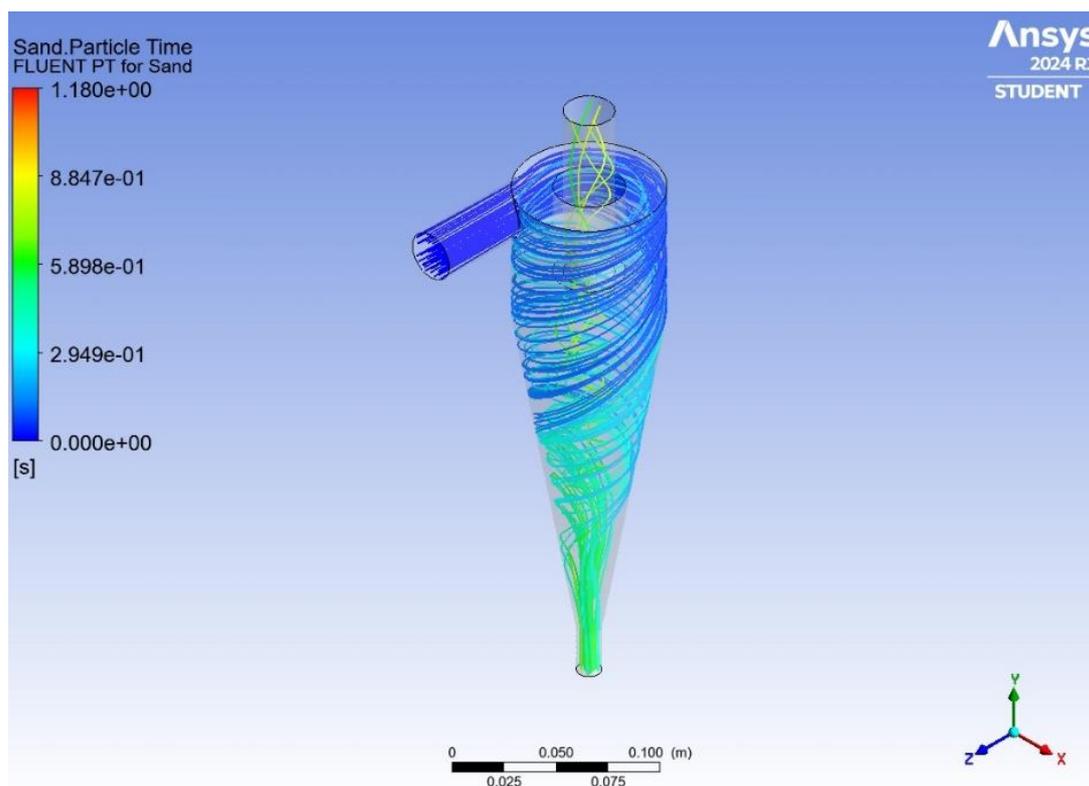


Figure 5.4 : La trajectoire des particules solide.

L'image de la figure 5.4 présente la trajectoire simulée des particules solides dans le desilter. On observe que les particules, injectées tangentiellement en haut du desilter, suivent une trajectoire en spirale descendante le long de la paroi. Cette trajectoire est dictée par la force centrifuge intense générée par le vortex du fluide. Plus les particules sont grosses et denses, plus elles migrent rapidement vers la paroi sous l'effet de leur inertie, comme le montre le code couleur du temps de séjour des particules. Les particules les plus fines, en revanche, peuvent être entraînées vers le centre et remonter avec le vortex ascendant. La longueur du desilter et le rétrécissement conique permettent accentuer la séparation des particules par taille et densité, les plus grosses étant évacuées à la base (underflow) tandis que les plus fines sortent avec le fluide par le haut (overflow).

#### 5.3.2. Distribution de la Pression

L'analyse de la distribution de la pression à l'intérieur d'un desilter (figure 5.5), montre un phénomène intéressant : la pression diminue le long de l'axe central du desilter. Ce phénomène crée ce que l'on appelle un gradient de pression, c'est-à-dire une variation de la pression le long de cet axe. Cette variation de pression est cruciale car elle joue un rôle important dans le processus de séparation des particules.

Lorsque la pression diminue le long de l'axe central, cela crée une différence de pression entre le centre du desilter et ses parois extérieures. Cette différence de pression, ou gradient de pression, génère une force qui pousse les particules lourdes vers les parois extérieures du desilter. Cette force résulte de la tendance naturelle des particules à se déplacer des zones de haute pression vers les zones de basse pression.

Cette action de séparation est fondamentale dans le fonctionnement du desilter. Les particules plus lourdes, ayant une inertie plus élevée, sont davantage influencées par cette force et sont ainsi dirigées vers les parois extérieures, où elles peuvent être collectées et extraites plus efficacement. En revanche, les particules plus légères ou moins denses sont moins affectées par ce gradient de pression et tendent à rester près de l'axe central du desilter.

Il est important de noter que la pression est maximale sur les parois du desilter. Cette pression élevée contribue également à la force qui pousse les particules vers l'extérieur, renforçant ainsi le processus de séparation des particules lourdes. Ainsi, la combinaison de la diminution de la pression le long de l'axe central et de la pression maximale dans les parois du desilter crée un environnement propice à une séparation efficace des particules en fonction de leur densité.

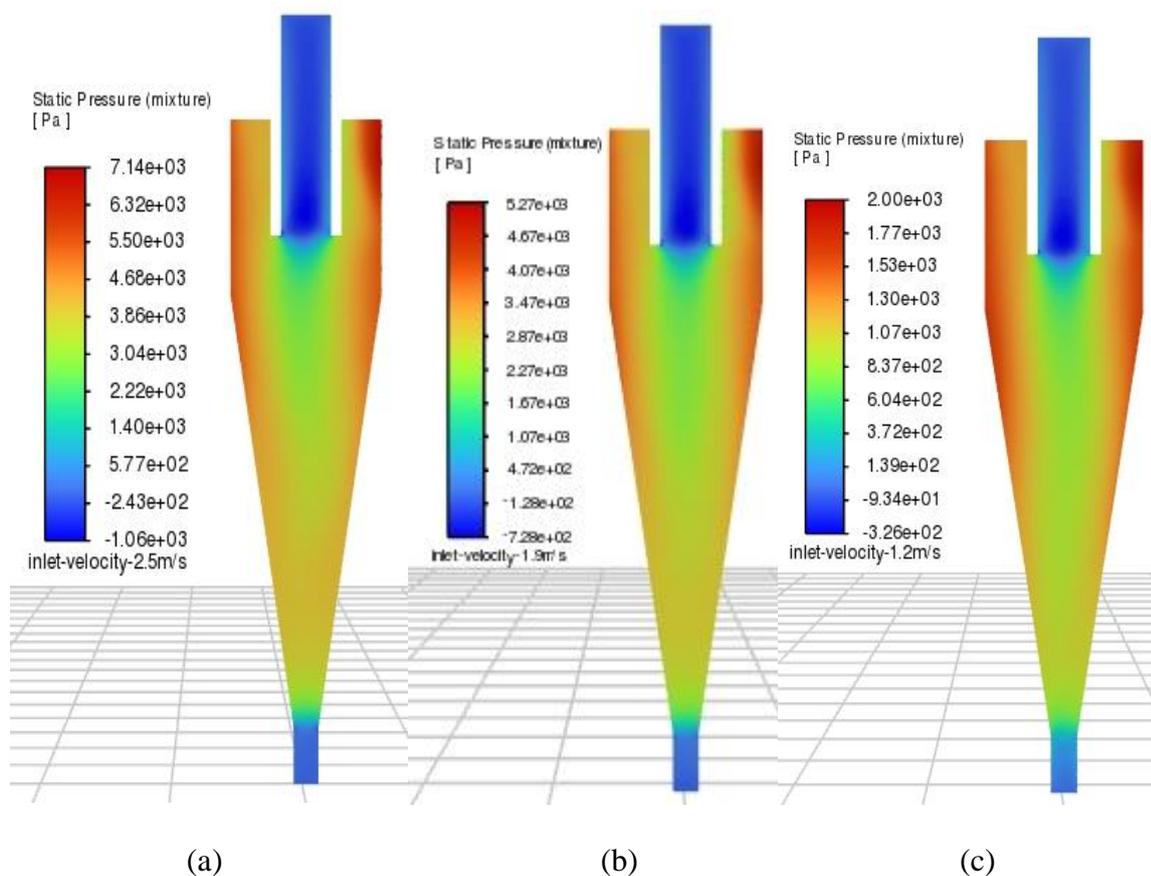


Figure 5.5 : Les contours de la distribution de la pression statique

Vitesse d'alimentation (a): 2.5m/s, (b): 1.9 m/s, (c): 1.2 m/s

Les contours de pression statique présentent une distribution similaire pour les trois vitesses d'alimentation (2.5m/s, 1.9 m/s, 1.2 m/s), avec des valeurs de pression plus élevées près des parois (zones rouges) et une diminution progressive vers le centre de l'appareil (zones bleues). Pour une vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, la pression statique atteint environ  $7,14 \times 10^3$  Pa près des parois et chute à environ  $-1,06 \times 10^3$  Pa au centre. À 1,9 m/s, la pression statique maximale est d'environ  $5,27 \times 10^3$  Pa près des parois et la pression minimale est d'environ  $-7,26 \times 10^2$  Pa au centre. Enfin, à 1,2 m/s, la pression statique varie entre environ  $2 \times 10^3$  Pa près des parois et  $-3,26 \times 10^2$  Pa au centre. Cette distribution est caractéristique de l'écoulement tourbillonnaire

dans le desilter, où la force centrifuge générée par la rotation du fluide crée une surpression près des parois et une dépression au centre.

