

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

Université M'Hamed Bougara de Boumerdès
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, option : Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par :

- REGHIS Khireddine
- LAKHZOUM Mohamed Rafik

THEME

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES PERFORMANCES DU
DESSABLEUR DU SYSTEME DE CIRCULATION DE L'INSTALLATION
DE FORAGE**

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Encadreur	Mr. BENBRIK Abderrahmane	Pr	UMBB
Examineur	Mr. BLOUL Benattia	MC/B	UMBB
Examineur	HARHOUT Riad	MC/B	UMBB
Examineur	Mr. SABRI Khier	MC/B	UMBB

Boumerdès 2023

Remerciement

Avant tous on remercie le bon dieu ALLAH le plus puissant et le miséricordieux qui nous a donné la patience, la force et la foi pour finir ce travail et pour les challenges de chaque journée qui nous ont permis d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements les plus vifs et sincères vont à nos parents : REGHIS CHERIF, MESSAI SAMIA et LAKHZOUM LAMINE, HIMEUR NOUARRA pour leurs soutien permanent.

Ce travail a été rendu possible grâce au soutien, patience, l'aide de notre promoteur Mr BENBRIK ABDERRAHMANE, qu'il soit particulièrement remercié de la confiance qu'il nous a accordé au long de ce mémoire, pour avoir suivi étape par étape le travail et était toujours à l'écoute, pour ses directives, remarques et suggestions mais aussi par ses encouragements et sa disponibilité.

Nos vifs remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de l'ENAFOR #15 et l'ensemble du personnel du département de solide contrôle de HALLIBURTON.

Enfin on tient à remercier vivement tous ceux qui ont participé de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.

On terminera en pensant, sans les nommer, à tous ceux que nous avons croisé sur notre chemin et qui ont contribué à rendre possible notre parcours.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

À **ma chère mère**, mon pilier de force,

Tes encouragements inépuisables et ton amour inconditionnel m'ont porté tout au long de ce parcours d'études. Tu as été ma source de soutien inébranlable, ma confidente et mon inspiration. Sans ton dévouement et ta présence bienveillante, je n'aurais jamais pu atteindre cet accomplissement. Cette dédicace est un témoignage de ma gratitude éternelle envers toi, ma merveilleuse mère.

À **mon cher père**, mon guide éclairé,

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 **mon cher frère** Taha et **mes très chères sœurs**.

À toute **ma famille**,

À **mon cousin Fares** qui est généreusement dévoué à consacrer son temps et ses efforts pour m'aider à accomplir mon stage de fin d'études,

À **mon binôme LAKHZOUM Med Rafik**, pour sa patience,

À **mes tous amis (es)** 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 collègues du comité UGEA**, en particulier **Khamgani Mahdi**, pour leur collaboration précieuse,

Enfin, à **moi-même**, pour avoir persévéré face aux obstacles et pour avoir donné le meilleur de moi-même dans la réalisation de ce mémoire. Ce travail représente une étape importante de mon parcours académique, et je suis fier d'avoir relevé ce défi avec succès.

Je dédie ce mémoire de fin d'études à chacune de ces personnes qui ont contribué à mon parcours, à ma croissance personnelle et à ma réussite. Votre soutien, votre amour et votre présence ont été des éléments essentiels dans ma vie, et je suis profondément reconnaissant de vous avoir à mes côtés.

Reghis khiredine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à : La personne dont j'ai bien aimé sa présence dans ce jour spécial, à la femme de ma vie et mon exemple éternel, à la femme qui m'a toujours soutenu, forgé et protégé, à ma source de bonheur j'espère que j'étais à la hauteur de tes espérances, la personne qui a laissé une graine de sagesse qui germe dans mon âme, ce n'est pas question de sang mais qui te tient la main le jour où tu en as plus besoin, à la mémoire de ma grand-mère disparue, repose en paix.

À la personne qui peut remplacer tout le monde mais ne jamais être remplacé, à la lumière de ma vie, toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ou exprimer ma gratitude, mon amour, à celle qui s'est sacrifiée pour me voir réussir et m'encourager durant toutes mes années d'études, ma mère, ma source d'efforts, merci.

À Mon très cher père, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être

À mon cher frère et mes très chères sœurs.

A monsieur CH. ABDELHAFID, mes confidents, vous avez été toujours présents à mes côtés pour me consoler quand il fallait, je vous 'aime

À me oncle ABDERAHIM pour votre soutien

À mon binôme REGHIS Khireddine pour sa patience. À mes très chers amis (es) qui m'ont soutenu et encouragé au long de mon travail.

À tous ceux qui m'ont sorti de l'ignorance et m'ont appris un mot, une phrase, une idée, une leçon dans ma vie.

Lakhzoum med rafik

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'amélioration des performances du dessableur dans le système de circulation d'une installation de forage. À travers une étude approfondie, il examine la théorie du fonctionnement du dessableur, les paramètres influençant les performances de séparation et les calculs nécessaires. De plus, il aborde la maintenance du dessableur, en décrivant les différentes formes de maintenance et les outils utilisés. En résumé, ce mémoire offre une analyse complète du dessableur et propose des recommandations pour optimiser son fonctionnement, contribuant ainsi à l'amélioration globale des opérations de forage.

SOMMAIRE

Introduction.....	5
Introduction générale	5
1. Situation géographique du puit BEK-5	7
2. Programme de forage de puit BEK-15	7
3. Caractéristique technique de l'appareil ENF # 15	10
Chapitre 1 : Généralité sur le système de circulation d'une installation de forage.....	11
1.1 Introduction.....	11
1.2 Etude bibliographique.....	11
1.3 Fluide de forage	12
1.3.1 Types de boue de forage	13
1.3.2 Rôle du fluide de forage.....	13
1.4 Système de circulation	14
1.4.1 Circuit boue ENF#15	15
1.4.2 Partie haute pression (HP)	17
1.4.3 Partie basse pression BP	19
1.5 Problématique	28
1.6 Conclusion	28
Chapitre 2 : Théorie de fonctionnement du dessableur	29
2.1 Introduction.....	29
2.2 Hydrocyclonage	29
2.2.1 Principe de fonctionnement des hydrocyclones.....	29
2.2.2 Séparation centrifuge des hydrocyclones.....	32
2.2.3 Capacité des hydrocyclones	33
2.3 Dessablages.....	35
2.3.1 Description de dessableur	35
2.3.2 Principe de fonctionnement de dessableur.....	36
2.4 Eliminations des particules	37
2.4.1 Classifications des particules solides dans la boue de forage	37
2.4.2 Diamètre de l'hydrocyclone	39
2.5 Influence de certains paramètres sur les performances de séparation	39
2.6 Limitation de dessableur	40
Chapitre 3 : Calcul, analyse et discussion des paramètres et des résultats de fonctionnement de dessableur.....	41

3.1 Introduction.....	41
3.2 Formulations pour les calculs des hydrocyclones.....	41
3.2.1 Calcul de la maille de coupure.....	41
3.2.2 Capacité de traitement (débit d'alimentation) d'un cyclone.....	44
3.2.3 Calcul de dessableur à la résistance mécanique.....	45
3.3 Modélisation et calcul approchée d'un cyclone	46
3.3.1 Modélisations pour la maille de coupure	46
3.3.2 Calcul approché.....	48
3.3.3 Calcul de l'hydrocyclonage à la résistance mécanique	54
3.4 Calcul de la puissance nécessaire	55
3.4.1 La hauteur manométrique	55
3.4.2 Calcul de puissance nécessaire	56
3.5 Conclusions.....	57
Chapitre 4 : Maintenance du dessableur.....	58
4.1 Introduction.....	58
4.2 Différentes formes de maintenance	58
4.3 Maintenance de dessableur	59
4.3.1 Les tâches de maintenance effectuées sur le dessableur.....	59
4.3.2 Différents types d'outils et d'équipements utilisés pour la maintenance du dessableur	60
4.4 Maintenance de desilter	60
4.4.1 Vérifier l'usure des pièces d'usure (apex) du desilter.....	60
4.5 Diagramme d'ishikawa	62
4.6 Type de maintenance applique sur les dessableurs.....	63
4.7 Conclusion	64
CONCLUSION.....	64
Conclusion générale.....	65
Références.....	67

Liste de figure

Figure 1.1 : Composant d'un appareil de forage.....	15
Figure 1.2 : Système de circulation de rig enf#15.	16
Figure 1.3 : Pompe de suralimentation de l'appareil ENF#15.....	17
Figure 1.4 : La pompe à boue de RIG ENF#15.	18
Figure 1.5 : Degré de séparation de chaque équipement de traitement mécanique.	20
Figure 1.6 : Tamis vibrant de RIG ENF#15.	21
Figure 1.7 : Séparateur verticale de gaz de rig enf#15	22
Figure 1.8 : Dégazeur de boue de rig ENF#1	22
Figure 1.9 : Dessin d'un mud cleaner la marque derrick.....	23
Figure 1.10 : Photo réel du Mud cleaner de RIG ENF#15 la marque Derrick.	24
Figure 1.11 : Dessaleur de mud cleaner marque derrick	25
Figure 1.12 : Desilter de mud cleaner marque derrick.....	26
Figure 1.13 : Centrifugeuse.	27
Figure 2.1 : Hydrocyclone.....	30
Figure 2.2 : Principe de fonctionnement d'un hydrocyclone.....	30
Figure 2.3 : décharges et parapluie en boudin à la sousverse.	31
Figure 2.4: Photographies des types de décharges à la sousverse (a)en parapluie (b) en boudin.....	31
Figure 2.5 : Gravité et force centrifuge.....	32
Figure 2.6 : les zones de dessableur de marque derrick.....	35
Figure 2.7 : Composant d'un cône de dessableur	36
Figure 2.8 : Théorie de fonctionnement de dessableur	37
Figure 2.9 : Répartition des particules dans l'hydrocyclone.....	38
Figure 2.10 : Classification des appareils de séparation selon la taille des particules.....	38
Figure 2.11 : Sélection d'hydrocyclone en fonction du débit d'alimentation et de maille de coupur	39
Figure 3.1 : dimensions d'un hydrocyclone.....	42
Figure 3.2 : Schéma d'un corps du cyclone	46
Figure 3.3 : Un point matériel du corps du cyclone.....	46
Figure 3.4 : Variation de d_{50c} en fonction de $\rho_s - \rho_l$	49
Figure 3.5 : Variation de d_{50c} en fonction de diamètre D_i	50
Figure 3.6 : Variation de d_{50c} en fonction du diamètre de cyclone D_c	51
Figure 3.7 : Variation de d_{50c} en fonction du débit Q	52
Figure 3.8 : Variation de pression en fonction de la masse volumique ρ	56
Figure 4.1 : Composants de dessableur (les parties principales d'un dessableur).....	59
Figure 4.2 : Les composantes d'un desilter	61
Figure 4.3 : Cône de desilter après l'inspection visuelle	61
Figure 3.4 : Inspection visuelle de desilter	61
Figure 4.5 : Pièce d'usure de desilter.....	62
Figure 4.6 : Diagramme d'Ishikawa pour les hydrocyclones	63

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche technique de puit BEK-5.....	7
Tableau 2: Programme de fluide de forage.....	8
Tableau 3: Caractéristique technique de l'appareil ENF#15	10
Tableau 2.1: Capacité des hydrocyclones.....	33
Tableau 2.2 : Choix de nombre de cones de dessableur	34
Tableau 3.1 : Variations de k en fonction de l'angle du cône dans l'équation (5).....	45
Tableau 3.2 : Valeurs du diamètre D_c du cyclone en fonction de la granulométrie et de la fraction massique des solides w dans l'alimentation pour les formules de Dahlstrom (2) et (5)	47
Tableau 3.3 : Valeur de d_{50c} en fonction de $(\rho_s - \rho_l)$	49
Tableau 3.4 : Valeur de d_{50c} en fonction de D_i	49
Tableau 3.5 : Valeur de d_{50c} en fonction du diamètre de cyclone D_c	51
Tableau 3.6 : Valeur de d_{50c} en fonction du débit Q	52
Tableau 3.7 : Dimensionnement d'un cyclone selon différents auteurs.....	54
Tableau 3.8 : Valeur de pression en fonction de la masse volumique ρ [18]	55
Tableau 4.1 : Classification des opérations de maintenance avec leurs types.....	63

Introduction générale

L'exploitation des hydrocarbures est une activité complexe qui nécessite l'utilisation des équipements de forage sophistiqués. L'un des défis majeurs auxquels les entreprises pétrolières sont confrontées est la gestion des déblais (débris de roches, grains de sable et autres particules solides) remontés par la boue de forage lors de l'avancement de l'outil. Ces particules peuvent endommager les équipements de forage et augmenter les coûts de maintenance. Pour résoudre ce problème, les systèmes de circulation de l'installation de forage sont équipés de tamis vibrants, de dessableurs et de desilters qui permettent d'éliminer les particules solides du fluide de forage.

Cependant, il arrive que certaines particules ne soient pas éliminées lors du traitement et soient renvoyées dans le trou. Ce phénomène peut entraîner une accumulation de solides dans le fluide de forage, entraînant des problèmes de nettoyage du trou foré. Dans ce contexte, le dessableur est un équipement clé qui permet d'éliminer les particules solides dont la taille est de l'ordre de 50 à 80 microns. Toutefois, l'efficacité du dessableur dépend de plusieurs paramètres de fonctionnement tels que les dimensions géométriques, la pression, le débit, la viscosité et le nombre d'unités de dessableur.

Au cœur de l'industrie pétrolière et gazière, la recherche et l'exploitation de ces ressources précieuses sont une entreprise complexe qui exige une attention particulière à chaque étape du processus. Les ingénieurs et les techniciens doivent constamment relever des défis, dont l'un des plus importants est la gestion des fluides de forage.

Ces fluides, composés d'eau, de boues et d'additifs chimiques, sont utilisés pour lubrifier le foret et évacuer les débris du fond du puits. Mais ils sont aussi un véritable défi en matière de gestion des sédiments qui s'accumulent dans le système de circulation. Les sédiments peuvent causer des blocages, réduire la capacité de circulation, augmenter les coûts d'exploitation et les risques pour la sécurité.

Le dessableur, en particulier, joue un rôle crucial en séparant les sédiments du fluide de forage grâce à la force centrifuge. Cependant, il est important de noter que les dessableurs ne sont pas infaillibles et peuvent rencontrer des problèmes tels que les pannes, les obstructions ou l'inefficacité, ce qui peut entraîner des temps d'arrêt coûteux, une production réduite et une efficacité énergétique réduite.

Ainsi, pour améliorer la performance des dessableurs, les ingénieurs ont développé des stratégies de contrôle et de maintenance proactive, ainsi que des technologies avancées pour surveiller en temps réel les performances.

- Problématique

La présence des particules solides dans la boue de forage peut causer plusieurs problèmes pour les équipements du système de circulation. Tout d'abord, les débris de roches, les grains de sable et les 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, les outils de forage, etc.