L'effet de la vitesse d'alimentation sur les niveaux de pression statique est clairement visible. Les valeurs de pression les plus élevées sont observées pour la vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, suivie de 1,9 m/s et enfin de 1,2 m/s. Par exemple, la pression statique maximale passe de  $7,14 \times 10^3$  Pa à 2,5 m/s à  $5,27 \times 10^3$  Pa à 1,9 m/s, puis à  $2 \times 10^3$  Pa à 1,2 m/s. Cela s'explique par l'intensification du tourbillon à mesure que la vitesse d'alimentation augmente, ce qui entraîne une amplification des gradients de pression radiaux.

Il est intéressant de noter que les zones de haute pression près des parois s'élargissent et s'intensifient avec l'augmentation de la vitesse d'alimentation. A la vitesse de 2,5 m/s, les zones rouges correspondant à des pressions supérieures à  $7 \times 10^3$  Pa, elles sont plus étendues et plus foncées qu'à 1,9 m/s et 1,2 m/s, où les pressions maximales sont respectivement d'environ  $5,27 \times 10^3$  Pa et  $2 \times 10^3$  Pa. Cela suggère une intensification de la force centrifuge à haute vitesse.

Enfin, la symétrie axiale des contours de pression statique est préservée pour les trois vitesses d'alimentation, ce qui confirme l'axisymétrie de l'écoulement dans le desilter.

En conclusion, les contours de pression statique mettent en évidence l'influence significative de la vitesse d'alimentation sur la distribution de pression dans le desilter. L'augmentation de la vitesse d'alimentation de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, intensifie les gradients de pression radiaux, avec des pressions variant de  $2 \times 10^3$  Pa à  $7,14 \times 10^3$  Pa près des parois et de  $-3,24 \times 10^2$  Pa à  $-1,06 \times 10^3$  Pa au centre, tout en maintenant la symétrie axiale de l'écoulement. Cette distribution de pression est directement liée à la structure de l'écoulement tourbillonnaire et joue un rôle clé dans la séparation des particules par effet centrifuge.

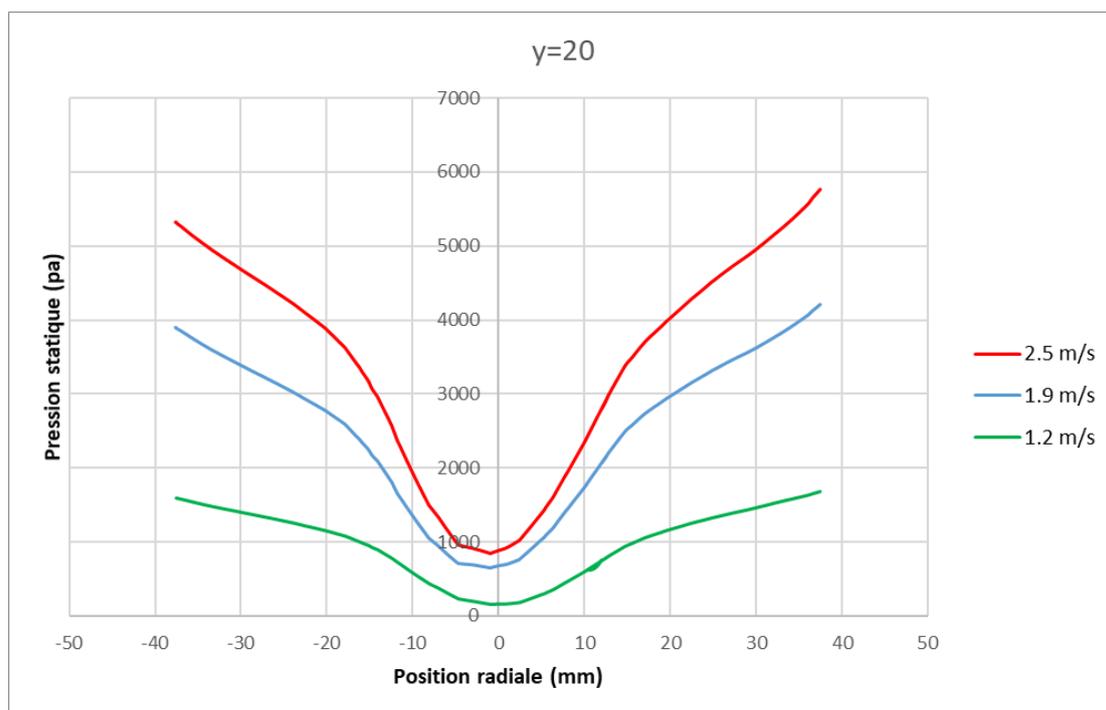


Figure 5.6 : Graphe de la pression statique dans  $y=20$

La figure 5.6 présente les courbes de pression statique en fonction de la position radiale dans le desilter, à une position axiale fixe  $y=20$  mm, pour différentes vitesses d'alimentation.

Ces courbes exhibent toutes un profil parabolique caractéristique de l'écoulement tourbillonnaire confiné dans le desilter. Les pressions sont minimales au centre de l'appareil, où se forme un noyau de faible pression, et augmentent progressivement en se rapprochant des parois, où elles atteignent leurs valeurs maximales.

L'effet de la vitesse d'alimentation sur ce profil de pression est clairement visible. Une augmentation de la vitesse d'alimentation de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s intensifie considérablement le gradient de pression radial. À haute vitesse (2,5 m/s), la pression au centre chute jusqu'à environ 1000 Pa, tandis qu'elle dépasse 5500 Pa au voisinage immédiat des parois. À vitesse intermédiaire (1,9 m/s), la pression au centre est d'environ 600 Pa et atteint près de 4000 Pa près des parois. En comparaison, à basse vitesse (1,2 m/s), la pression au centre reste autour de presque nulle et n'atteint qu'environ 1600 Pa près des parois.

Cette amplification du gradient de pression avec la vitesse d'alimentation s'explique par l'intensification du tourbillon dans le desilter. Une vitesse d'alimentation plus élevée génère un tourbillon plus intense, avec une force centrifuge accrue. Sous l'effet de cette force centrifuge, les particules les plus grosses sont éjectées vers les parois, créant une zone de basse pression au centre du desilter et des pressions élevées à sa périphérie.

Il est intéressant de noter que, quelle que soit la vitesse d'alimentation, les profils de pression restent parfaitement symétriques par rapport à l'axe central du desilter. Cette symétrie confirme que l'écoulement conserve une structure axisymétrique à la position axiale  $y=20$  mm, malgré les variations de vitesse d'alimentation.

En conclusion, le graphique met en évidence l'influence majeure de la vitesse d'alimentation sur le profil de pression dans le desilter. Une augmentation de la vitesse renforce considérablement le gradient de pression radial typique de l'écoulement tourbillonnaire, avec une dépression centrale et des pressions élevées près des parois, tout en préservant l'axisymétrie de l'écoulement à la position verticale  $y=20$  mm. Ce comportement est directement lié à l'intensification du tourbillon et de la force centrifuge à haute vitesse, qui favorise la séparation des grosses particules vers les parois du desilter.

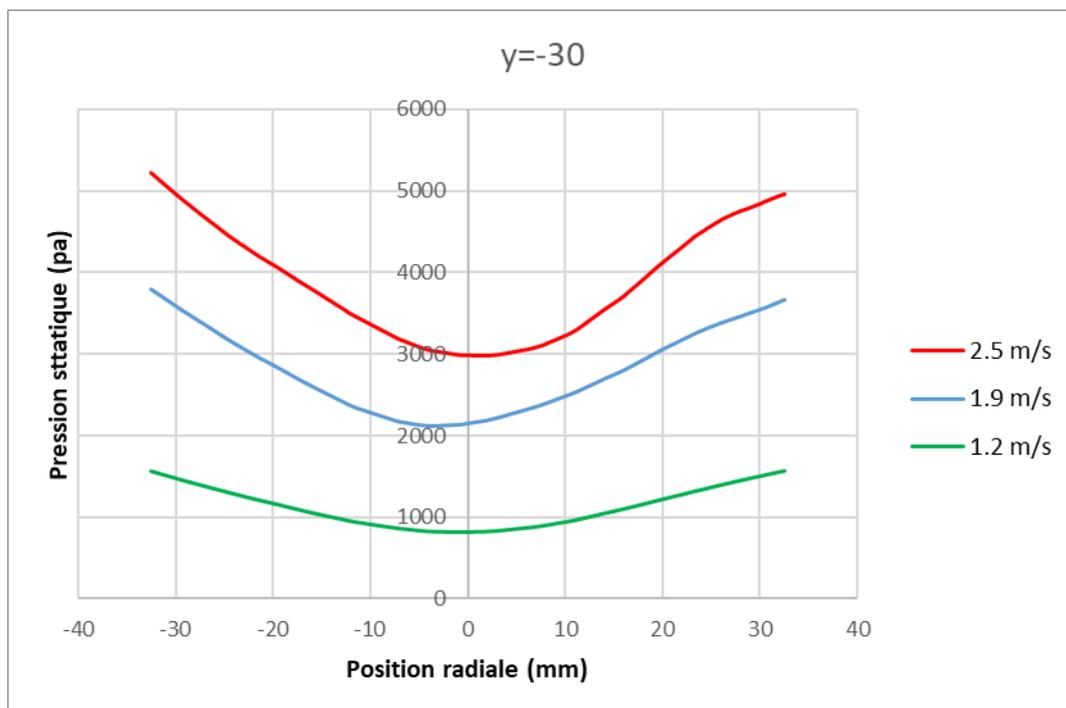


Figure 5.7 : Graphe de la pression statique à  $y = -30$ .

Le figure 5.7 présente les courbes de la pression statique en fonction de la position radiale dans le desilter, à la position axiale  $y = -30$  mm, pour les trois vitesses d'alimentation (1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s) :

Les courbes de pression à  $y = -30$  mm présentent une allure différente de celles observées à  $y = 20$  mm. Bien que les pressions restent minimales au centre et maximales près des parois, le profil de pression est moins parabolique et plus aplati, surtout aux vitesses élevées.

L'effet de la vitesse d'alimentation sur le profil de pression est moins prononcé qu'à  $y = 20$  mm. L'augmentation de la vitesse de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, intensifie le gradient de pression radial, mais de manière moins marquée. À 2,5 m/s, la pression au centre est d'environ 3000 Pa, contre 5000 Pa près des parois. À 1,9 m/s, la pression centrale est autour de 1800 Pa et atteint environ 4000 Pa aux parois. Enfin, à 1,2 m/s, la pression varie entre 800 Pa au centre et 1600 Pa en périphérie.

Cette atténuation de l'effet de la vitesse sur le gradient de pression à  $y = -30$  mm peut s'expliquer par un tourbillon moins intense à cette position axiale, plus éloignée de l'alimentation. La force centrifuge étant réduite, la ségrégation des grosses particules vers les parois est moins efficace, ce qui se traduit par des différences de pression moins marquées entre le centre et la périphérie. Malgré ces différences, les profils de pression à  $y = -30$  mm restent symétriques par rapport à l'axe central pour les trois vitesses, indiquant le maintien d'un écoulement axisymétrique à cette position.

En résumé, à la position axiale  $y = -30$  mm, l'influence de la vitesse d'alimentation sur le profil de pression radial dans le desilter est moins prononcée qu'à  $y = 20$  mm. Les gradients de pression sont moins intenses et les profils plus aplatis, surtout à haute vitesse. Cette évolution suggère un affaiblissement du tourbillon et de la force centrifuge loin de l'alimentation, réduisant

l'efficacité de séparation des grosses particules. Néanmoins, l'axisymétrie de l'écoulement est conservée à cette position pour toutes les vitesses étudiées.

### 5.3.3. Distribution de la vitesse

L'étude de la distribution de la vitesse dans un desilter est essentielle pour comprendre et optimiser son fonctionnement. Un desilter est un dispositif utilisé pour séparer des particules solides en suspension dans un liquide en exploitant la force centrifuge générée par un écoulement tourbillonnaire. La distribution des vitesses tangentielle, axiale et radiale à l'intérieur du desilter détermine l'efficacité de cette séparation

La vitesse tangentielle, qui atteint son maximum près des parois extérieures du desilter, génère une force centrifuge significative. Cette force centrifuge pousse les particules lourdes vers l'extérieur, éloignant ainsi les particules denses du centre du desilter et les rapprochant des parois. Cette force est essentielle pour la séparation des particules, car elle permet de les déplacer efficacement vers les zones où elles peuvent être collectées et évacuées.

En parallèle, la vitesse axiale varie en fonction de la hauteur du desilter. Le fluide entre par une entrée tangentielle et se déplace vers le bas le long des parois extérieures. Lorsqu'il atteint la partie inférieure du desilter, le fluide change de direction et remonte le long de l'axe central. Ce mouvement descendant et ascendant est crucial pour le transport des particules clarifiées vers la sortie centrale. Le flux descendant aide à concentrer les particules denses vers le bas et vers les parois, tandis que le flux ascendant facilite l'évacuation du fluide moins dense et des particules légères par le vortex finder situé au sommet du desilter.

La vitesse radiale, bien que généralement plus faible que les composantes tangentielle et axiale, joue également un rôle critique dans le mouvement des particules à l'intérieur du desilter. Près des parois extérieures, la vitesse radiale est dirigée vers l'extérieur, aidant ainsi les particules lourdes à migrer vers les parois où elles peuvent être soumises à une force centrifuge plus élevée et être collectées. En revanche, près de l'axe central, la vitesse radiale peut être dirigée vers l'intérieur, facilitant la collecte des particules légères et du fluide moins dense. Cette composante radiale contribue à la dynamique complexe de l'écoulement à l'intérieur du desilter, permettant une séparation efficace des particules en fonction de leur densité.

L'interaction entre ces différentes composantes de la vitesse - tangentielle, axiale et radiale - crée un écoulement tourbillonnaire complexe mais efficace pour la séparation des particules. La forte rotation près des parois extérieures due à la vitesse tangentielle, combinée aux mouvements axiaux et radiaux, assure que les particules denses sont poussées vers les parois et évacuées par la sortie inférieure, tandis que le fluide moins dense et les particules légères sont dirigés vers le centre et évacués par le vortex finder. Comprendre et optimiser cette distribution de la vitesse est crucial pour améliorer l'efficacité des desilters dans les applications industrielles de séparation des particules.

La vitesse axiale :

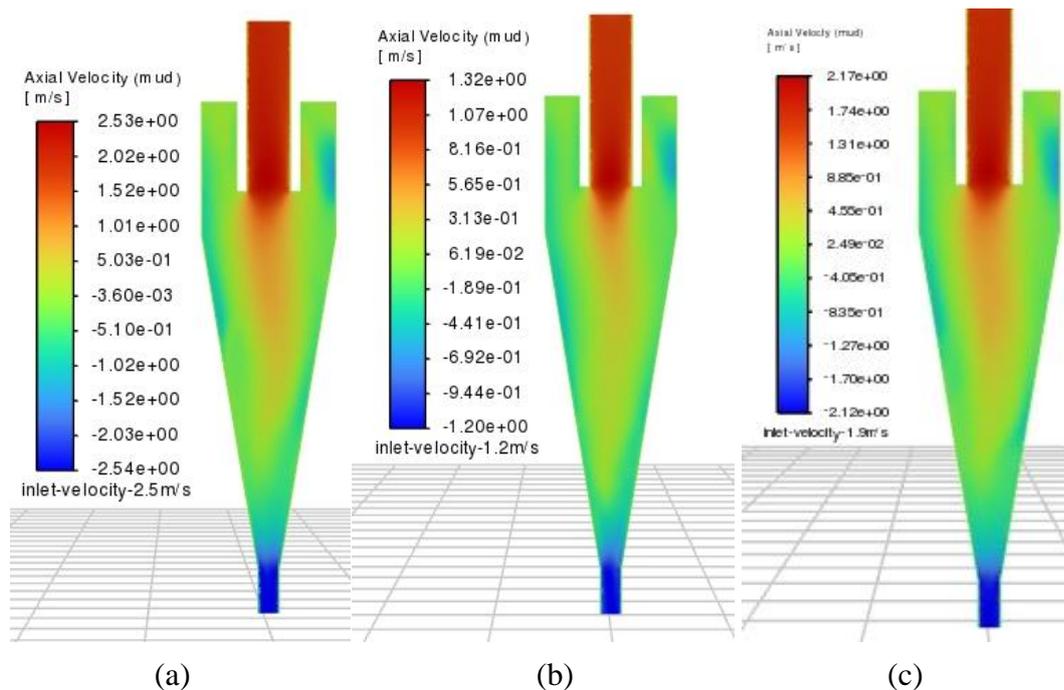


Figure 5.8 : Le contour de la distribution de vitesse axiale.