En effet, ces particules solides abrasives peuvent rayer et endommager les surfaces internes des équipements, ce qui peut entraîner une dégradation prématurée de ces derniers et, par conséquent, des coûts de maintenance plus élevés.

En outre, les particules solides qui ne sont pas éliminées lors du traitement de nettoyage peuvent être renvoyées dans le trou de forage, où elles peuvent causer une abrasion et un réaffûtage sous le trépan de forage. Ces particules peuvent alors devenir trop fines pour être facilement éliminées lors de leur retour à la surface, ce qui peut entraîner une accumulation de solides dans le fluide de forage et des problèmes de nettoyage du trou foré.

En résumé, la présence de particules solides non éliminées dans la boue de forage peut entraîner des coûts de maintenance plus élevés pour les équipements du système de circulation, une dégradation prématurée de ces équipements et des problèmes de nettoyage du trou foré. C'est pourquoi il est important de s'assurer que le dessableur et les autres équipements de nettoyage fonctionnent de manière optimale pour éliminer efficacement ces particules solides.

- Objectif

Le travail envisagé concerne l'amélioration des performances du dessableur en vérifiant ses paramètres de fonctionnement (dimensions géométriques, pression, débit, la masse volumique) en fonction des différentes conditions de travail.

- Structure générale du mémoire

Le mémoire se compose de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, on présente le système de circulation de l'AdF et description du dessableur. Au chapitre 2, une description et théorie de fonctionnement du dessableur. Le chapitre 3 est consacré au calcul des paramètres de fonctionnement du dessableur, suivi d'analyses et discussions des résultats obtenus. Dans le chapitre 4, nous présentons la maintenance du dessableur. Une conclusion générale des travaux a été présentée qui reprend les principaux résultats obtenus.

1. Situation géographique du puit BEK-5

- Localisation de puit bek-5 et les puits verticaux voisins

Dans le cadre de notre stage de fin de formation, nous avons effectué notre séjour à l'entreprise ENAFOR, où nous avons été affecté au puits BIR EL AKHA-5 (BEK-5), qui est situé dans le bloc du bassin Amguid Messaoud (415a-424b et 423), prévu comme puits de développement vertical ; afin de développer et d'évaluer le potentiel d'hydrocarbures du réservoir Triassic SI, considéré comme l'objectif principal. L'appareil de forage d'enf #15 était installé pour le forage de ce puits. [1]

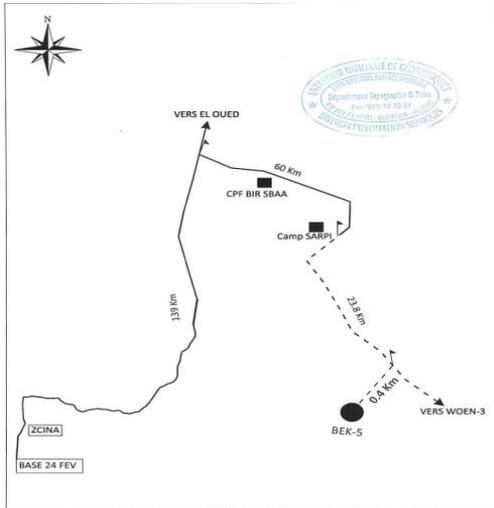


Figure 1 : Localisation de puit BEK-5

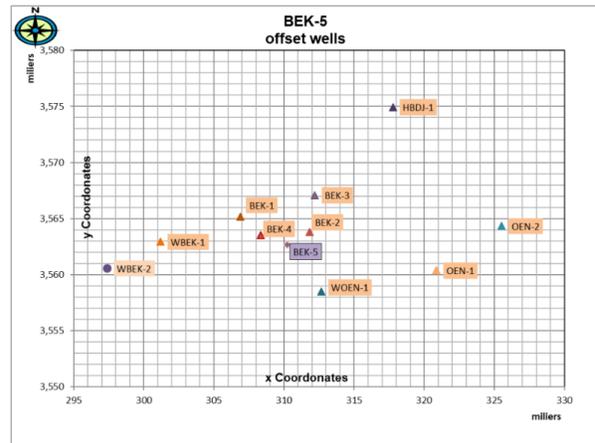


Figure 2 : Puits verticaux voisins de puits BEK-5

2. Programme de forage de puit BEK-15

- Fiche technique du puits

Le tableau I.1 présente les données techniques du puits BEK-5 [1]

Well Name	BIR EL AKHA-5 (BEK-5)
Bloc	415a-424b et 423
Basin	Amguid Messaoud
Périmètre	Touggourt Est I
Coordinates UTM (32)	X = 310 250.950 m, Y = 3 562 632.725 m
Coordinates Geographies	L = 32°11'12.04353"N , M = 6°59'14.21588"E
Gird coordinates	Zs = 134.345m Zt = 143.445m
Profile	Vertical
Well type	Development
Objective Target	Trias (Série Inferieure)
Well Total Depth (RKB)	4012m
Formation at TD	Argile d'El Gassi
Target Days	72.3 days to TD, 102.3days to end of well
Drilling rig	ENF15

Tableau 1: Fiche technique de puit BEK-5

- Programme de fluide de forage

Le tableau I.2 présente les caractéristiques de la boue de forage utilisée durant le forage des différentes phases.

Phase	Type	Density (sg)
36", 26"	WBM	1.05
16"	OBM	1.30
12 1/4"	OBM	2.27
8 1/2"	OBM	1.55

Tableau 2: Programme de fluide de forage

- Architecteur de puits BEK-15

L'architecture du puits de forage en question est présentée au tableau I.3

INTRODUCTION

Premier puits de développement à Objectif principal le Trias Série inférieure.

		Lithologie	MD (m)	TVDSS (m)	Description Lithologique	Carottes	TUBAGES	MW	Diagraphies	
Céno	MIO - PLIOCENE		9	134	sable silico-carbonaté avec passées d'argile et de calcaire dolomitique		36" x 30"			
	EOCENE		179	-36	calcaire dolomitique passant à dolomie avec nodules de silex		85m 26" x 18 5/8"	1.05 sg	Néant	
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	Carbonaté	246	-103	dolomie passant à calcaire dolomitique avec passées anhydritiques		477m 40m in S. Anhyd	1.30sg	Gamma Ray - Sonic (P & S) - Densité - Caliper (GR jusqu'en surface) - VSP
		Anhydritique	437	-294	Alt dolomie, anhydrite, argiles dolomitiques et calcaire blanc					
		Sulfère	-	-	sel massif blanc avec passées argiles dolomitiques localement salifères					
		TURONIEN	605	-462	calcaire localement dolomitique avec passées d'argiles plastiques à la base					
	CENOMANIEN	721	-578	Alt anhydrite, dolomie parfois argileuse et argile localement dolomitique						
	ALBIEN	911	-768	Grès argileux à silico-argileux avec passées de dolomie microcristalline						
	APTIEN	1104	-961	barre dolomitique calcaire microcristalline avec passées de marne indurée						
	BARREMIEN	1132	-989	Alt grès brun, argile verte silto-sableuse et dolomie avec présence de lignite						
	NEOCOMIEN	1441	-1298	argile carbonatée, silteuse avec passées de grès silico-carbonaté						
	JURASSIQUE	LIAIS	MALM	1676	-1533	Alt argile silteuse à silto-gréseuse, grès argileux et anhydrite, pyrite, lignite (TR)		2210m 40m in L. Anhyd	2.27 sg	Gamma Ray - Sonic (P & S) - Densité - Caliper - VSP
			DOG	Argileux	1973	-1830	Alt argile silteuse dolomitique, grès argileux et anhydrite blanche pulvérolente			
			Lagunaire	2052	-1909	anhydrite blanche avec passées d'argile silteuse, dolomitique et dolomie dure				
		L.Anhydritique	2170	-2027	anhydrite blanche avec passées d'argile dolomitique et dolomie dure					
		L.Sulfère	2597	-2454	sel massif translucide avec passées d'argiles silteuses brun rouge					
Horizon B		2661	-2518	Calcaire argileux avec passées de dolomie, d'argile dolomitique et anhydrite						
TS1 + TS2	2700	-2567	Anhydrite blanche cristalline dure intercalée d'argile brune grise tendre dolomitique, sel							
TS3	2990	-2847	Sel massif translucide à ocre avec passées d'argile brune silteuse et salifère							
Argileux (G10)	3300	-3157	Argile silteuse localement salifère et anhydrite à passées de sel translucide							
S4 (G20)	3520	-3377	Sel massif blanc à translucide avec passées d'argile brun rouge							
Argileux (G30)	3702	-3559	Argile brun rouge tendre à pléteuse salifère, fines passées de sel massif translucide.							
T2	3755	-3612	Alternance de dolomie blanche et gr cristalline et d'argile brun rouge légèrement silteuse, avec des intrusions volcaniques							
T1	3773	-3630	Alternances d'argiles brun rouge légèrement silteuse avec des passées de Grès fins à moyens.							
T1 Gréseux	3848	-3705	Grès fins à moyens avec de fine passées d'argiles.							
T-Eruptives	3868	-3725	Roches éruptives à minéraux verts, parfois altérés avec passées d'argile silteuse							
Série Inf.	3928	-3785	Grès blancs fins avec passées d'argiles brun rouge de la plaine d'inondation							
Discordance Hercynienne										
PALEOZOIQUE	Ordovicien	Silurien	3977	-3834	Argiles micacées et silteuses gris foncé, à la base des argiles charbonneuse très radioactives		8" 1/2 X 7"	1.55 sg	GR Spectral - Caliper - Sonic Dipole (P & S ; mode full wave) - Résistivité - Gamma Ray - Caliper - Densité - Neutron - Outil de Résonance Magnétique (en option selon l'état du Borehole) - Imagerie électrique & Acoustique (en option selon l'état du Borehole) - Outil de mesure de pression optionnelle (en option selon l'interprétation pétrophysique et l'état du Borehole) - VSP	
		Dalle de MKraffa (DMK)	-	-	Grès quartzitiques avec de fines passées d'argiles noires et dragées de quartz latex.					
		A.microconglomératique	-	-	Argile grise moyennement tendre, fines passées de de silice.					
		Grès d'El Gola	-	-	Alternances de Grès blanc à gris blanc et gris sombre, fin à moyen, silico argileux localement quartzitique					
		A.Azzel	-	-	Grès silico-argileux à silico-quartzitiques passant à quartzite pyriteuse silteuse					
		G.Ouargla	-	-	Grès gris à blanc, fins subanguleux, silico quartzitique					
		Quartzites de Hamra	-	-	Grès quartzitiques à quartzites					
		Grès d'El Alchane	-	-	Grès siliceux à quartzitique glauconieux, micacé avec passées d'argile silteuse					
		Argiles d'El Gassi	-	-	Argile silteuse, micacé, localement schisteuse à passées de grès silico-argileux					
		Fond	4012	-3869						
Trias SI FWL	-3855		La pression de la structure de OEN dans le Trias SI est estimée à 540 kg/cm2 à la côte -3750 mTVDSS.							

Figure 3: Architecteur de puits BEK-5.

INTRODUCTION

3. Caractéristique technique de l'appareil ENF # 15

Le tableau I.4 représente la caractéristique technique de l'appareil enf #15, dont la date de mise en service après rénovation est : **10/11/2004**. [2]

1-MAT	6-SUBSTRUCTURE
CODE INV : 201020033 Serial :T-4021 Make : WOOLSLAYER Total height : 153ft – 46.64 meters Max rated static hook load 1000000 lbs Max rated wind velocity w/rated cap.of pipe	Make: WOOLSLAYER Height under rotary deam: 25 ft Rig floor elevation: 9,11m 30ft Rig floor dimension: 30 ft Max rated static rotary capacity: 1000000 ft
2-DRAWWORKS	7-ROTARY TABLE
Make: OIL WELL Type: E2000 Power: 2000 HP Drum: 30 x 56 Hook static capacity8 lines: 492 tonnes	Make: NATIONAL OIL-WELL Type: D- 375 Static load speed: 650 T Opening: 37 1/2" Max table speed: 350 RPM
3-MUD PUMPS	8-MUD AGITATORS
Make: NATIONAL OIL-WELL Type: 12P160 Rated input power: 1600HP Liner & pressure : 7'' ½ & 7'' max pressure 3200 Psi & 3430 Psi	Make : BRANDT Quantité : 13 Type : MA15
4-TRIP TANK	9-SHALE SHAKERS (03)
CODE INV : 204110097 Constructeur : ITAG Capacity: 50 bbls	Make: DERRICK Model: FLC 514
	10-MUD DEGASSER Serial: DG10-9105 Make: BRANDT
EQUIPEMENT DE SECURITE	
5-KOOMEY UNIT	11-BOP'S
Make: ABB OFSHORE Type: 80 Capacity of reservoir: 280 US gallons	ANNULAR 13 5/8 Make: CAMERON Type: D 5000 Model -DOUBLE-SINGLE CAMERON Type: U

Tableau 3: Caractéristique technique de l'appareil ENF#15

1.1 Introduction

Lors du forage de puits, le liquide de forage est circulé en circuit fermé à travers des pompes, des équipements d'épuration et des réservoirs de stockage pour garantir la circulation continue du liquide. Les liquides de forage sont préparés sur place ou dans des usines centrales avec des composants principaux tels que l'argile et l'eau, et des additifs tels que des alourdisants sont ajoutés dans des conditions difficiles. Les systèmes de circulation comprennent une ligne de refoulement, une ligne auxiliaire et un système de vidange, équipés de vannes et d'instruments de contrôle et de mesure. Les dessableurs sont utilisés pour nettoyer la boue de forage des particules solides et des déblais afin de réduire l'usure prématurée des équipements de circulation.

1.2 Etude bibliographique

L'étude de l'amélioration des performances du système de nettoyage de la boue de forage des déblais a fait l'objet de nombreux travaux de recherche pendant ces dernières années. Le traitement des fluides de forage par les différents systèmes d'épuration garantit le déroulement sans faille du processus de forage de puits d'hydrocarbure.

Les déblais de forage sont des micros ou macro débris, parfois très abrasifs, qui peuvent provoquer des bouchons. La boue aide à les remonter en surface au fur et à mesure de leur production et de la manière la plus fluide possible, y compris dans les cas de plus en plus fréquents de tubes non verticaux voire horizontaux dans le cas des forages dirigés ; La vitesse de la boue doit être adaptée à la nature de la roche forée et des déchets à remonter en surface. Ces facteurs influent sur les capacités de transport de la boue. La viscosité de la boue est également une propriété importante ; si elle est trop faible, les fragments de roche tendront à se déposer au fond du puits, et si elle est trop élevée, la boue circulera mal.

Une mauvaise circulation ou remontée des déblais de forage peut causer l'apparition d'étranglements et de variation dans la densité du fluide de puits, pouvant eux-mêmes conduire à d'une perte de circulation.