Vitesse d'alimentation (a): 2.5m/s, (b): 1.9 m/s, (c): 1.2 m/s

Les contours de vitesse axiale (figure 5.8) présentent une distribution similaire pour les trois vitesses d'alimentation, avec un flux ascendant au centre de l'appareil (zones rouges) et un flux descendant près des parois (zones bleues). Pour une vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, la vitesse ascendante atteint environ  $2,53e+00$  m/s au centre et la vitesse descendante environ  $-2,54e+00$  m/s près des parois. À 1,9 m/s, la vitesse ascendante maximale est d'environ  $2,17e+00$  m/s au centre et la vitesse descendante minimale est d'environ  $-2,12e+00$  m/s près des parois. Enfin, à 1,2 m/s, la vitesse ascendante est d'environ  $1,32e+00$  m/s au centre et la vitesse descendante est d'environ  $-1,0e+00$  m/s près des parois. Cette distribution est caractéristique de l'écoulement tourbillonnaire dans le desilter, où le fluide remonte au centre et redescend le long des parois.

L'effet de la vitesse d'alimentation sur l'intensité des flux ascendants et descendants est clairement visible. Les vitesses les plus élevées sont observées pour la vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, suivie de 1,9 m/s et enfin de 1,2 m/s. Par exemple, la vitesse ascendante maximale passe de  $2,53e+00$  m/s à 2,5 m/s à  $2,74e+00$  m/s à 1,32 m/s, puis à  $1,19e+00$  m/s à 1,2 m/s. De même, la vitesse descendante minimale passe de  $-2,54e+00$  m/s à 2,5 m/s à  $-2,12e+00$  m/s à 1,9 m/s, puis à  $-1,0e+00$  m/s à 1,2 m/s. Cela s'explique par l'intensification de la circulation tourbillonnaire à mesure que la vitesse d'alimentation augmente.

Il est intéressant de noter que la zone de flux ascendant au centre s'élargit et s'intensifie avec l'augmentation de la vitesse d'alimentation. A 2,5 m/s, la zone rouge correspondant à des vitesses ascendantes supérieures à  $2,5e+00$  m/s est plus étendue et plus foncée qu'à 1,9 m/s et 1,2 m/s. Cela suggère une amplification du flux ascendant central à haute vitesse.

Cependant, contrairement aux contours de pression, la symétrie axiale des contours de vitesse axiale semble moins bien préservée, en particulier à 1,9 m/s où la zone de flux descendant est

plus intense d'un côté que de l'autre. Cela pourrait indiquer une légère instabilité de l'écoulement à cette vitesse.

En conclusion, les contours de vitesse axiale mettent en évidence l'influence significative de la vitesse d'alimentation sur la structure de l'écoulement dans le desilter. L'augmentation de la vitesse d'alimentation intensifie la circulation tourbillonnaire, avec des vitesses ascendantes au centre atteignant  $2,53e+00$  m/s à 2,5 m/s,  $2,74e+00$  m/s à 1,9 m/s et  $1,32e+00$  m/s à 1,2 m/s, et des vitesses descendantes près des parois atteignant  $-2,54e+00$  m/s à 2,5 m/s,  $-2,12e+00$  m/s à 1,9 m/s et  $-1,0e+00$  m/s à 1,2 m/s. Cette distribution de vitesse joue un rôle clé dans le transport des particules et leur temps de séjour dans l'appareil.

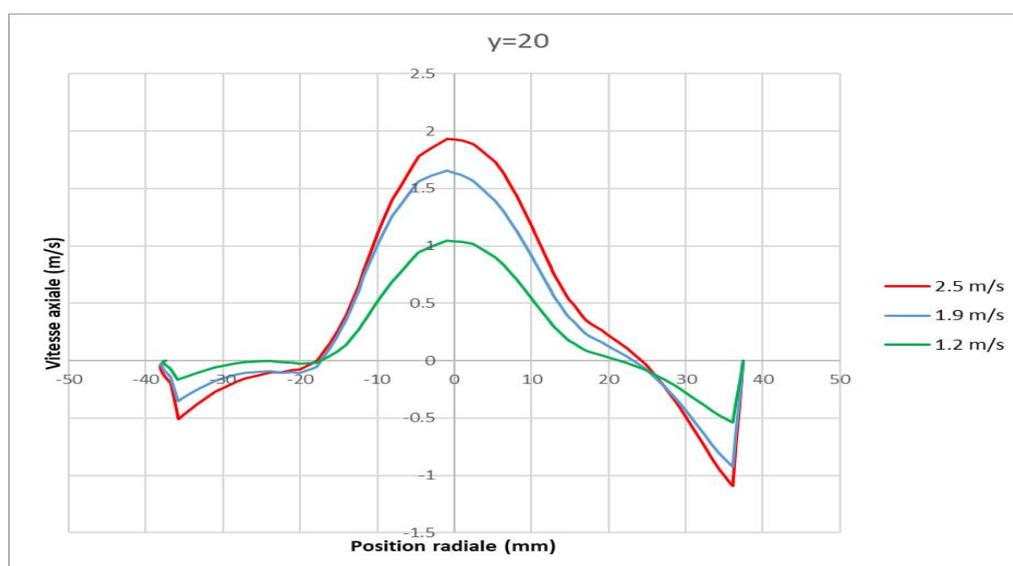


Figure 5.9 : graphe de la vitesse axiale dans la position  $y=20$

La figure 5.9 présente des courbes de vitesse axiale en fonction de la position radiale dans le desilter, à la position axiale  $y=20$  mm, pour les trois vitesses d'alimentation (1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s) :

Les profils de vitesse axiale à  $y=20$  mm présentent une allure très différente des profils de pression statique. On observe des vitesses positives au centre du desilter, indiquant un écoulement ascendant, et des vitesses négatives près des parois, correspondant à un écoulement descendant. Ce profil de vitesse est caractéristique de la structure d'écoulement hélicoïdal dans le desilter, avec un courant ascendant au centre et un courant descendant en périphérie.

L'influence de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale est clairement visible. Une augmentation de la vitesse d'alimentation de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, intensifie considérablement les vitesses axiales dans les deux sens. À 2,5 m/s, la vitesse axiale atteint près de 2 m/s au centre et descend jusqu'à -1 m/s près des parois. À 1,9 m/s, les vitesses varient entre 1,5 m/s au centre et -1 m/s en périphérie. Enfin, à 1,2 m/s, les vitesses sont comprises entre 1 m/s et -0,5 m/s.

Cette amplification des vitesses axiales avec la vitesse d'alimentation s'explique par l'intensification de l'écoulement hélicoïdal dans le desilter. Une vitesse d'alimentation plus élevée génère un tourbillon plus intense, avec une vitesse tangentielle accrue. Par conservation du débit, cela se traduit par une augmentation des vitesses axiales dans le courant ascendant central et le courant descendant périphérique.

Comme pour les profils de pression, les profils de vitesse axiale à  $y=20$  mm sont parfaitement symétriques par rapport à l'axe central, quelle que soit la vitesse d'alimentation. Cette symétrie confirme l'axisymétrie de l'écoulement hélicoïdal à cette position axiale.

En conclusion, le graphique met en évidence l'effet marqué de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale dans le desilter à  $y=20$  mm. L'augmentation de la vitesse intensifie les courants ascendants et descendants caractéristiques de l'écoulement hélicoïdal, tout en préservant la symétrie axiale. Cette évolution est directement liée à l'intensification du tourbillon à haute vitesse, qui renforce le transport de fluide dans les deux directions axiales.

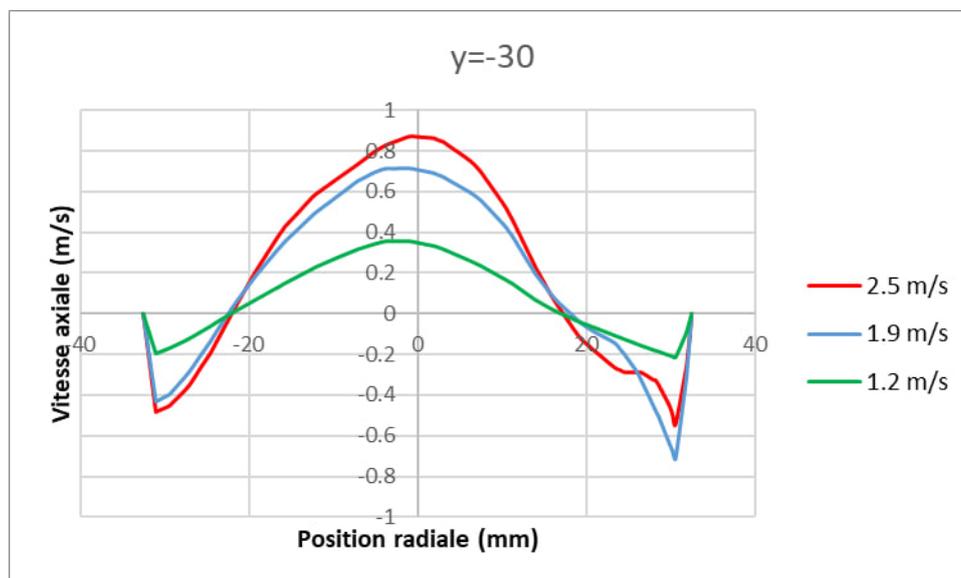


Figure 5.10 : graphe de la vitesse axiale dans la position  $y=-30$

Le graphique de la figure 5.10 présente des courbes de vitesse axiale en fonction de la position radiale dans le desilter, à la position axiale  $y=-30$  mm, pour les trois vitesses d'alimentation (1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s) :

Les profils de vitesse axiale à  $y=-30$  mm présentent une allure similaire à ceux observés à  $y=20$  mm, avec des vitesses positives au centre, indiquant un écoulement ascendant, et des vitesses négatives près des parois, correspondant à un écoulement descendant. Cependant, les amplitudes des vitesses sont nettement plus faibles à cette position axiale plus éloignée de l'alimentation. L'effet de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale est moins prononcé à  $y=-30$  mm qu'à  $y=20$  mm. L'augmentation de la vitesse de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, intensifie les vitesses axiales, mais dans une moindre mesure. À 2,5 m/s, la vitesse axiale atteint environ 0,9 m/s au centre et descend jusqu'à -0,6 m/s près des parois. À 1,9 m/s, les vitesses varient entre 0,7 m/s au centre et -0,7 m/s en périphérie. Enfin, à 1,2 m/s, les vitesses

sont comprises entre 0,4 m/s et -0,2m/s. Cette atténuation de l'effet de la vitesse d'alimentation sur les vitesses axiales à  $y=-30$  mm peut s'expliquer par un affaiblissement de l'écoulement hélicoïdal à cette position axiale. Plus on s'éloigne de l'alimentation, moins le tourbillon est intense, ce qui se traduit par des vitesses axiales plus faibles dans les courants ascendant et descendant. Malgré ces différences d'amplitude, les profils de vitesse axiale à  $y=-30$  mm restent parfaitement symétriques par rapport à l'axe central pour les trois vitesses d'alimentation, confirmant le maintien de l'axisymétrie de l'écoulement hélicoïdal à cette position.

En résumé, à la position axiale  $y=-30$  mm, l'influence de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale dans le desilter est moins marquée qu'à  $y=20$ mm. Les vitesses axiales sont plus faibles et leur intensification avec la vitesse d'alimentation est moins prononcée, suggérant un affaiblissement de l'écoulement hélicoïdal loin de l'alimentation. Néanmoins, la structure de l'écoulement avec un courant ascendant central et un courant descendant périphérique est conservée, ainsi que sa symétrie axiale, pour toutes les vitesses étudiées.

### La vitesse tangentielle

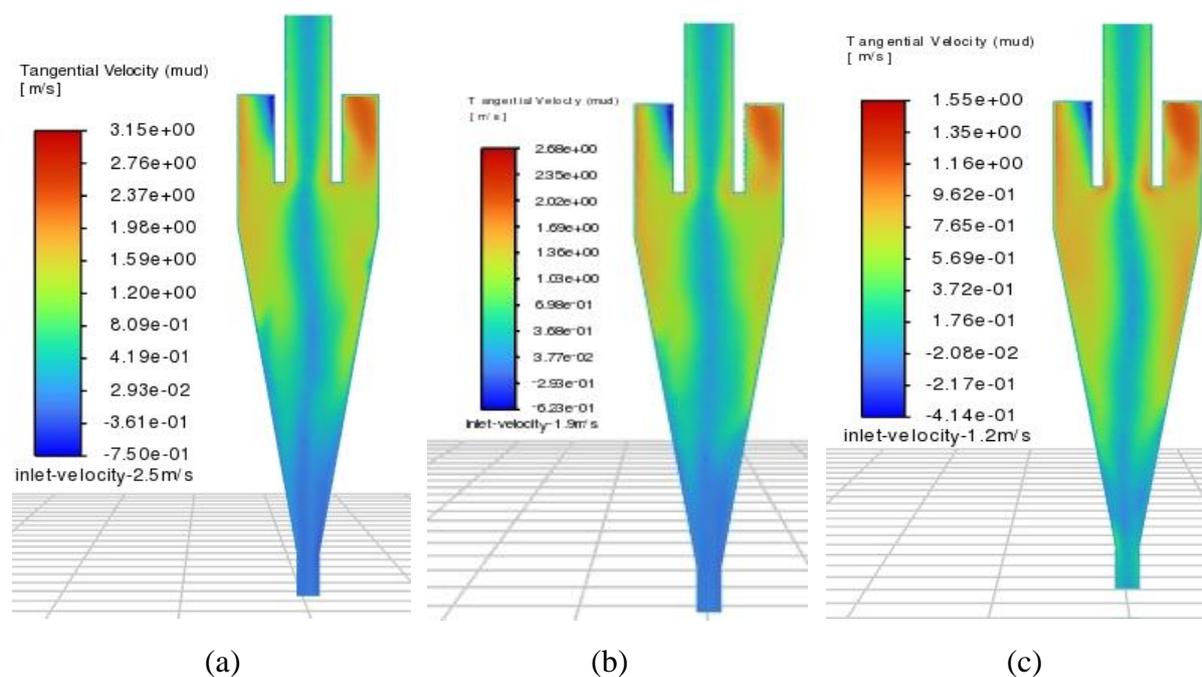


Figure 5.11 : Les contours de vitesse tangentielle

Vitesse d'alimentation (a): 2.5m/s, (b): 1.9 m/s, (c): 1.2 m/s

Les contours de vitesse tangentielle de la figure 5.11 présentent une distribution similaire pour les trois vitesses d'alimentation, avec des vitesses tangentielles maximales près des parois du desilter (zones rouges) et minimales au centre (zones bleues).

Pour une vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, la vitesse tangentielle maximale atteint environ 3,15 m/s près des parois et la vitesse minimale est d'environ 7,5e-01 m/s au centre.

À 1,9 m/s, la vitesse tangentielle maximale est d'environ 2,68 m/s près des parois et la vitesse minimale est d'environ 6,25e-01 m/s au centre.

Enfin, à 1,2 m/s, la vitesse tangentielle maximale est d'environ 1,55 m/s près des parois et la vitesse minimale est d'environ  $-4,14 \times 10^{-1}$  m/s au centre.

Cette distribution est caractéristique du mouvement de rotation induit par l'injection tangentielle du fluide dans le desilter. Les vitesses tangentielles élevées près des parois génèrent la force centrifuge qui pousse les particules vers l'extérieur.

L'influence de la vitesse d'alimentation est clairement visible. Les vitesses tangentielles les plus élevées sont observées pour 2,5 m/s, suivies de 1,9 m/s puis 1,2 m/s. La vitesse maximale passe de  $3,15 \times 10^1$  m/s à 2,5 m/s à 2,66 m/s à 1,9 m/s, puis à 1,55 m/s à 1,2 m/s. Cela montre que la rotation du fluide s'intensifie quand la vitesse d'alimentation augmente.

Il est intéressant de noter que la zone de hautes vitesses tangentielles (en rouge) s'élargit quand la vitesse d'entrée augmente, occupant une portion plus importante près des parois à 2,5 m/s comparé à 1,9 m/s et 1,2 m/s. Cela suggère une intensification du mouvement rotationnel à haute vitesse.

En conclusion, les contours de vitesse tangentielle illustrent bien le mouvement de rotation dans le desilter et son amplification avec l'augmentation de la vitesse d'alimentation, les vitesses maximales passant de  $3,15 \times 10^1$  m/s à 2,5 m/s à  $1,55 \times 10^1$  m/s à 1,2 m/s près des parois. Cette rotation crée la force centrifuge nécessaire à la séparation des particules.