Si la boue contient un taux trop élevé de solides issus du forage, cela est préjudiciable pour :

- l'efficacité du forage (le poids et la viscosité de la boue augmentent en entraînant des coûts de maintenance et de la dilution accrus).

- le taux de pénétration (ou « ROP » pour « Rate of Pénétration ») ; la puissance des moteurs des pompes de circulation doit alors être augmentée (et donc leur émissions polluantes et leur consommation d'énergie) ;

- les propriétés de la boue, qui risque de perdre sa capacité à équilibrer le forage.

- Pour un contrôle efficace des solides issus du forage, ceux-ci doivent être retirés dans le circuit de circulation de la boue, au sortir du puits. S'ils sont redistribués, ils seront brisés en petits morceaux plus difficiles à retirer.

Ce paragraphe a pour objectif de citer quelques travaux antérieurs publiés dans ce domaine de recherche scientifique sur le sujet. Ils sont axés les moyens et méthodes théoriques et pratiques utilisés pour le nettoyage de la boue avec les dessableurs :

- Les auteurs R. A. Koenders et al. (2016) dans leur étude intitulée : "Optimization of hydrocyclone geometry for particle separation in sedimentation tanks" ont présenté une optimisation de la géométrie des hydrocyclones pour la séparation des particules dans les bassins de sédimentation, en se basant sur des modèles numériques et des expériences en laboratoire.

- M. R. Akbarpour et al. (2014) ont investi théoriquement et expérimentalement les performances des hydrocyclones pour l'épaississement des boues, en évaluant l'efficacité de séparation et les paramètres influençant le processus à travers leur étude intitulée : "Theoretical and experimental investigation of hydrocyclone performance for sludge thickening"

- Tang, X., et al. (2019) - "Numerical and experimental investigation of solid-liquid separation in hydrocyclones." Cette étude propose une analyse numérique et expérimentale de la séparation solide-liquide dans les hydrocyclones. Les chercheurs examinent les paramètres qui influencent l'efficacité de la séparation et évaluent les performances des hydrocyclones dans cette opération.

- H. Li dans son étude : "Hydrocyclones for particle size separation", publié dans Chemical Engineering Research and Design, a traité des hydrocyclones en tant que dispositifs de séparation des particules de différentes tailles, en se concentrant sur l'efficacité de séparation et les facteurs de conception influant sur cette efficacité. Bien que l'étude ne se concentre pas spécifiquement sur les dessableurs, elle peut fournir des informations utiles sur les principes de fonctionnement des hydrocyclones en général.

- A. Johnson et al. (2019) dans leur étude intitulée : "Evaluation of the performance of a sand settler for sludge cleaning" ont évalué les performances d'un dessableur pour le nettoyage des boues. Ces auteurs examinent les paramètres opérationnels, tels que la vitesse d'écoulement, la concentration de boue et la taille des particules, afin d'optimiser l'efficacité du dessableur.

1.3 Fluide de forage

Un fluide de forage ou boue de forage est un système composé de différentes combinaisons liquide (eau, huile, ...), gazeuses (air ou gaz naturel) contenant en suspension une phase solide (argile, déblais, ciments, ...). C'est un fluide non newtonien (Un fluide dont la viscosité varie en fonction de la contrainte de cisaillement appliquée), visqueux ou viscoélastiques (Un fluide qui combine les propriétés d'un fluide visqueux et d'un solide élastique), le plus souvent thixotrope (Un fluide dont la viscosité diminue lorsqu'il est agité ou soumis à un mouvement continu, mais qui retrouve sa viscosité d'origine lorsqu'il est au repos). La figure I.1 montre les différents composants de la boue de forage. [3]

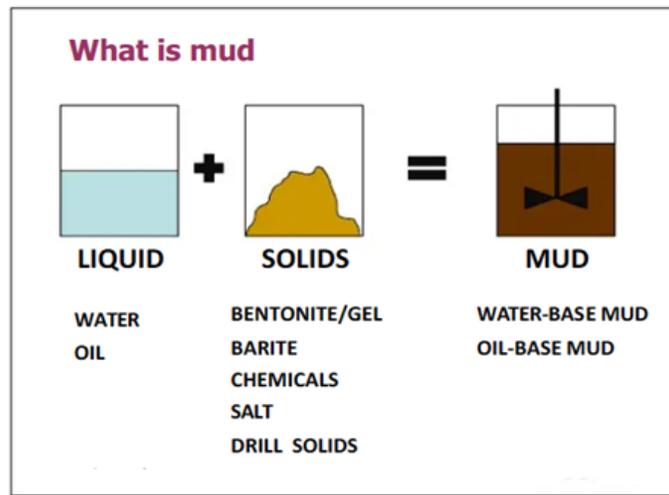


Figure 1.1 : Composant de la boue de forage.

1.3.1 Types de boue de forage

Il existe deux types de boue :

1.3.1.1 La boue à base d'eau

La boue à base d'eau est un fluide de forage couramment utilisé dans l'industrie pour lubrifier, refroidir et nettoyer l'outil pendant le processus de forage. Elle est composée d'eau, de produits chimiques et d'additifs, tels que des polymères, des agents de viscosité, des inhibiteurs de corrosion, des agents de contrôle de la filtration et des agents de perte de circulation. Elle est moins coûteuse que les autres fluides de forage et présente des avantages environnementaux, mais peut-être moins efficace pour maintenir la stabilité des parois du puits dans les formations géologiques instables. La composition chimique de la boue peut varier en fonction des exigences de forage et des conditions de forage.

1.3.1.2 La boue à base d'huile

La boue à base d'huile est un fluide de forage qui utilise des hydrocarbures comme phase liquide. Elle a une meilleure capacité à maintenir la stabilité des parois du puits et est plus résistante aux températures élevées et aux conditions corrosives. Cependant, elle présente des inconvénients environnementaux et de sécurité plus importants que la boue à base d'eau. Sa composition chimique peut également varier en fonction des conditions de forage et des exigences de l'opérateur.

1.3.2 Rôle du fluide de forage

Les boues de forage doivent avoir des propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes : [4]

- Nettoyage du puits

- Maintien des déblais en suspension.
- Sédimentation des déblais fins en surface.
- Prévention les parois du puits du l'affaissement.
- Dépôt d'un cake imperméable.
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.
- Entraînement de l'outil et Augmentation de la vitesse d'avancement.
- Apport de renseignements sur le sondage.
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde.
- Corrosion et usure du matériel.

1.4 Système de circulation

Lors du forage, la boue est injectée dans les tiges creuses qui tiennent et tourne l'outil de forage. Cette boue est préparée et surveillée par un ingénieur spécialisé, appelé boueux. Elle joue un rôle très important dans l'opération de forage, en citant :

- Achemine à la surface les fragments de roche arrachés par l'outil (déblais ou cuttings).
- La Suspension : l'écoulement du fluide dans les tiges de forage est parfois interrompu suite à un problème ou pour la remontée de la garniture afin de changer l'outil de forage.
- Contrôler la pression de formation productive.
- Maintenir les parois du puits.
- La Flottabilité de la garniture (la boue à l'intérieur de la garniture).
- Nettoyer, refroidir et lubrifie la garniture de forage.
- Assurer le maximum d'information à la formation forée.

La figure I.2 présente le système de circulation d'un appareil de forage. [4] [5]

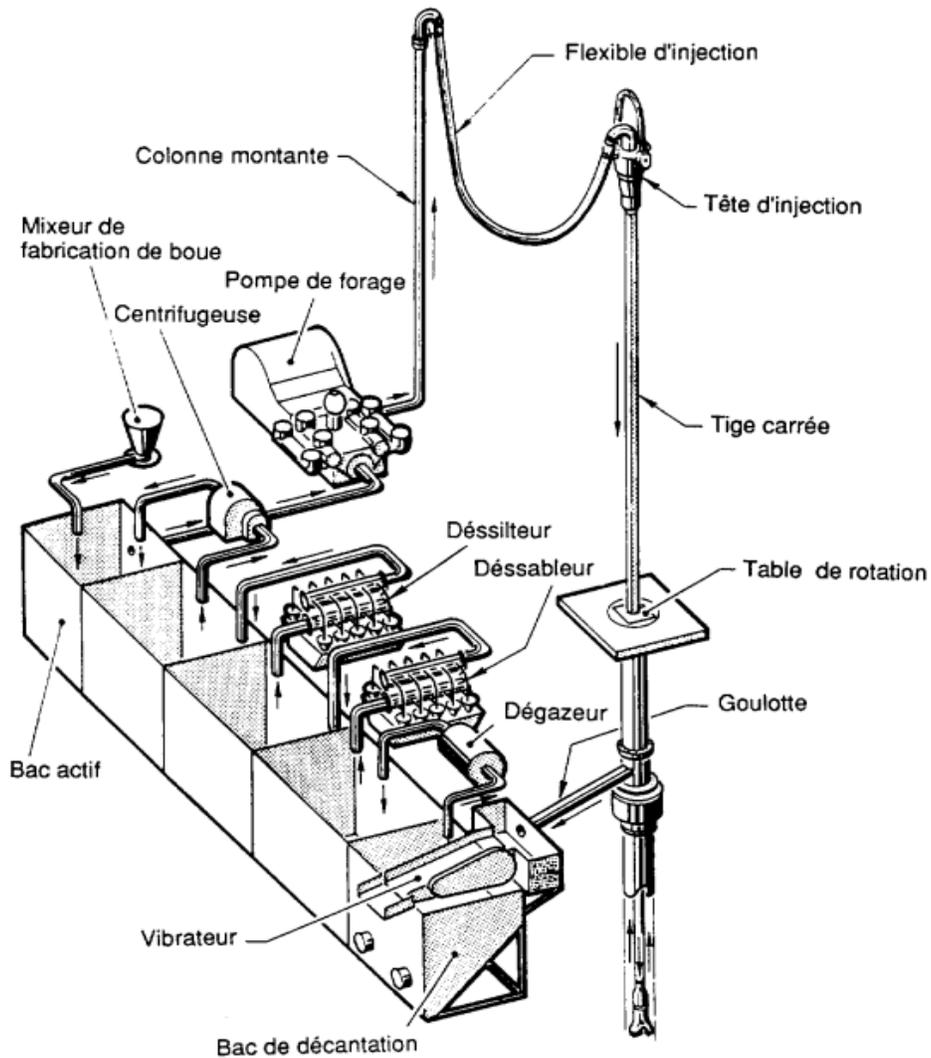
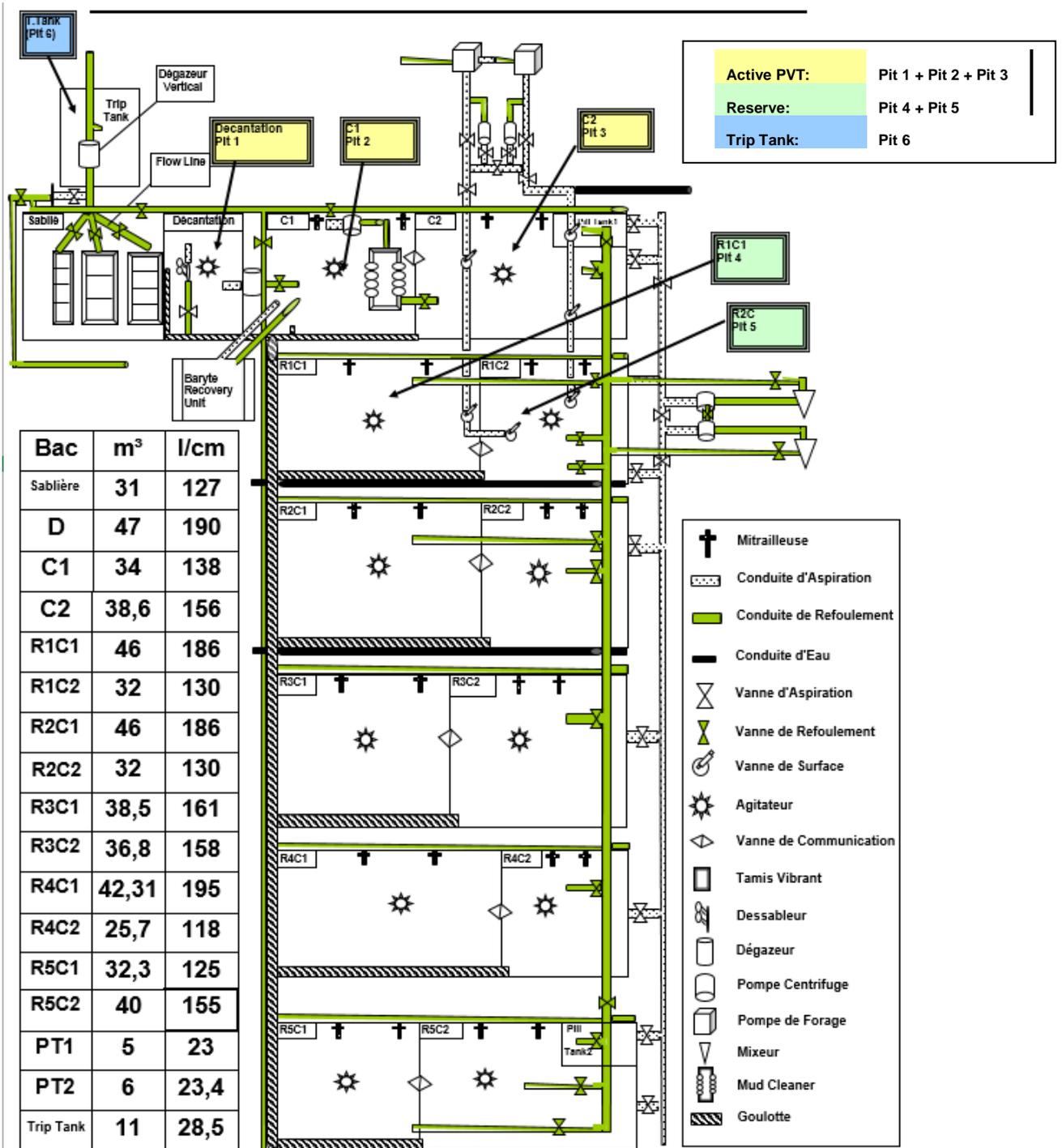


Figure 1.1 : Composant du système de circulation d'un appareil de forage

1.4.1 Circuit boue ENF#15

La figure 1.3 présente le système de circulation de l'appareil de forage ENF#15 [6]

Chapitre 1 : Généralité sur le système de circulation d'une installation de forage



NB : la mesure du bac (TRIP TANK) se fait à partir de 1,15m du haut (Senors layout)

Figure 1.2 : Système de circulation de rig enf#15.

1.4.2 Partie haute pression (HP)

La boue des **bacs actifs** (bacs de circulation) est aspirée par la **pompe à boue** (Mud pump) ensuite refoulée à travers une **colonne horizontale** puis une **colonne montante** (Stand pipe) puis le flexible **d'injection vers le top drive** (TDS) après la boue descend dans les tiges de forage, les masses tiges et les stabilisateurs jusqu'au fond du puits. Ensuite elle sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où l'outil est en train de forer la formation rocheuse. [7]

Dans la plupart des cas, le liquide de forage circule au forage en circuit fermé au moyen des pompes à piston, une ligne de refoulement à haute pression et un système de vidange qui élimine les déblais remontés du puits.