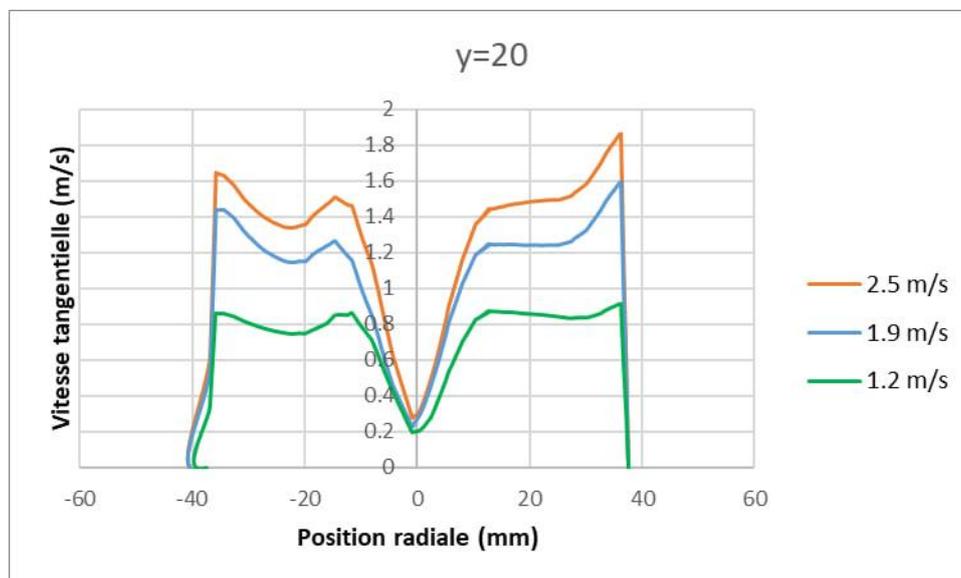


Figure 5.12 : graphe de vitesse tangentielle  $y=20$

La figure 5.12 présente des courbes de vitesse tangentielle en fonction de la position radiale dans le desilter, à la position axiale  $y=20$  mm, pour les trois vitesses d'alimentation (1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s) :

Les profils de vitesse tangentielle à  $y=20$  mm présentent une allure caractéristique en "M", avec des vitesses élevées près des parois et une diminution progressive vers le centre de l'appareil. Cette distribution est typique de l'écoulement tourbillonnaire confiné dans le desilter, où la vitesse tangentielle est le principal moteur de la séparation des particules par effet centrifuge.

L'effet de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse tangentielle est très marqué. Une augmentation de la vitesse d'alimentation de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, intensifie

considérablement les vitesses tangentielles à toutes les positions radiales. À 2,5 m/s, la vitesse tangentielle atteint près de 1,9 m/s près des parois. À 1,9 m/s, elle est d'environ 1,6 m/s aux mêmes positions. En comparaison, à 1,2 m/s d'alimentation, la vitesse tangentielle ne dépasse pas 0,9 m/s près des parois.

Cette amplification de la vitesse tangentielle avec la vitesse d'alimentation s'explique par l'intensification du tourbillon dans le desilter. Une vitesse d'entrée plus élevée communique plus d'énergie au fluide, ce qui se traduit par une rotation plus rapide et donc des vitesses tangentielles accrues.

Il est intéressant de noter que le pic de vitesse tangentielle se décale légèrement vers l'intérieur de l'appareil lorsque la vitesse d'alimentation augmente. Ce phénomène peut s'expliquer par l'expansion du tourbillon sous l'effet de la force centrifuge à haute vitesse.

Enfin, les profils de vitesse tangentielle à  $y=20$  mm sont parfaitement symétriques par rapport à l'axe central, quelle que soit la vitesse d'alimentation. Cette symétrie confirme l'axisymétrie de l'écoulement tourbillonnaire à cette position axiale.

En conclusion, le graphique met en évidence l'influence majeure de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse tangentielle dans le desilter à  $y=20$  mm. L'augmentation de la vitesse intensifie fortement la rotation du fluide, générant des vitesses tangentielles élevées près des parois, tout en préservant la symétrie axiale de l'écoulement. Cette évolution est directement liée à l'intensification du tourbillon à haute vitesse, qui améliore la séparation des particules par effet centrifuge dans le desilter.

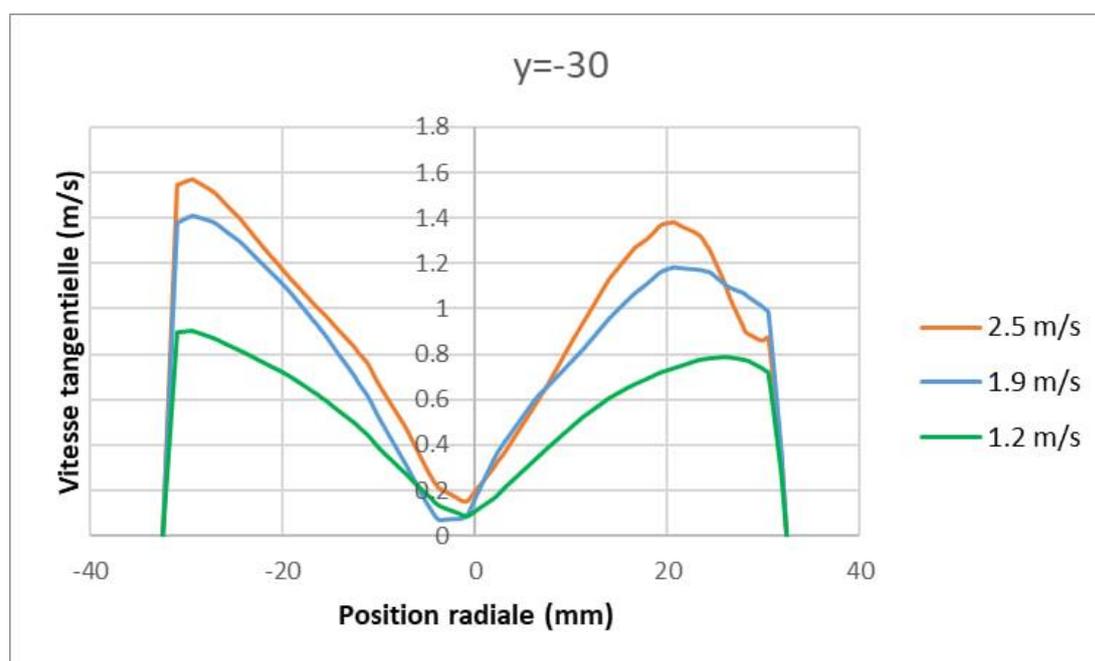


Figure 5.13 : La vitesse tangentielle dans  $y=-30$ .

La figure 5.13 illustre la variation de la vitesse tangentielle en fonction de la position radiale dans le desilter, à une position axiale de  $y=-30$ , pour trois vitesses d'alimentation différentes (1,2 m/s, 1,9 m/s et 2,5 m/s).

Les courbes de vitesse tangentielle présentent une forme en "M" caractéristique, avec des vitesses plus élevées près des parois et une diminution graduelle vers le centre de l'appareil. Cette distribution de vitesse est représentative de l'écoulement tourbillonnaire dans le desilter, où la vitesse tangentielle joue un rôle clé dans la séparation des particules par force centrifuge.

La vitesse d'alimentation a un impact significatif sur les profils de vitesse tangentielle. Lorsque la vitesse d'alimentation passe de 1,2 m/s à 1,9 m/s, puis à 2,5 m/s, on observe une augmentation notable des vitesses tangentielles à toutes les positions radiales. A une vitesse d'alimentation de 2,5 m/s, la vitesse tangentielle atteint environ 1,6 m/s près des parois, contre 1,4 m/s à 1,9 m/s et moins de 0,9 m/s à 1,2 m/s.

Cette augmentation de la vitesse tangentielle avec la vitesse d'alimentation est due à l'intensification du tourbillon dans le desilter. Une vitesse d'entrée plus élevée transmet plus d'énergie au fluide, entraînant une rotation plus rapide et, par conséquent, des vitesses tangentielles plus élevées.

On peut également observer un léger décalage du pic de vitesse tangentielle vers l'intérieur de l'appareil lorsque la vitesse d'alimentation augmente, probablement en raison de l'expansion du tourbillon sous l'effet de la force centrifuge à haute vitesse.

Enfin, les profils de vitesse tangentielle à  $y=-30$  mm sont parfaitement symétriques par rapport à l'axe central pour toutes les vitesses d'alimentation, confirmant l'axisymétrie de l'écoulement tourbillonnaire à cette position axiale.