1.4.2.1. Equipements de la ligne d'aspiration

- Pompe de suralimentation

Les pompes de forage sont alimentées par des pompes centrifuges, comme illustré dans la figure I.4. Cette configuration a plusieurs objectifs :

- Assurer un remplissage optimal des parties hydrauliques des pompes à piston ;
- Éviter les coups hydrauliques et améliorer le fonctionnement mécanique des pompes ;
- Éliminer la cavitation et ses conséquences négatives ;

En général, chaque pompe de forage est équipée d'une pompe de suralimentation indépendante. La pompe centrifuge est installée de manière à minimiser les pertes de charge entre le bassin d'aspiration et la pompe de forage.

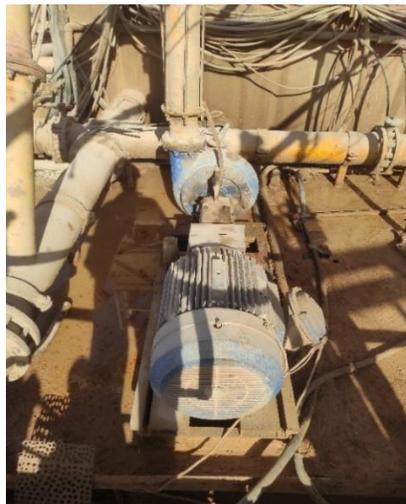


Figure 1.3 : Pompe de suralimentation de l'appareil ENF#15.

- La pompe à boue

Les pompes à boue sont conçues pour fournir un débit de fluide adapté aux besoins du trépan utilisé lors de l'opération de forage. Elles sont généralement alimentées par un moteur électrique ou à combustion interne, qui est relié à la pompe par une transmission à courroies trapézoïdales et des poulies à gorges multiples. Le rapport de réduction est choisi pour assurer un fonctionnement optimal de la pompe.

Lorsque le moteur est en marche, l'arbre d'entraînement de la pompe commence à tourner et transmet le mouvement de rotation à un ensemble de pignons à dents hélicoïdales montés sur l'arbre principal de la pompe. Les pignons entraînent ensuite un système de manivelles et de bielles qui transforment le mouvement de rotation en un mouvement de translation, qui est ensuite transmis aux pistons.

Dans l'appareil de forage Enafor-15, il y a deux pompes à boue de marque National Oilwell 12T1600, d'une capacité de 1600 chevaux, qui sont présentées sur la figure I.5.



Figure 1.4 : La pompe à boue de RIG ENF#15.

1.4.2.2. Equipements de la ligne de refoulement

Ce circuit allant de la conduite de refoulement des pompes de forage jusqu'au raccord fileté de tige de forage, plusieurs composants et équipements sont présentés pour le passage du fluide de forage les quels :

- Un amortisseur de pulsations (la figure I.6) est utilisé pour réguler les variations de vitesse et de pression du fluide de forage, provenant des pompes alternatives à piston.
- Un conduit de refoulement permet d'acheminer le fluide de la pompe vers le tube d'équilibre de pression hydraulique, assurant ainsi le passage continu du fluide de forage.

- Une colonne montante, fixée sur le derrick, sert de conduite verticale pour transporter le fluide de forage vers le flexible de forage, garantissant ainsi un flux régulier du fluide.

- Une soupape de décharge ou de sécurité est installée sur la ligne de refoulement pour protéger le système contre une pression excessive du fluide de forage.

- Des joints à démontage rapide assurent la connexion étanche entre les flexibles de refoulement et les tubes métalliques, facilitant ainsi le passage fluide et sans fuites du fluide de forage.

- Des vannes de mise en marche sont utilisées dans la ligne de refoulement pour éviter les coups hydrauliques lors du démarrage des pompes, permettant un flux progressif et régulier du fluide de forage.

- Les flexibles de refoulement, constitués de différentes couches de matériaux résistants, sont conçus spécifiquement pour transporter le fluide de forage sous pression depuis le tube d'équilibre de pression hydraulique jusqu'à la tête d'injection mobile, garantissant ainsi un passage efficace et sécurisé du fluide.

- Le Top Drive, système de forage motorisé, permet de faire circuler le fluide de forage à travers les tiges de forage de manière contrôlée, facilitant ainsi les opérations de forage en ajustant rapidement la profondeur et la direction du passage du fluide dans le puits.

- Le tube fontaine, également connu sous le nom de drill pipe est un élément essentiel du processus de forage pétrolier. Il fait tourner l'outil de forage et transporte la boue de forage jusqu'au fond du puits, constitué de sections de tiges filetées assemblées en une colonne continue.

1.4.3 Partie basse pression BP

La boue emprunte ensuite le chemin inverse dans l'**Espace annulaire** en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par l'outil de forage, en passant par le **BOP** vers le **Tube fontaine** puis la **Goulotte** (Flow line) vers le **Mud box** pour le **traitement mécanique** de la boue (**Tamis vibrants**, **Sablère**, **Bassin de décantation**) et retourne une autre fois au point de son départ qui est le bac actif pour une nouvelle réinjection en suivant le même circuit. [7]

1.4.3.1. Chemin inverse de la boue

- **L'espace annulaire**

L'espace annulaire est l'espace entre le tuyau de forage et les parois du puits de forage. Cet espace est rempli de boue de forage qui est utilisée pour stabiliser les parois du puits de forage, refroidir l'outil de forage, transporter les déblais de forage et fournir une pression hydrostatique pour prévenir les écoulements de fluides dans le puits de forage.

- **La goulotte (ou flow line) :**

La goulotte est un tuyau en acier qui transporte la boue de forage du haut du puits jusqu'au mud box, où elle est traitée. Elle est également équipée d'un système de support et de guidage pour maintenir les tuyaux de forage en place lorsque le forage est en cours.

- **Mud box (ou tank) :**

Le mud box est un conteneur où la boue de forage est stockée. Cette boue est utilisée pour maintenir la pression du puits de forage et pour transporter les débris de forage à la surface. Après usage, la boue est nettoyée pour enlever les impuretés et les débris et elle est réinjectée dans le puits de forage pour être réutilisée.

1.4.3.2 Traitement mécanique

Le traitement mécanique de la boue de forage est une étape importante dans le processus de forage car il permet de récupérer les débris et les particules solides qui sont remontés à la surface du puits. Le traitement mécanique est généralement effectué par un ensemble d'équipements tels que les tamis vibrants, les dessableurs et les desilters. [5]

En utilisant ces équipements, la boue de forage peut être traitée mécaniquement pour éliminer la plupart des particules solides. Cependant, il est important de noter que ces équipements ne sont pas toujours suffisants pour éliminer toutes les particules solides et il peut être nécessaire d'utiliser des équipements supplémentaires tels que des centrifugeuses pour éliminer les particules plus fines. La **figure I.9** représente le degré de séparation de chaque équipement de traitement mécanique (solide contrôle). [4]

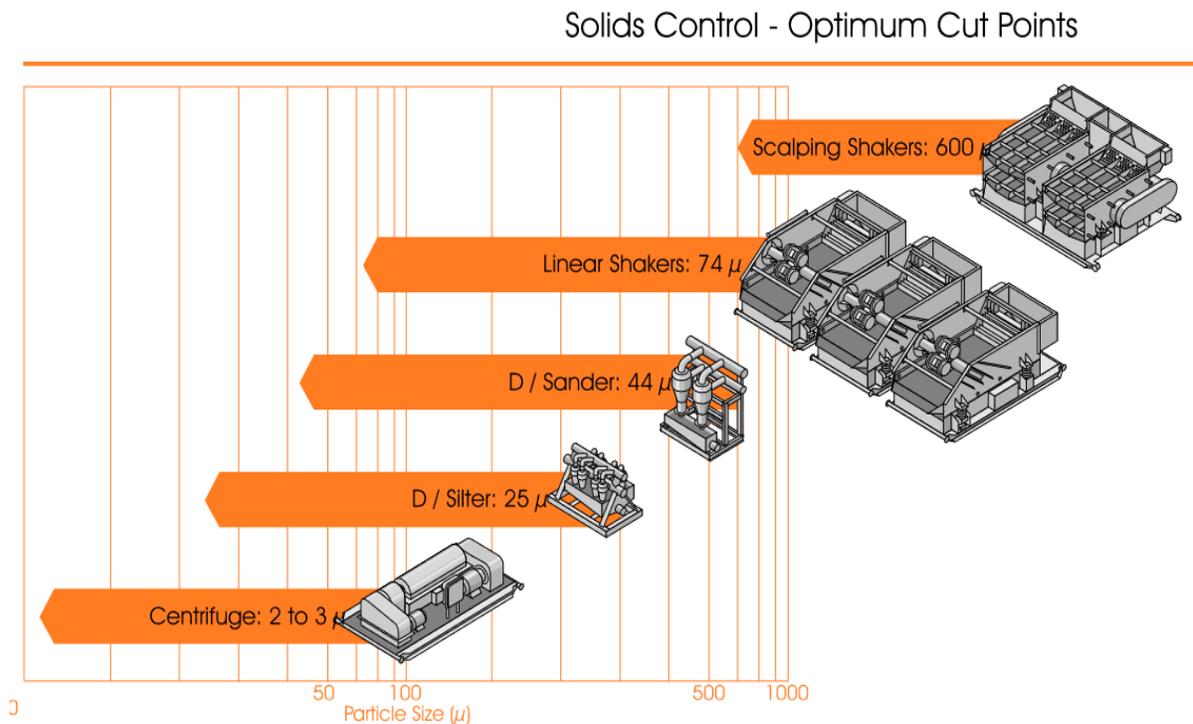


Figure 1.5 : Degré de séparation de chaque équipement de traitement mécanique.

1.4.3.2.1 Tamis vibrants

Le tamis vibrant est un dispositif constitué d'un cadre en acier inoxydable qui supporte une toile en acier inoxydable. Les déblais et le liquide tombent sur la toile, puis le liquide épuré est dirigé vers la goulotte et finalement dans le bac d'aspiration de la pompe. 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. La figure I.10 montre le tamis vibrant de RIG ENF#15.



Figure 1.6 : Tamis vibrant de RIG ENF#15.

1.4.3.2.2 Décantation

Les dimensions de bac de décantation sont représentées dans le **tableau I.1**

- Sablière (D1)

La sablière est un équipement crucial de l'appareil de forage pour séparer les particules solides, telles que le sable et les graviers, des fluides de forage. Elle fonctionne selon le principe de décantation, en ralentissant l'écoulement du fluide dans une chambre de décantation pour permettre aux particules solides plus lourdes de se déposer au fond de la chambre. Les fluides clarifiés sont évacués par le haut de la chambre tandis que les particules solides sont collectées et éliminées. Les sablières sont équipées de plaques de déviation pour faciliter la séparation des particules solides. Les sablières peuvent fonctionner de manière continue pendant le forage et sont nettoyées régulièrement pour assurer leur bon fonctionnement. La sablière est également connue sous le nom de trémie à sable et est située entre le shaker et le dessableur ou le mud cleaner. Son rôle est crucial dans la qualité des boues de forage, car elle permet de maintenir la qualité des boues en éliminant les particules solides et en prolongeant la durée de vie de l'équipement de forage.

- Bassin de décantation (D2)

En général aujourd'hui, la décantation n'est effectuée que dans un petit bassin de 4 à 5 m³, appelé "sablière" et situé sous les vibrateurs ou juste en aval de ceux-ci. Ce bassin ne doit pas être équipé de moyens de brassage, ni de ligne d'aspiration. Il est par contre muni d'un dispositif de vidange rapide afin de faciliter son évacuation et son nettoyage : ceci est également favorisé par l'inclinaison à 45° du fond du bassin. Pendant les phases de démarrage, cette sablière (ou "Sandtrap") est nettoyée au moins à chaque manœuvre et même à chaque ajout de tige lors d'avancement très rapide dans les sables par exemple. Un bon usage de la sablière permet de soulager les appareils d'élimination des solides, placés en aval. Pour certaines opérations (changement de boue), il est nécessaire de pouvoir y passer cette sablière.

1.4.3.2.3 Degazeur

Suivant l'importance de la venue de gaz, deux types de circuit (dégazeur vertical et dégazeur de boue) peuvent être établis à la sortie du puits.

Le dégazeur vertical est un appareil robuste utilisé lors de fortes venues dans un puits de forage. La boue de forage passe par un séparateur vertical où elle se dégaze par ruissellement sur des plateaux ou des chicanes. Le gaz s'échappe dans la partie supérieure tandis que la boue propre est collectée en bas de l'appareil. Un vide partiel peut être créé pour améliorer la séparation. Parallèlement, un dégazeur fonctionnant en parallèle sur le circuit dégaze la boue en l'introduisant dans une enceinte soumise à un vide partiel et en la faisant ruisseler sur des chicanes. Les dégazeurs nécessitent un nettoyage méticuleux après utilisation et ont une capacité de traitement supérieure au débit de boue utilisé. Ils jouent un rôle crucial dans l'élimination des gaz de la boue de forage pour préserver les performances des pompes.



Figure 1.7 : Séparateur verticale de gaz de rig enf#15



Figure 1.8 : Dégazeur de boue de rig ENF#1

1.4.3.2.4 Mud cleaner

Le mud cleaner est un équipement de traitement de boue qui combine les fonctions de tamisage, de désandage et de déshuilage. Il est généralement équipé d'hydrocyclones, de desableurs et de dessliteurs pour éliminer les déblais, le sable et les huiles de la boue de forage.

On a dans l'appareil de forage enf 15 un mud cleaner de type derrick « **DERRICK MODEL NUMBER FLC 514 L/R** »

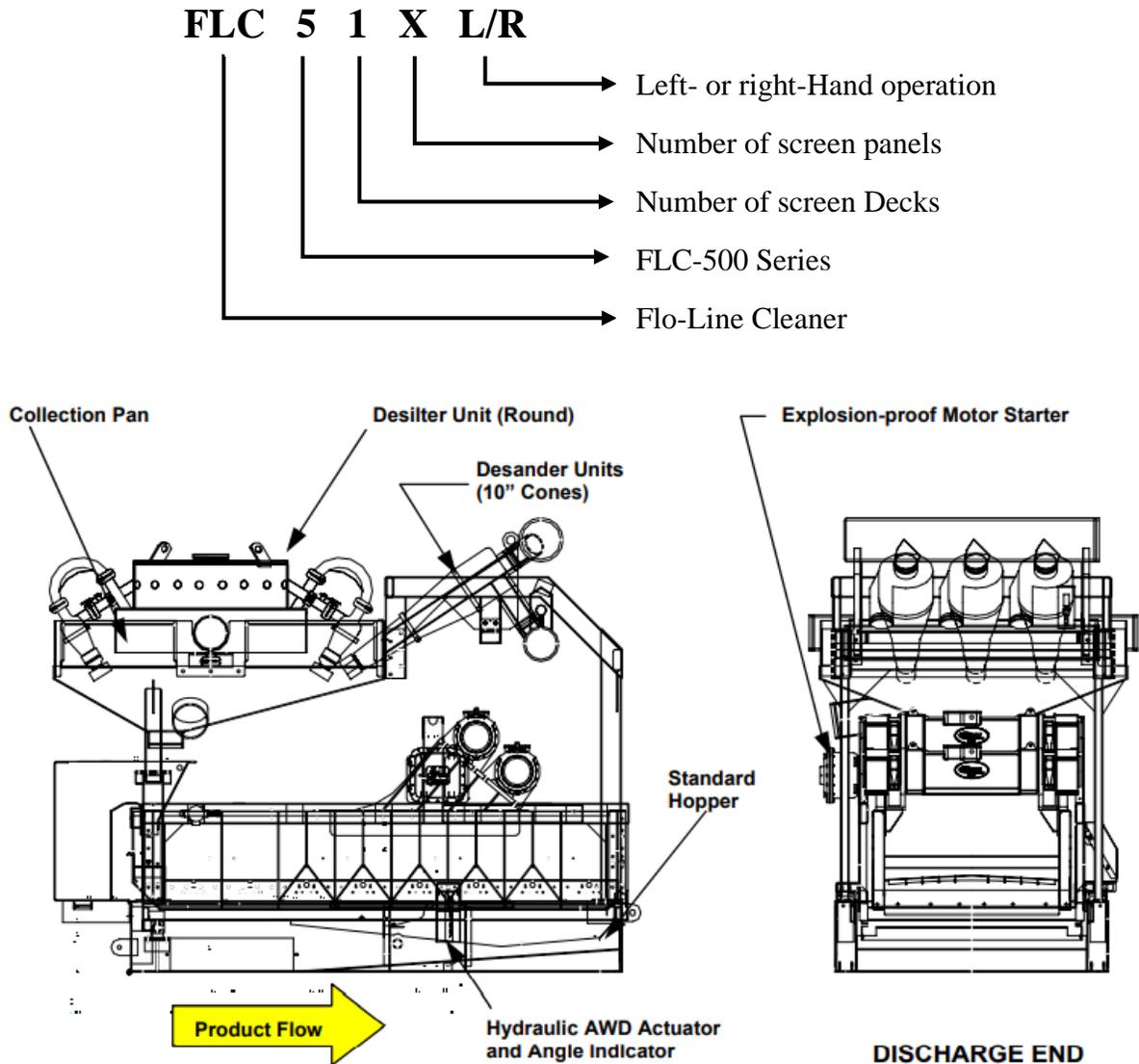


Figure 1.9 : Dessin d'un mud cleaner la marque derrick

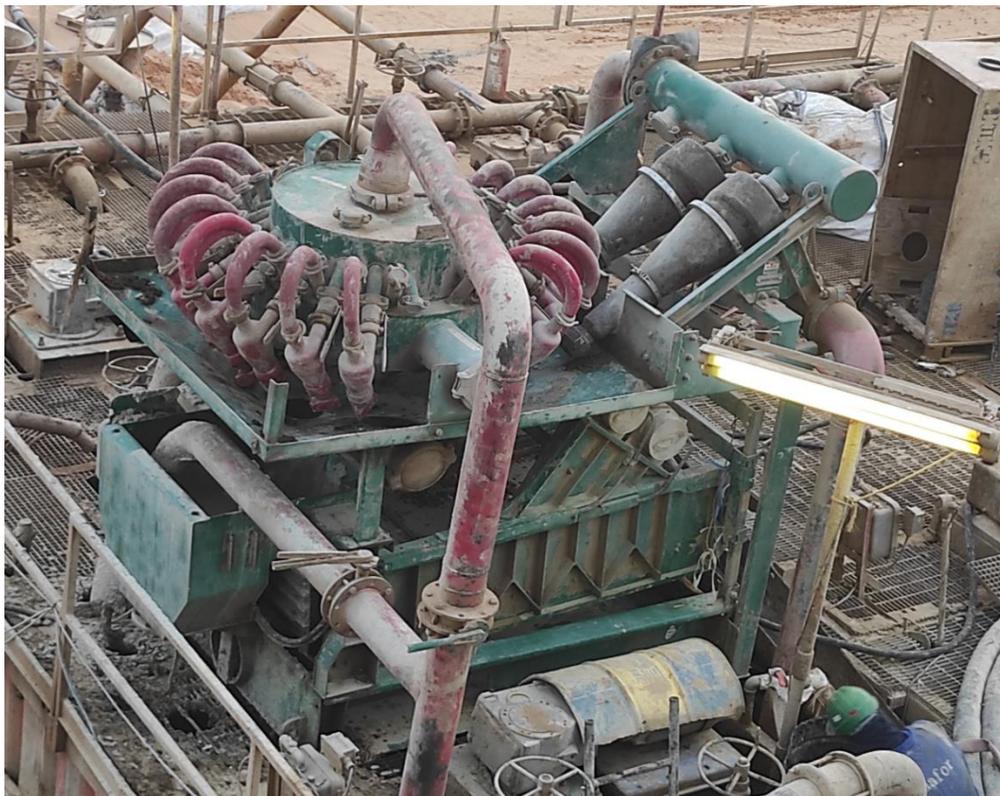


Figure 1.10 : Photo réel du Mud cleaner de RIG ENF#15 la marque Derrick.

- **Tamis**

Le tamis du mud cleaner est un équipement clé dans le processus de nettoyage de la boue de forage. Son rôle est de séparer les particules solides plus fines de la boue, qui n'ont pas été éliminées par les autres équipements comme le dessableur et le dessilteur. Il est généralement placé en aval de ces derniers.

Le tamis est constitué d'une surface de criblage avec des mailles plus fines que celles du dessilteur, généralement entre 120 et 250 mesh. La boue est pompée sur la surface du tamis qui vibre pour faciliter le processus de criblage. Les particules solides plus fines passent à travers les mailles du tamis et sont collectées dans un bac de récupération. La boue nettoyée est renvoyée dans le circuit de circulation.

Le tamis de mud cleaner est un équipement relativement simple, mais il est crucial pour maintenir une boue de forage propre et efficace. En effet, les particules fines qui ne sont pas éliminées peuvent causer des problèmes d'obstruction dans les équipements de forage, de corrosion et d'abrasion. Par conséquent, le choix du tamis approprié pour les conditions de forage et la maintenance régulière de l'équipement sont essentiels pour un forage sûr et efficace.

- **Dessableur**

Le dessableur est l'un des équipements les plus importants de l'appareil de forage, utilisé pour éliminer les particules solides présentes dans la boue de forage qui est utilisée pour lubrifier et refroidir l'outil de forage et pour transporter les débris de roches et de sable vers la surface du puits. Les particules solides telles que les débris de roches, les grains de sable et autres matériaux non désirés peuvent endommager les équipements de forage et ralentir le processus de forage. La figure I.14 représentant le dessableur de mud cleaner de marque derrick. [8]

Le dessableur est spécialement conçu pour éliminer les particules solides dont la taille est supérieure à 50 jusqu'à 80 microns. Il est souvent utilisé en conjonction avec d'autres équipements de traitement des débris tels que des tamis vibrants et des desilters pour nettoyer la boue de forage. Le dessableur utilise un processus de séparation centrifuge pour éliminer les particules solides plus lourdes de la boue de forage.

Le principe de fonctionnement du dessableur repose sur la force centrifuge qui est générée par la rotation du fluide dans un cylindre conique. La boue de forage entre dans le cylindre par l'entrée du fond et est dirigée vers le haut par la force centrifuge. Les particules solides plus lourdes se déposent sur la paroi intérieure du cylindre, tandis que la boue de forage propre est évacuée par la sortie du haut.

La performance du dessableur dépend de plusieurs facteurs tels que la pression, le débit, la viscosité et les dimensions géométriques du cylindre. Pour optimiser les performances du dessableur, il est important de comprendre les principes de fonctionnement et de calcul des paramètres de fonctionnement.

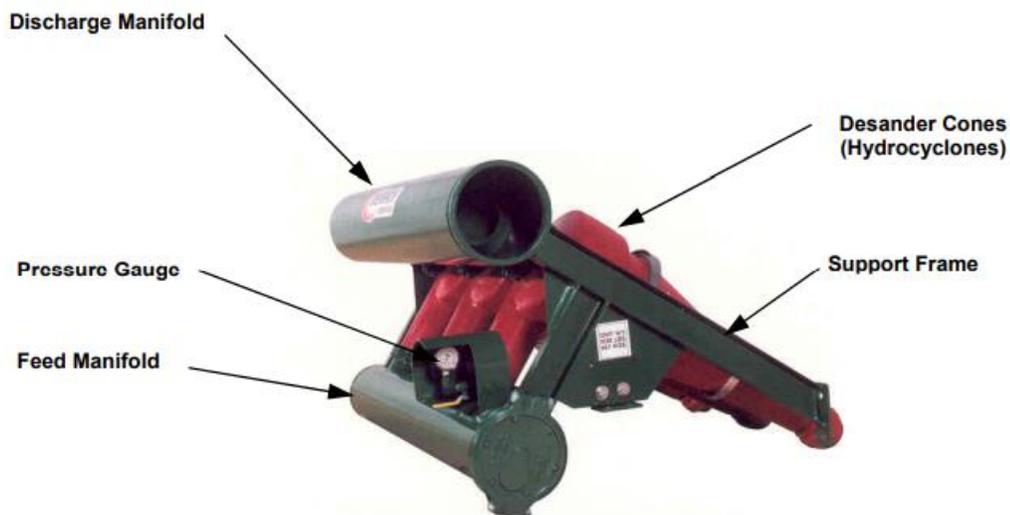


Figure 1.11 : Dessaleur de mud cleaner marque derrick

- **Dessilteur**

Le dessilteur, est un équipement de l'appareil de forage utilisé pour éliminer les particules solides plus fines (généralement inférieures à 20 microns) de la boue de forage, qui peuvent échapper au tamisage du tamis vibrant et au dessableur. Le dessilteur est généralement constitué d'un ensemble de cyclones qui séparent les solides de la boue en utilisant la force centrifuge. [8] Les particules solides plus lourdes sont rejetées à l'extérieur du cyclone tandis que la boue propre est évacuée à travers le fond du cyclone. La figure I.15 présente la batterie de 20 dessilteurs de mud cleaner de marque derrick. [8]

Le dessilteur est souvent combiné avec le dessableur pour former un ensemble appelé mud cleaner, qui permet de traiter la boue de forage de manière plus efficace en éliminant les particules de toutes les tailles. Le mud cleaner est souvent utilisé dans les opérations de forage de puits profonds où la boue doit être nettoyée pour éviter les problèmes de colmatage et d'usure prématurée des équipements de forage.

Le choix de la taille et du nombre de cyclones dépend du débit de boue, de la densité des solides à éliminer et de la taille des particules solides. Le dessilteur peut être équipé de dispositifs supplémentaires tels que des jets d'eau pour faciliter le nettoyage des cyclones, des vannes de réglage pour ajuster la pression et le débit de la boue, et des dispositifs de mesure pour surveiller les paramètres de fonctionnement.

En somme, le dessilteur est un équipement clé pour le traitement de la boue de forage et son efficacité contribue à réduire les coûts d'exploitation et à améliorer la productivité des opérations de forage.



Figure 1.12 : Desilter de mud cleaner marque derrick.

Alimentation du mud cleaner

Les pompes d'alimentation de dessableur sont des composants cruciaux dans les équipements de forage pétrolier. Elles fournissent un débit élevé de liquide de forage au dessableur, qui sépare les particules de sable et les débris du liquide. Ces pompes centrifuges à haut débit sont situées près du puits de forage pour protéger les équipements des dommages causés par les particules abrasives. Elles résistent aux conditions difficiles, telles que les températures élevées, les pressions élevées et les substances corrosives présentes dans le liquide de forage. Les pompes peuvent être alimentées par l'électricité ou l'hydraulique et sont équipées d'un système de contrôle pour réguler le débit. Maintenir une vitesse d'alimentation appropriée est essentiel pour assurer une performance optimale du dessableur.

Contrôler la vitesse d'alimentation

La vitesse d'alimentation des pompes d'alimentation de dessableur peut être contrôlée de plusieurs manières, en fonction de la conception de la pompe et du système de circulation de la boue de forage. Les méthodes courantes de contrôle de la vitesse d'alimentation incluent l'utilisation de variateurs de fréquence pour ajuster la fréquence de l'alimentation électrique, l'utilisation de vannes d'étranglement pour réguler le débit en ajustant l'ouverture de la vanne, l'utilisation de pompes à vitesse variable conçues pour fonctionner à différentes vitesses, et

l'utilisation de l'inclinaison du moteur pour augmenter ou réduire la vitesse de la pompe. En résumé, il existe plusieurs options pour contrôler la vitesse d'alimentation des pompes d'alimentation de dessableur, ce qui permet d'adapter le débit aux besoins spécifiques du processus de forage.

1.4.3.2.5 Les centrifugeuses

Les appareils retenus de nos jours pour la centrifugation des boues de forage sont du type à bol horizontal cylindro-conique avec une vis convoyeuse qui entraîne les solides centrifugés vers l'extrémité conique (figure I.16). [7]

Le bol et la vis convoyeuse tournent dans le même sens mais à des vitesses différentes. La vis tournant à une vitesse légèrement supérieure. La différence de ces vitesses est la vitesse de convoyage des solides centrifugés. Ces types de centrifugeuses sont les seuls appareils capables de séparer dans les boues de forage d'une part tous les solides d'une taille supérieure à 3 microns sans autre liquide que l'eau absorbée, d'autre part tous les liquides y compris les produits chimiques et sels dissous et les substances colloïdales d'une taille inférieure à 3 microns (Bentonite).

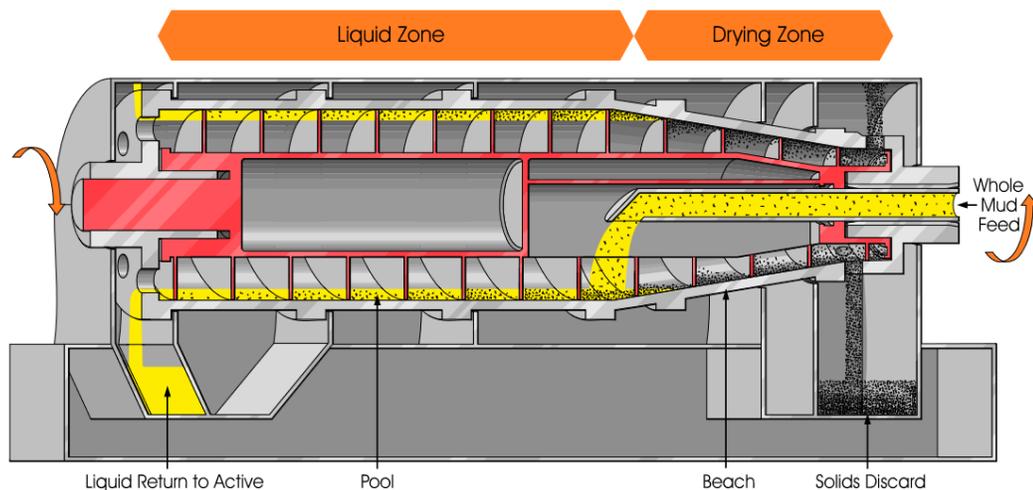


Figure 1.13 : Centrifugeuse.