En résumé, le graphique souligne l'influence significative de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse tangentielle dans le desilter à  $y=-30$ mm. L'augmentation de la vitesse d'alimentation intensifie considérablement la rotation du fluide, générant des vitesses tangentielles élevées près des parois tout en maintenant la symétrie axiale de l'écoulement. Cette évolution est étroitement liée à l'intensification du tourbillon à haute vitesse, qui améliore la séparation des particules par force centrifuge dans le desilter.

### 5.3.4. Distribution de la Fraction Volumique des Particules

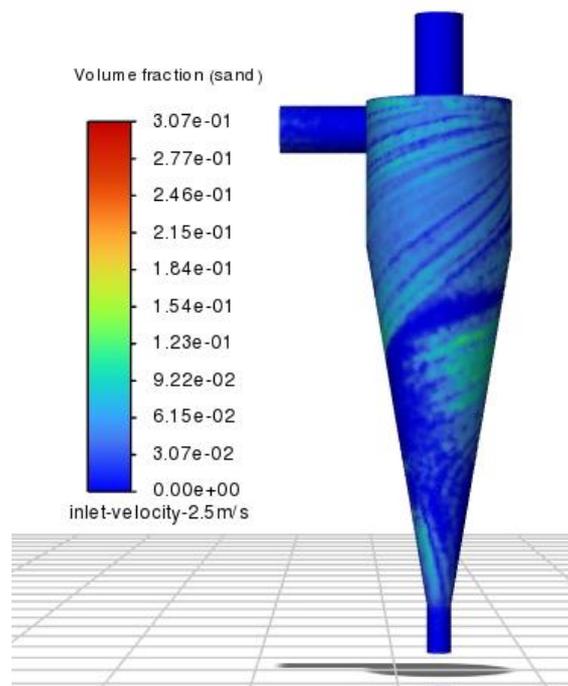


Figure 5.14 : Contour de fraction volumique

La distribution des particules dans le fluide est représentée sur la figure 5.14. Les zones rouges de la légende, où la fraction volumique est la plus élevée (jusqu'à  $3,07e-01$ ), indiquent une forte concentration de particules. Ces zones se situent principalement dans la partie inférieure du desilter, ce qui suggère que les particules ont tendance à s'accumuler dans cette région sous l'effet de la force centrifuge et de la gravité.

En remontant vers le centre du desilter, on observe une diminution progressive de la fraction volumique, avec des valeurs comprises entre  $9,22e-02$  et  $1,54e-01$  (zones jaunes et vertes). Cette variation graduelle de la concentration en particules témoigne du processus de séparation en cours, les particules migrant progressivement vers la partie inférieure de l'appareil.

Dans la partie supérieure du desilter, la fraction volumique est très faible (zones bleues, valeurs inférieures à  $3,07e-02$ ). Cela indique que le fluide dans cette zone est presque entièrement dépourvu de particules, ce qui est l'objectif recherché. Le fluide moins dense peut ainsi être évacué par la sortie supérieure de l'appareil.

Il est intéressant de noter une légère dissymétrie dans la distribution des particules, avec une concentration légèrement plus élevée d'un côté que de l'autre. Cette dissymétrie pourrait être due à des effets hydrodynamiques complexes liés à la géométrie du desilter ou à des conditions d'alimentation non uniformes.

En résumé, les contours de fraction volumique des particules solides illustrent bien le processus de séparation au sein du desilter, avec une accumulation des particules dans la partie inférieure de l'appareil et une clarification progressive du fluide vers le haut. La légère dissymétrie

observée pourrait suggérer des pistes d'optimisation pour améliorer encore les performances de séparation. Il serait intéressant de comparer cette distribution de particules avec les champs de vitesse pour mieux comprendre les mécanismes de transport à l'œuvre dans le desilter.

### 5.3.5. Distribution des particules selon le diamètre

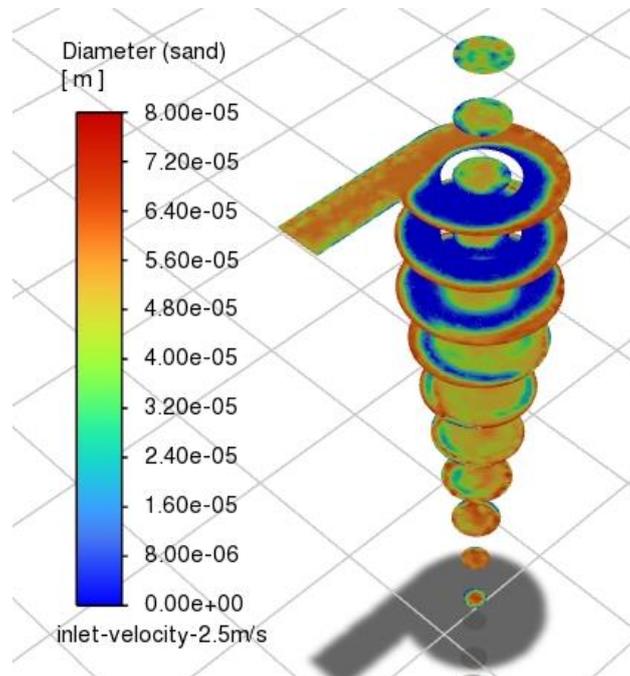


Figure 5.15 : Distribution des diamètres.

La figure 5.15 montre la distribution granulométrique des particules solides en sortie d'un desilter. Les contours de diamètre de particules révèlent les zones de concentration de particules de différentes tailles à différents emplacements dans le desilter. Les régions de concentration élevée suggèrent des endroits où les particules de certaines tailles sont prédominantes, ce qui est crucial pour comprendre comment les particules sont séparées dans le dispositif. On observe une distribution relativement étalée des diamètres, allant d'environ 50  $\mu\text{m}$  à un peu plus de 80  $\mu\text{m}$ . La majorité des particules ont des diamètres compris entre 60 et 75  $\mu\text{m}$ . Cependant, il n'y a pas de pic vraiment dominant. Les proportions de particules sont assez similaires sur toute la gamme 60-75  $\mu\text{m}$ . Seules les particules les plus fines (<55  $\mu\text{m}$ ) et les plus grosses (>75  $\mu\text{m}$ ) sont en quantités plus faibles.

### 5.3.6. Effet des Paramètres de Simulation

L'analyse de l'effet de l'augmentation du débit massique d'entrée dans un desilter révèle des aspects cruciaux de son fonctionnement. Cette augmentation du débit favorise une meilleure séparation des particules en intensifiant les interactions entre les particules et le flux de fluide. Un débit plus élevé permet une dispersion plus efficace des particules dans le flux, ce qui augmente les chances de séparation réussie. Cette observation est fondamentale dans le contexte de l'optimisation des performances des desilters notamment dans des applications où une séparation précise des particules est essentielle.

Cependant, cette amélioration de la séparation s'accompagne d'une augmentation de la perte de charge à travers le desilter. Cette perte de charge supplémentaire indique une plus grande résistance à l'écoulement à travers l'appareil, nécessitant ainsi une quantité d'énergie supplémentaire pour maintenir le débit. Cette considération est importante dans le contexte de l'efficacité énergétique globale du processus, car une perte de charge élevée peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie.

Pour aborder ces deux aspects de manière équilibrée, le choix du modèle de turbulence  $k-\epsilon$  est crucial. Ce modèle offre un compromis entre précision et coût de calcul, ce qui en fait un choix idéal pour une analyse paramétrique. En utilisant ce modèle, nous pouvons obtenir des résultats précis tout en limitant les ressources de calcul nécessaires. Cela nous permet d'explorer efficacement différentes conditions opérationnelles, telles que l'augmentation du débit massique d'entrée, et d'évaluer leur impact sur les performances des desilters. En conséquence, nous sommes en mesure de prendre des décisions éclairées sur la conception et l'exploitation des desilters, en maximisant l'efficacité de séparation tout en minimisant les coûts opérationnels.

### 5.4. Efficacité de séparation

L'efficacité de séparation est un paramètre clé pour évaluer les performances d'un desilter. Elle quantifie la capacité de l'appareil à retirer les particules solides du fluide, et est donc directement liée à la qualité du produit final. Une efficacité élevée garantit une bonne clarification du fluide, tandis qu'une faible efficacité peut compromettre la pureté du produit et nécessiter des étapes de traitement supplémentaires.

Le calcul de l'efficacité de séparation repose sur la comparaison des débits massiques de particules à l'entrée et à la sortie du desilter. Ces débits massiques dépendent à la fois de la concentration en particules et du débit volumique du fluide. Ainsi, pour une concentration donnée, un débit volumique plus faible conduira à un débit massique de particules plus faible. De même, pour un débit volumique donné, une concentration plus élevée se traduira par un débit massique de particules plus important.