1.4.3.2.6 Verti-G dryer

Le principe de fonctionnement est celui d'une centrifugeuse verticale associée à un tamis. [7]

Les rejets entrent par l'admission supérieure du cône. Ils tombent sur le rotor conique (qui tourne à 680 RPM), équipé de pales déflecteurs. Les cuttings sont projetés à grande vitesse vers le tamis fixe. Le liquide traverse le tamis et les solides sont entraînés vers la base du cône et évacués par le transporteur à courroie.

Les liquides sortent par la base du cône, de l'autre côté du tamis.

Les rejets suivent ce circuit :

- Ils tombent dans le collecteur des tamis ;
- Ils sont transportés vers le VERTI-G ;
- Ici, ils sont séparés en deux phases : solides et liquide :
 - Le liquide dans le bac intermédiaire.
 - Les solides sont transportés vers la zone de stockage.
- Les liquides traités par une centrifugeuse et réorientés vers le bac actif afin d'être réutiliser.

1.5 Conclusion

En conclusion de ce premier chapitre, nous avons présenté le système de circulation de l'installation de forage ainsi que le dessableur, un équipement clé pour éliminer les particules solides de la boue de forage. Nous avons également fourni une étude bibliographique pour approfondir notre compréhension des méthodes théoriques et pratiques utilisées pour le nettoyage de la boue. Grâce à cette présentation, nous sommes maintenant en mesure de mieux comprendre le fonctionnement du dessableur et d'explorer des pistes pour améliorer ses performances. Le chapitre suivant se concentrera sur la théorie de fonctionnement du dessableur, un sujet qui nous permettra de mieux comprendre les méthodes de calcul pour éliminer les particules de sable de la boue de forage.

2.1 Introduction

L'efficacité de la boue de forage dépend grandement de sa capacité à éliminer les particules de sable en suspension. Les particules de sable, si elles ne sont pas éliminées, peuvent entraîner une abrasion prématurée des équipements de forage, réduire la productivité des puits et causer des dommages environnementaux. Dans ce chapitre, nous étudions la performance des dessableurs, des équipements essentiels pour éliminer les particules de sable de la boue de forage. Nous examinons les facteurs qui influencent la performance des dessableurs, tels que leurs caractéristiques géométriques et les propriétés de la boue de forage, ainsi que les différentes approches utilisées pour évaluer leur efficacité.

2.2 Hydrocyclonage

2.2.1 Principe de fonctionnement des hydrocyclones

Lorsque les procédés naturels et mécaniques ne suffisent pas à purifier les liquides de forage de haute qualité, les hydrocyclones sont utilisés. Un hydrocyclone se compose d'un récipient en acier avec une partie supérieure cylindrique et une partie inférieure conique. Sous une pression de 0,15 à 0,3 MN/m², le liquide de forage entre dans l'hydrocyclone par une tubulure tangentielle et reçoit un mouvement rotatif autour de l'axe vertical (voir figure II.1) [7]. La force centrifuge qui en résulte pousse les particules lourdes vers la paroi de l'hydrocyclone, où elles descendent vers la partie inférieure du corps et sont évacuées par une tubulure de sortie. Pendant ce temps, le liquide épuré et les particules plus légères se dirigent vers l'axe de l'hydrocyclone et pénètrent dans la ligne d'aspiration de la pompe de forage. [5]

L'amenée du liquide de forage sous pression peut être réalisée à l'aide d'une pompe centrifuge ou directement depuis le puits, en utilisant la pression développée à la sortie de la pompe de forage. Dans ce dernier cas, la tête de puits est rendue étanche.

Pour augmenter le degré d'épuration du liquide par les hydrocyclones, le processus d'épuration est divisé en deux étapes : le préfiltrage (épuration préalable) et le filtrage fin (épuration définitive). Le préfiltrage peut être effectué dans des hydrocyclones spécialement conçus pour une épuration préalable, ainsi que dans des dispositifs mécaniques.

L'hydrocyclone est un appareil de séparation physique des phases. Le mélange diphasique est injecté tangentiellement dans le corps principal de forme cylindrique avec une force centrifuge qui peut atteindre 800 cm³/s (voir figure II.2 pour le principe de fonctionnement d'un hydrocyclone). Cette injection tangentielle met le fluide en rotation à grande vitesse.

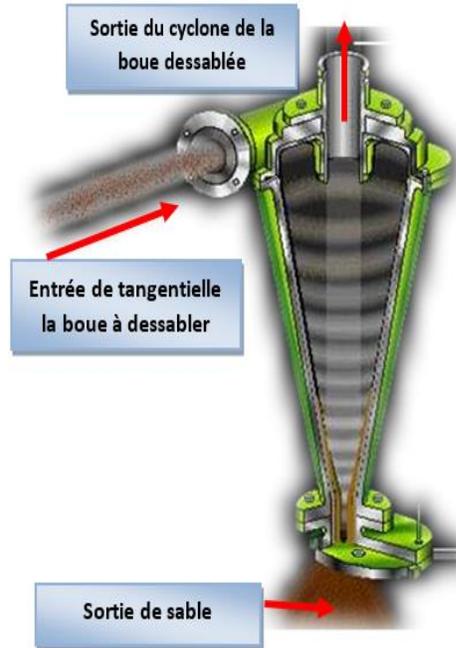


Figure 2.1 : Hydrocyclone

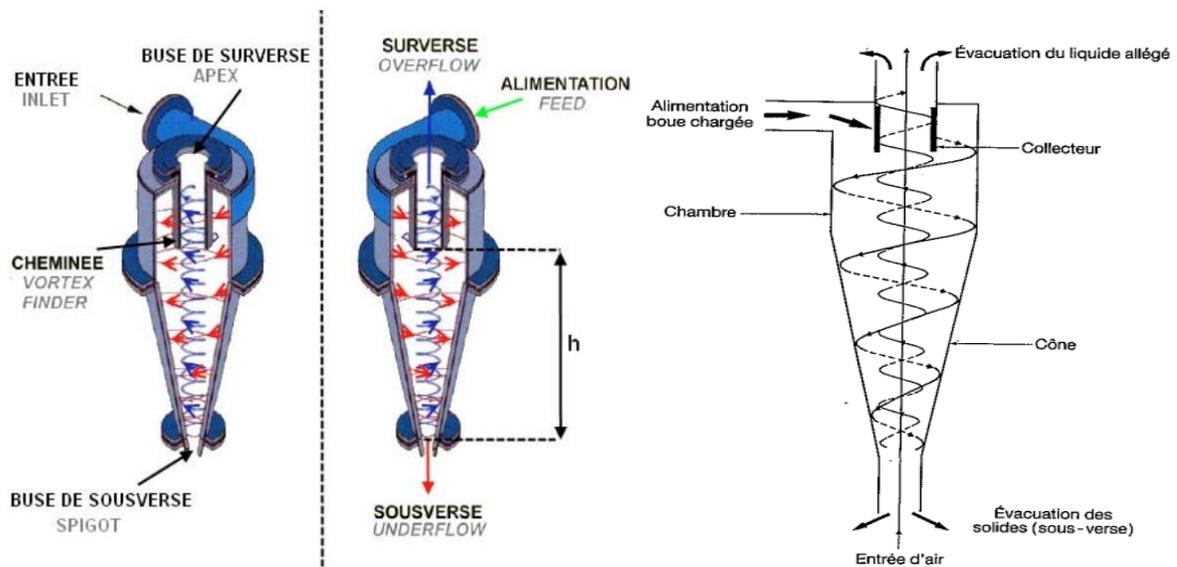


Figure 2.2 : Principe de fonctionnement d'un hydrocyclone.

On peut agir sur différents paramètres pour contrôler le fonctionnement de l'hydrocyclone :

- Paramètres géométriques
 - Diamètre de l'hydrocyclone D_c
 - Diamètre de la sousverse D_u
 - Diamètre de la surverse D_o
 - Angle du cône θ
- Conditions opératoires
 - Débit d'alimentation Q_f
 - Concentration en solide ϕ ou C_w
 - Présence ou non de surpression à la surverse et/ou à la sousverse pour forcer l'écoulement

Le comportement hydrodynamique d'un hydrocyclone dépend de la quantité de solide piégée, qui est déterminé en partie par la concentration en solide à l'alimentation et par le débit d'alimentation. La Figure II.3 présente les trois comportements possibles d'un hydrocyclone. On retrouve ainsi sur la gauche le comportement classique classificateur pour des mélanges peu concentrés en solide, ou pour de faibles débits d'alimentation.

La décharge à la sousverse se fait alors sous forme de spray, ou « parapluie » (Figure II.4(a)), la faible pression à l'intérieur aspirant de l'air au centre de la sousverse.

Lorsqu'on injecte une plus grande quantité de solide dans l'hydrocyclone, en augmentant la concentration ou le débit d'alimentation, la partie conique se remplit et bloque l'entrée d'air. La décharge se fait alors sous forme de boudin (Figure II.4(b)).

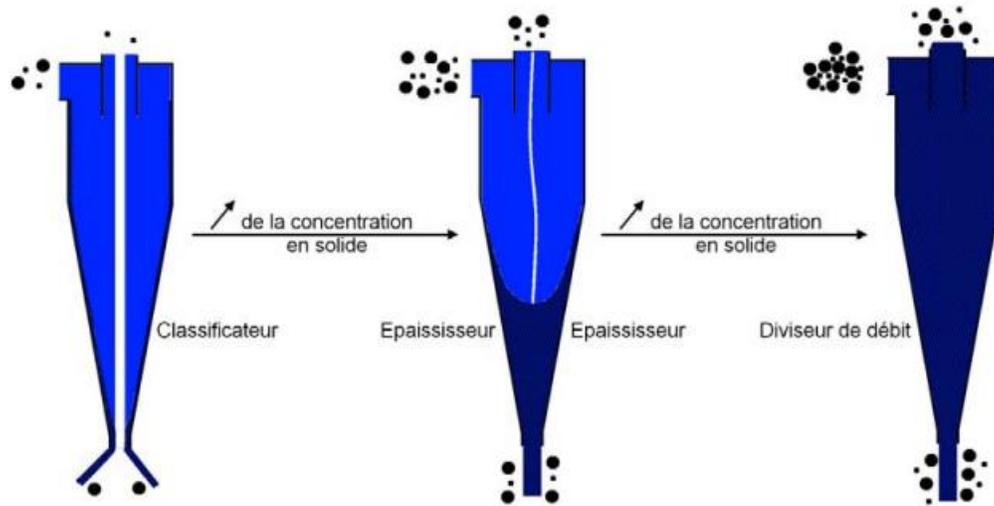


Figure 2.3 : décharges et parapluie en boudin à la sousverse.



(a)



(b)

Figure 2.4: Photographies des types de décharges à la sousverse (a) en parapluie (b) en boudin.

2.2.2 Séparation centrifuge des hydrocyclones

Principe de Séparation centrifuge :

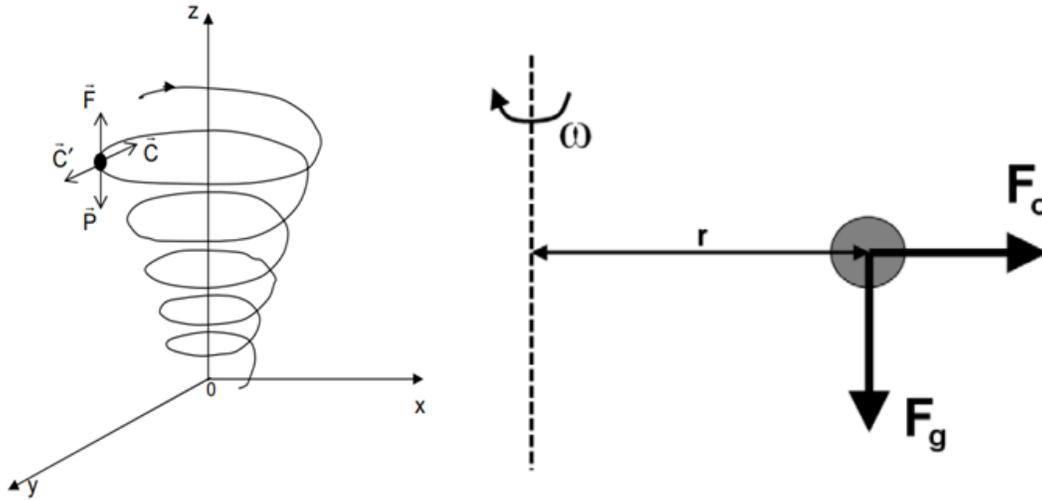


Figure 2.5 : Gravité et force centrifuge.

Lorsqu'un mélange solide-liquide au repos est soumis à l'accélération de la pesanteur, les particules plus denses que le fluide sédimentent. Ainsi, en fonction de la taille et de la densité des particules, la pesanteur force les inclusions à chuter avec une vitesse contrôlée par la force d'Archimède et la viscosité du fluide. Cette méthode de séparation gravitaire (décantation) n'est pas efficace en toute situation. [9]

La séparation centrifuge permet de décupler la vitesse de sédimentation. C'est une opération de séparation utilisant la force centrifuge et fonction de la masse des particules. Cette force d'inertie apparaît ainsi lorsque des objets ont un mouvement de rotation autour d'un axe (Figure II.5).

Ainsi, si on compare 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 ω :

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

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

avec

F_g = Force de gravité F

F_c = Force centrifuge

m_g = Masse de la particule

ρ_g = Masse volumique de la particule

d_g = Diamètre de la particule

g = Gravité

ω = Vitesse de rotation de la particule

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

On obtient ainsi les vitesses caractéristiques suivantes :

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

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

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

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

$$\rho_l = \frac{V_c d_p}{\mu_l} \ll 1 \quad (2.6)$$

Au final, on obtient :

$$V_c = \frac{\omega^2 r}{g} V_g \quad (2.7)$$

On appelle le rapport $\frac{\omega^2 r}{g}$ le coefficient de centrifugation qui est directement le « nombre de G » subit par la particule.