L'hydrodynamique du desilter joue un rôle essentiel dans l'efficacité de séparation. Comme le montrent les contours de vitesse tangentielle, une vitesse d'alimentation élevée génère une forte rotation du fluide, créant ainsi une force centrifuge importante qui favorise la migration des particules vers les parois. Cette séparation est d'autant plus efficace que les particules sont denses et de grande taille, car elles sont alors plus sensibles à la force centrifuge.

Cependant, l'efficacité de séparation ne dépend pas uniquement de l'hydrodynamique. Les propriétés des particules, telles que leur taille, leur forme et leur densité, influencent également leur comportement dans le desilter. Des particules plus petites et moins denses seront ainsi plus difficiles à séparer, car elles suivront davantage les lignes de courant du fluide. De même, des particules de forme irrégulière peuvent avoir une trajectoire plus complexe que des particules sphériques.

Les conditions opératoires, notamment le débit et la concentration en solides, ont aussi un impact sur l'efficacité de séparation. Un débit trop élevé peut réduire le temps de séjour des particules dans le desilter, limitant ainsi leur migration vers les parois. De plus, une

concentration en solides trop importante peut conduire à des interactions entre particules qui perturbent leur séparation.

Pour maximiser l'efficacité de séparation dans les desilters, il est essentiel de trouver une vitesse d'alimentation optimale qui équilibre le temps de résidence et la dynamique des particules.

Les effets de la vitesse d'alimentation peuvent être observés dans le tableau ci-dessous.

Vitesse d'alimentation (m/s)	Débit massique dans l'alimentation, (kg/s)	Débit massique dans sousverse (kg/s)	Efficacité, en %
1.2	0.0432	0.0226	52.31
1.9	0.0757	0.0476	62.87
2.5	0.0901	0.0804	89.23

Tableau 5.1 : Effets de la vitesse d'alimentation sur l'efficacité.

Le desilter, lorsqu'il est alimenté à une vitesse de 2,5 m/s, a démontré la plus grande efficacité de séparation, atteignant un taux impressionnant de 89 %.

### 5.5. Conclusions

Dans ce chapitre intitulé "Discussion et Analyse des Résultats", nous avons exploré en profondeur les performances du desilter à travers une simulation CFD réalisée avec ANSYS Fluent. Notre modèle de simulation a été validé et les résultats des différentes simulations du fonctionnement du desilter ont permis une analyse détaillée des graphes et des contours, ainsi qu'une comparaison des distributions de vitesse et de pression en fonction des différentes vitesses d'alimentation.

L'étude a révélé que la vitesse d'alimentation joue un rôle crucial dans l'efficacité de séparation du desilter. Plus précisément, une vitesse d'alimentation de 2,5 m/s a permis d'atteindre une efficacité de séparation maximale de 89 %, démontrant ainsi l'importance de l'optimisation des conditions d'opération pour des performances accrues. Les profils de pression et les champs de vitesse obtenus ont confirmé ces observations, mettant en évidence les zones critiques pour l'amélioration des processus de séparation.

En conclusion, cette analyse approfondie fournit des informations essentielles pour l'optimisation des desilters, contribuant ainsi à une meilleure compréhension et à une amélioration des techniques de séparation dans les applications industrielles.

### Conclusion générale<sup>[F2]</sup>

Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons exploré l'importance du desilter dans le système de circulation d'un appareil de forage. Nous avons particulièrement mis en lumière le rôle crucial du desilter dans l'élimination des particules solides de la boue de forage.

Nous avons examiné le fonctionnement de l'hydrocyclone, en mettant l'accent sur le desilter, et les divers facteurs qui impactent son efficacité dans le processus d'épuration de la boue.

De plus, nous avons présenté une revue de la littérature scientifique pertinente à notre sujet d'étude à l'aide d'articles traitant de l'amélioration des performances des desilters.

Nous avons présenté les équations gouvernantes du phénomène d'écoulement de la boue de forage dans le desilter et un modèle de turbulence RNG k-epsilon pour caractériser l'écoulement turbulent dans le desilter. L'étude numérique a été réalisée à l'aide du logiciel ANSYS.

Pour assurer la précision des calculs, nous avons effectué une étude de sensibilité du maillage.

Après validation du modèle de simulation, nous avons effectué diverses simulations du fonctionnement du desilter, puis une analyse détaillée des graphes et des contours, ainsi qu'une comparaison des distributions de vitesse et de pression pour différentes vitesses d'alimentation.

L'analyse de la distribution de la pression à l'intérieur d'un desilter a montré que la pression statique dans le desilter varie en fonction de la position radiale et de la vitesse d'alimentation, avec des pressions plus élevées et une variation plus prononcée à  $y=20$  mm, indiquant que la position axiale joue un rôle crucial dans la distribution de la pression statique et l'efficacité de la séparation cyclonique.

L'étude de la distribution de la vitesse dans un desilter a montré l'influence de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale dans le desilter, que dans la position  $y=-30$  l'influence de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse axiale dans le desilter est moins marquée qu'à  $y=20$  mm. Les vitesses axiales sont plus faibles et leur intensification avec la vitesse d'alimentation est moins prononcée, suggérant un affaiblissement de l'écoulement hélicoïdal loin de l'alimentation. Néanmoins, la structure de l'écoulement avec un courant ascendant central et un courant descendant périphérique est conservée, ainsi que sa symétrie axiale, pour toutes les vitesses étudiées.

L'étude de la distribution de la vitesse dans un desilter a montré l'influence de la vitesse d'alimentation sur les profils de vitesse tangentielle. L'augmentation de la vitesse d'alimentation intensifie considérablement la rotation du fluide, générant des vitesses tangentielles élevées près des parois tout en maintenant la symétrie axiale de l'écoulement. Cette évolution est étroitement liée à l'intensification du tourbillon à haute vitesse, qui améliore la séparation des particules par force centrifuge dans le desilter.

L'accumulation des particules au bas du desilter et la clarification progressive du fluide vers le haut révèlent l'efficacité du processus de séparation. La légère dissymétrie observée indique des opportunités d'optimisation pour améliorer encore les performances du système.

Les résultats ont montré que la vitesse d'alimentation est un paramètre clé influençant l'efficacité de séparation du desilter. Une vitesse d'alimentation optimale de 2,5 m/s a permis d'atteindre une efficacité de séparation maximale de 89 %, soulignant l'importance d'optimiser les conditions opératoires pour améliorer les performances. Les profils de pression et les champs de vitesse obtenus ont corroboré ces observations et ont mis en évidence les zones critiques à cibler pour optimiser les processus de séparation.

## Références

- [1] D. Stephens, *TURBULENCE MODEL ANALYSIS OF FLOW INSIDE A HYDROCYCLONE*, 2009.
- [2] A.NACEF, *Drilling Rig Equipment*, Iap Boumerdes.
- [3] S.BRIDGES, *A PRACTICAL HANDBOOK FOR DRILLING FLUIDS PROCESSING*, Houston, TX, United States.
- [4] J. Hill, *DRILLING FLUIDS ROCESSING*, Oxford, 2005.
- [5] J. J. Cilliers, «Hydrocyclones for Particle Size Separation,» chez *PARTICLE SIZE SEPARATION*, Manchester,UK, 2000.
- [6] R. Chowdhury, *Analyzing the effect of the density of medium on efficiency of hydrocyclone separator in sorting of PVC and PET using CFD*, 2023.
- [7] L. Zhou, *Computational fluid dynamics and experimental investigation of inlet flow rate effects on separation performance of desanding hydrocyclone*, 2022.
- [8] P. Liu, *Effects of inlet concentration on the hydrocyclone separation performance with different inlet velocity*, 2020.
- [9] M. Izadi, *Optimization of solid-liquid separator design and performance.*, 2020.
- [10] R. Murthy, *Etudes paramétriques approfondies en utilisant la dynamique des fluides computationnelle (CFD).*, 2012.
- [11] K. Bhaskar, *CFD simulation and experimental validation studies on hydrocyclones*, 2007.
- [12] N. Mangadoddy, *Numerical simulation of industrial hydrocyclones performance : Role of turbulence modelling*, 2016.
- [13] Shu-ling, *CFD numerical simulation of flow velocity characteristics of hydrocyclone*, 2011.
- [14] Utikar, *Hydrodynamic Simulation of Cyclone Separators*, 2010 .
- [15] K. Hsieh, *Phenomenological model of the hydrocyclone: model development and verification for single-phase flow*, 1988.

[F3]