2.2.3 Capacité des hydrocyclones

Type	Diamètre du cône en pouce	Débit maximum admissible par cône
Dessilteur	2"	60 à 100 l/min.
	4"	180 à 340 l/min.
Dessableur	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

Pour éviter de sur-dimensionner ou de sous-dimensionner on doit respecter les données et recommandations du constructeur. [10]

Etablir de préférence les calculs pour un dessablage sur la phase 17"1/2	Etablir de préférence les calculs pour un dessiltage sur la phase 12"1/4
Exemple : Q forage = 3 000 l/mn	Exemple :Q forage = 2 000 l/mn
Q à traiter (sécurité 50%) 3000x1,5= 4500 l/mn	Q à traiter (sécurité 50%)2000x1,5 = 3000 l/mn
Nombre de cônes 12"	Nombre de cônes 4 "
$\frac{4500}{1900} = 2.3$ cônes soit 3 cônes 12 "	$\frac{3000}{200} = 15$ cônes
Nombre de cônes 8"	
$\frac{4500}{600} = 7.5$ soit 8 cônes 8"	

Tableau 2.2 : Choix de nombre de cones de dessableur

2.2.3.1 Vérification des performances des hydrocyclones

2.2.3.1.1 Règles essentielles relatives à l'installation des hydrocyclones

Ne jamais traiter les solides d'une boue par hydrocyclonage avant de l'avoir dégazée. Dans le cas contraire, les pompes centrifuges risquent fortement de caviter en entraînant une chute de l'efficacité des hydrocyclones ou même leur inutilité.

Les communications entre les bassins de traitement mécanique servant à l'hydrocyclonage doivent se faire préférentiellement vers le bas et non vers le haut (c'est l'inverse pour la fonction dégazage).

La pompe centrifuge et les hydrocyclones doivent au minimum pouvoir traiter le débit de circulation maximum majoré de 50 %.

2.2.3.1.2 Règles concernant l'entretien de l'installation

- Passer par les tamis vibrants.
- Utiliser des toiles de tamis aussi fines que possible.
- Travailler avec un écoulement en ombrelle et non en corde.
- Vérifier, nettoyer et déboucher régulièrement les cônes

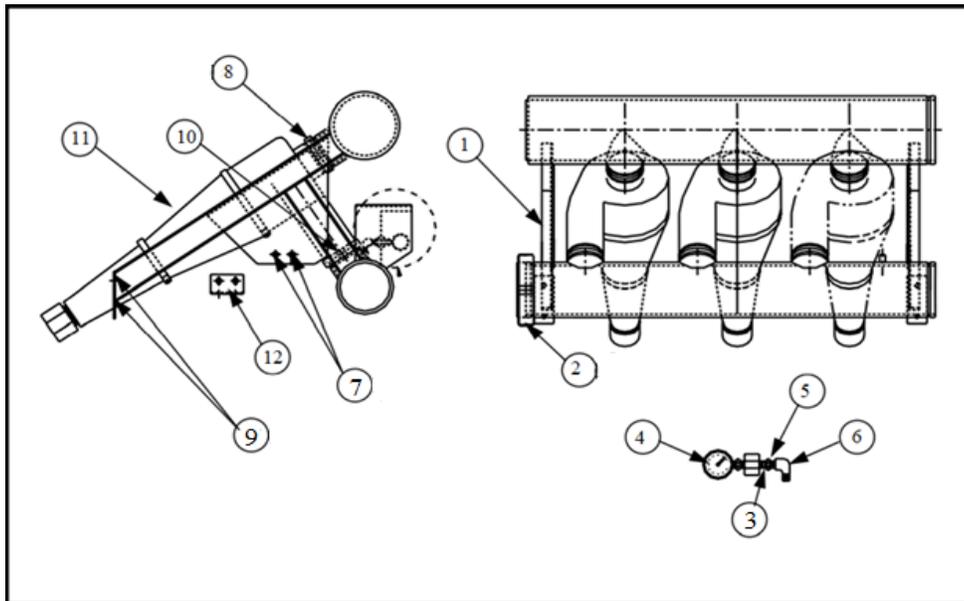
2.3 Dessablages

2.3.1 Description de dessableur

2.3.1.1 L'anatomie de dessableur conception

Le dessableur est généralement constitué de trois zones distinctes (figure II.6) [8]:

- La zone d'alimentation : Cette zone est située à l'entrée du dessableur et reçoit la boue de forage. Elle est conçue de manière à ralentir la vitesse de la boue pour permettre la décantation des particules solides les plus grossières. [9]
- La zone de séparation : Cette zone est conçue pour séparer les particules solides de la boue de forage en utilisant une force centrifuge. Les particules solides plus lourdes sont projetées contre les parois du dessableur et glissent jusqu'au fond de la cuve, tandis que la boue plus légère est évacuée vers la zone de sortie.
- La zone de sortie : Cette zone est située à la sortie du dessableur et permet d'évacuer la boue de forage traitée, sans particules solides.



- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Structure de dessableur | 8. Jauge |
| 2. Cone de dessableur | 9. Réducteur |
| 3. Couplage victaulic | 10. Fermeture de mamélon |
| 4. Erou hexagonal | 11. Coude de rue |
| 5. Couplage victaulic | 12. Vis à tete héxagonal |
| 6. Bouchon victaulic | 13. Angle de montage |
| 7. Rondelle de blocage | |

Figure 2.6 : les zones de dessableur de marque derrick

La figure II.7 présente les composants d'un cône de dessableurs de marque derrick [8].

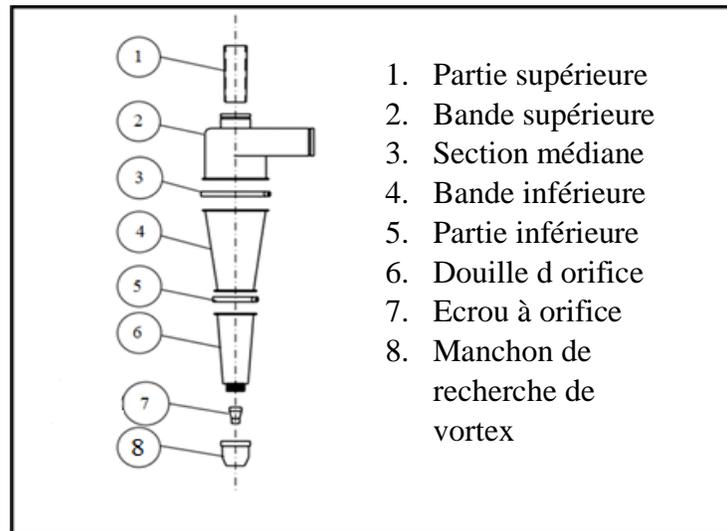


Figure 2.7 : Composant d'un cône de dessableur

2.3.2 Principe de fonctionnement de dessableur

Le dessableur est un équipement de traitement de la boue de forage utilisé dans les installations de forage. Il permet d'éliminer les particules solides telles que les grains de sable et autres débris de roches de la boue de forage. Le principe de fonctionnement du dessableur est relativement simple.

La boue de forage est introduite dans le dessableur par l'intermédiaire d'une entrée tangentielle, qui crée une force centrifuge. Cette force centrifuge fait tourner la boue à l'intérieur du dessableur et provoque la séparation des particules solides des liquides. Les particules solides sont alors précipitées vers le fond du dessableur, où elles sont récupérées et évacuées à l'aide d'un système de vidange, voire la figure II.8. [8]

La boue propre est ensuite évacuée du dessableur par l'intermédiaire d'une sortie située à l'extrémité opposée de l'entrée tangentielle. Le dessableur peut être équipé de plusieurs sorties pour une meilleure répartition du flux de boue.

La performance du dessableur dépend de plusieurs paramètres, tels que la pression d'entrée, la taille et la forme de l'entrée tangentielle, la géométrie et la taille du dessableur, la viscosité de la boue et le débit de boue. Ces paramètres doivent être soigneusement contrôlés et ajustés pour optimiser le fonctionnement du dessableur et maximiser son efficacité.

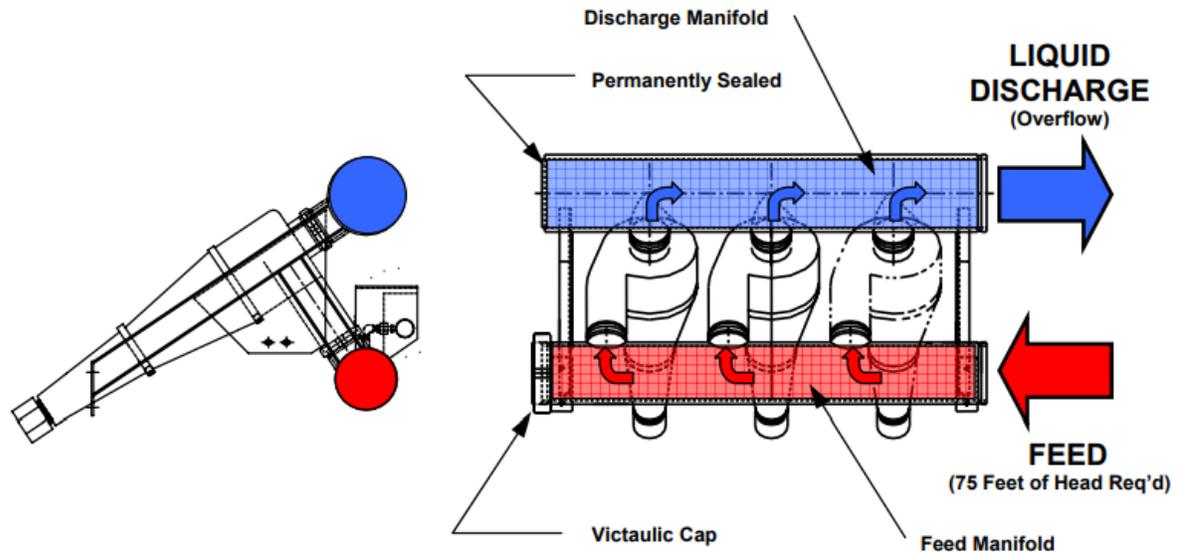


Figure 2.8 : Théorie de fonctionnement de dessableur

2.4 Eliminations des particules

2.4.1 Classifications des particules solides dans la boue de forage

Les particules solides dans la boue de forage proviennent du sol et de la roche qui est en train d'être forée. Les particules solides dans la boue de forage sont classées en fonction de leur taille et de leur forme. La taille des particules est généralement exprimée en microns. Les formes des particules peuvent être sphériques, irrégulières ou allongées. Voici les principales classifications des particules solides dans la boue de forage :

1. Particules grossières : Ce sont les particules dont la taille est supérieure à 74 microns. Elles sont généralement retirées de la boue de forage par le shaker (tamis).
2. Particules intermédiaires : Ce sont des particules dont la taille est comprise entre 2 et 74 microns. Elles peuvent être retirées de la boue de forage par des équipements tels que les hydrocyclones et les centrifugeuses.
3. Particules fines : Ce sont des particules dont la taille est inférieure à 2 microns. Elles sont difficiles à retirer de la boue de forage car elles ont tendance à former des agrégats et peuvent rester en suspension pendant une longue période. Les particules fines peuvent entraîner des problèmes tels que l'obstruction des pores de la roche et la dégradation de la qualité de la boue de forage.

En plus de la classification basée sur la taille, les particules solides dans la boue de forage peuvent également être classées en fonction de leur forme. Les particules allongées sont souvent considérées comme plus problématiques que les particules sphériques ou irrégulières, car elles

ont tendance à causer des problèmes d'obstruction des pores de la roche et peuvent entraîner une diminution de la production de pétrole ou de gaz voire la figure II.9. [9]

Il convient de noter que le diamètre des particules solides rejetées par chaque hydrocyclone dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille de l'hydrocyclone et la pression d'entrée du liquide de forage. Voir la figure II.10. [4]

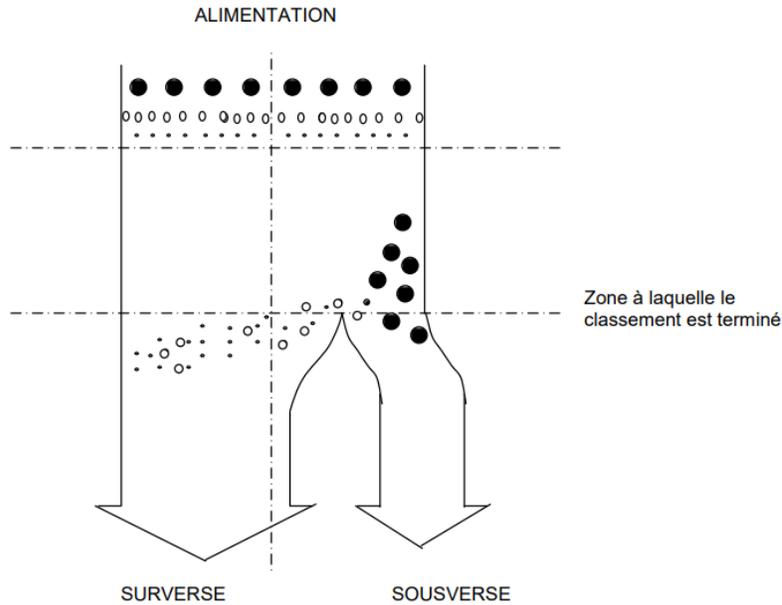


Figure 2.9 : Répartition des particules dans l'hydrocyclone

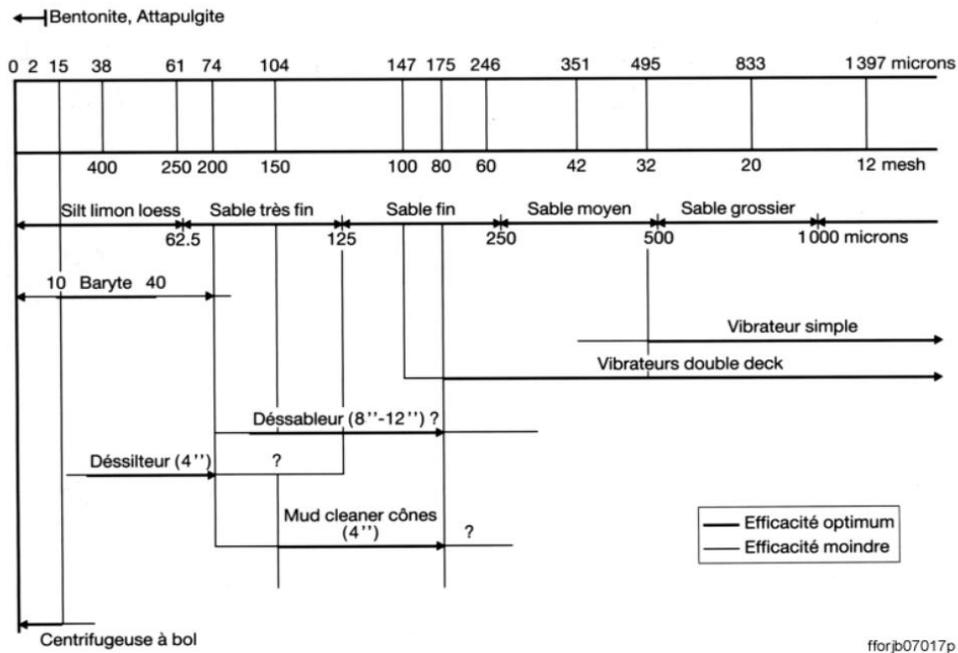


Figure 2.10 : Classification des appareils de séparation selon la taille des particules

2.4.2 Diamètre de l'hydrocyclone

Le diamètre de l'hydrocyclone est choisi en fonction de la dimension de coupure désirée. La Figure II.12 montre que la capacité de traitement et la maille de coupure théorique augmente avec le diamètre d'un hydrocyclone. Le choix du diamètre d'un hydrocyclone doit par conséquent prendre en considération la capacité visée de traitement et la distribution granulométrique du minerai. Ainsi, pour le classement d'un minerai grossier il sera préférable d'utiliser un hydrocyclone de diamètre supérieur à celui qui serait retenu pour le traitement d'un minerai fin (voir Figure II.11).

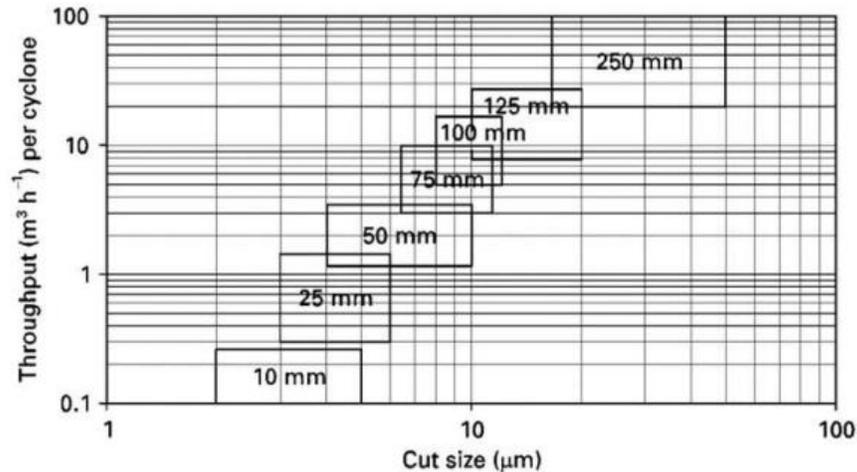


Figure 2.11 : Sélection d'hydrocyclone en fonction du débit d'alimentation et de maille de coupure

2.5 Influence de certains paramètres sur les performances de séparation

Les performances d'un dessableur sont souvent évaluées en fonction de sa capacité à éliminer les particules solides de la boue de forage. Pour évaluer cette capacité, plusieurs méthodes de calcul peuvent être utilisées, telles que :

- **Dimensionnement** : Le dimensionnement d'un dessableur est généralement basé sur le débit de boue de forage et la taille des particules solides à éliminer. Plus la boue de forage contient des particules solides de grande taille, plus le dessableur doit être grand pour pouvoir les éliminer efficacement.
- **Pression** : La pression est également un facteur important pour la performance du dessableur. Une pression élevée peut aider à éliminer les particules solides plus rapidement, mais elle peut également augmenter la perte de charge et entraîner une diminution du débit de la boue de forage et causer des problèmes tels que l'usure prématurée des équipements et une consommation d'énergie accrue.
- **Débit** : Le débit est un paramètre clé pour la performance du dessableur, car il détermine la quantité de boue de forage qui traverse le dessableur. Un débit trop élevé peut

entraîner une perte de charge excessive et réduire l'efficacité du dessableur, tandis qu'un débit trop faible peut réduire la capacité du dessableur à éliminer les particules solides.

- Viscosité : La viscosité de la boue de forage peut également affecter la performance du dessableur. Une boue de forage plus visqueuse peut aider à retenir les particules solides plus facilement, mais elle peut également entraîner une perte de charge plus importante et réduire le débit de la boue de forage.

En utilisant ces différentes méthodes de calcul, les ingénieurs peuvent concevoir et ajuster les dessableurs pour maximiser leur efficacité dans l'élimination des particules solides de la boue de forage.

2.6 Limitation de dessableur

Le dessableur est un équipement efficace pour éliminer les particules solides de la boue de forage dont la taille est de l'ordre de 50 à 80 microns. Cependant, il présente certaines limitations, notamment :

1. Limitation de la taille des particules : Le dessableur ne peut éliminer que les particules dont la taille est supérieure à 50-80 microns. Les particules plus fines ne peuvent pas être éliminées par le dessableur et restent dans le fluide de forage.

2. Dépendance à la viscosité : Le dessableur dépend de la viscosité du fluide de forage pour séparer les particules solides. Si la viscosité du fluide est trop faible, la performance du dessableur peut être limitée.

3. Limitation de la capacité : La capacité du dessableur est limitée par sa taille et sa conception. Si la quantité de particules solides dans le fluide de forage est trop importante, le dessableur peut être saturé, ce qui peut entraîner une diminution de sa performance.

4. Coût : Le dessableur peut être coûteux à l'achat et à l'entretien, en particulier s'il est utilisé dans des conditions difficiles ou si sa capacité doit être augmentée.

5. Besoin d'entretien : Le dessableur nécessite un entretien régulier pour maintenir sa performance optimale, notamment le nettoyage des tamis et la réparation ou le remplacement des composants défectueux.

6. Impact environnemental : Les déblais collectés par le dessableur doivent être éliminés de manière appropriée pour éviter tout impact environnemental négatif.

7. Limitations géologiques : Dans certaines formations géologiques, le dessableur peut ne pas être efficace en raison de la nature des particules ou de la boue de forage. Dans ces cas, d'autres équipements de traitement mécanique ou chimique peuvent être nécessaires.

3.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur les calculs du dessableur (hydrocyclones), des appareils couramment utilisés pour la séparation solide-liquide dans une installation de forage. Comprendre ces calculs est essentiel pour concevoir et optimiser les performances des hydrocyclones.

Nous explorerons différentes formules, modèles et méthodes utilisés pour les calculs des hydrocyclones. Nous aborderons notamment le calcul de la maille de coupure, qui détermine la taille des particules séparées par l'hydrocyclone. De plus, nous étudierons la capacité de traitement ou le débit d'alimentation des hydrocyclones.

Nous discuterons également de la résistance des hydrocyclones et de son impact sur leur stabilité et leur durabilité. Nous examinerons des modèles et des calculs approchés pour les hydrocyclones, ainsi que le calcul de la puissance nécessaire pour leur fonctionnement.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une compréhension claire et accessible des calculs des hydrocyclones, en mettant l'accent sur leur importance dans la conception et l'optimisation de ces dispositifs de séparation solide-liquide.

3.2 Formulations pour les calculs des hydrocyclones

3.2.1 Calcul de la maille de coupure

De nombreux auteurs ont étudié et proposé des formules permettant de calculer et de modéliser les caractéristiques des cyclones. La plupart de ces formules ont été déterminées empiriquement. Elles donnent la valeur de la maille de coupure corrigée ou d_{50c} en micromètres. [11] [12]

On retrouve comme notations dans ces formules :

- D_0 diamètre de surverse,
- D_u diamètre de sous verse,
- D_c diamètre du cyclone
- D_i diamètre d'alimentation
- I hauteur de base de diaphragme (ou vortex) au sommet de la base de sous verse (hauteur de travail de cyclone)
- L hauteur de cyclone
- Q : débit volumique d'alimentation de la boue (m^3/s).
- ϕ Fraction volumique de solide dans la boue alimentant le cyclone (%).
- μ viscosité de la boue (Pa.s).
- ρ masses volumiques respectives du solide et du liquide (kg/m^3).
- Δp perte de charge dans le cyclone (Pa)
- θ° angle du cône.

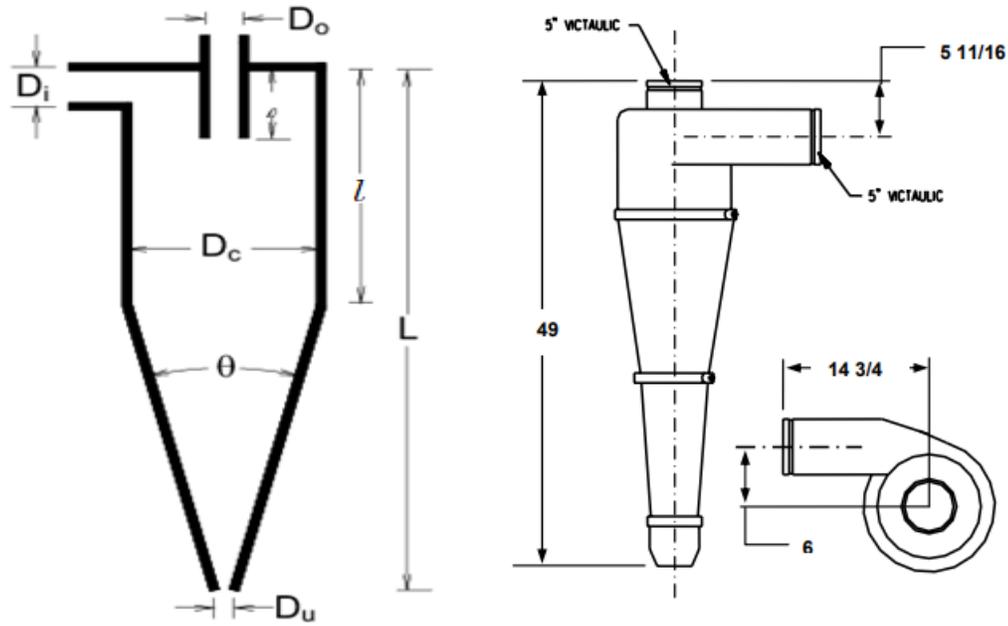


Figure 3.1 : dimensions d'un hydrocyclone

Nous citons les formules historiquement importantes et les plus communes d'emploi :

3.2.1.1 Formule et modèle de Bradley

Cette formule est basée sur le calcul théorique d'équilibre des forces pour chaque particule à l'intérieur du cyclone : [12] [13]

$$d_{50c} = k \left[\frac{D_c^3 \mu_l}{Q_f (\rho_s - \rho_l)} \right]^n \quad (1)$$

Avec

k : constante tenant compte de la géométrie

n : coefficient hydrodynamique compris entre 0,5 et 1 généralement prise égale à 0,5 :

μ_l : Coefficient de partage des débits volumiques de fluide, (fluide sous verse /fluide alimentation).

ρ : Les masses volumiques en g/cm (de solide ρ_s et de liquide ρ_l)

Dans cette formule, les valeurs de k et n sont dépendantes de la géométrie du cyclone et doivent être déterminées expérimentalement.

3.2.1.2 La formule empirique de Dahlstrom

$$d_{50c} = 3 \times 10^3 (D_0 \times D_i)^{0.68} \times Q^{-0.53} \times (\rho_s - \rho_l) \quad (2)$$

Cette formule a été établie à partir d'essais réalisées avec des cyclones de petit diamètre et alimentés avec des boues très diluées sans tenir compte de certains paramètres comme le débit de la sous verse. Cependant, elle donne des renseignements suffisamment approchés et a été donc largement utilisé dans la pratique industrielle à condition de ne pas trop s'éloigner des caractéristiques des cyclones utilisés par Dahlstrom. Les deux formules précédentes ne sont pas utilisables que pour des boues assez diluées (<35% en masse de solide). [14]

L'emploi de plus en plus important de cyclones dans les circuits de broyage a multiplié les recherches pour des formules plus générales utilisables sur de plus grands cyclones et avec des boues moins diluées (jusqu'à 65 % en masse de solide).

3.2.1.3 Plitt et son équipe

Ils ont développé une formule empirique basée sur des régressions multiples : [12] [15]

$$d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0.46} \times D_0^{1.21} \times D_i^{0.6} \times e^{(0.063\varphi)}}{D_u^{0.71} \times l^{0.38} \times Q^{0.45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \quad (3)$$

Avec :

- l : hauteur de la base du diaphragme (ou vortex) au sommet de la buse de sous verse (Hauteur de travail du cyclone) en m.
- Q : le débit volumique en m³/h
- ρ : Les masses volumiques en g/cm (de solide ρ_s et de liquide ρ_l)

Cette formule prend en compte toutes les variables caractérisant la géométrie du cyclone.

3.2.1.4 Mular et Jull

Ils donnent une formule utilisée plus particulièrement dans les circuits de broyage pour la détermination des cyclones Krebs : [16]

$$d_{50c} = 1006.26 \times D_c^{1.875} \times e^x \times Q^{-0.6} \times (\rho_s - \rho_l)^{-0.5} \quad (4)$$

Avec :

$$X = -0.684 \times 10^{-4} \times \varphi^3 - 0.00356 \times \varphi^2 + 0.301 + 0.0945 \times \varphi$$

e^x: Est une mesure indirecte de la viscosité de la boue.

- La maille de coupure varie en fonction de la géométrie du cyclone et des caractéristiques de la boue.

On peut écrire :

$$d_{50c} = f(W^m).$$

: étant une des caractéristiques du cyclone ou de la boue Pour un cyclone de diamètre donné, les constructeurs fournissent des buses qui permettent de modifier les diamètres du vortex, de la sousverse et de la hauteur (petits cyclones) pour adapter le cyclone au problème à résoudre.

3.2.2 Capacité de traitement (débit d'alimentation) d'un cyclone

La deuxième variable la plus importante d'un cyclone (après la maille de coupure,) est sa capacité de traitement (en volume de boue alimentée). Ce débit volumique peut être formulé en termes de perte de charge à travers le cyclone. Théoriquement, le débit volumique Q varie selon la formule : [11]

$$Q = k(\Delta p)^{1/2}$$

La forme utilisable la plus simple stipule que le débit est en fonction du carré du diamètre de l'orifice d'entrée et de la racine carrée de la perte de charge. La formule de Chaston est dérivée et a été mise au point à partir d'essais industriels sur des cyclones dont l'angle au sommet variait de 15 à 30° :

$$\Delta p_{\pm 20\%} = (Q/A_e k)^2$$

Avec :

A_e : aire de l'entrée

K : constante de Chaston (0,0142 si Q est en m/s, A_e en m² et p en Pa).

Selon les auteurs précédemment cités pour la maille de coupure, la capacité de traitement du cyclone est fournie par les expressions suivantes :

3.2.2.1 D'après Bradley

Il a établi cette équation : [13]

$$\Delta P = \frac{Q^2 \times \left[\left(\frac{D_c}{D_0} \right)^{1.6} - 1 \right]}{1.8496 \times 10^{-8}}$$

Avec :

Le débit volumique à l'alimentation devient alors :

$$Q = 0,136 \times 10^{-3} \times \left[\Delta p / \left(\frac{D_c}{D_0} \right)^{1.6} - 1 \right]^{1/2}$$

3.2.2.2 Dahlstrom

Il a établi cette équation : [14]

$$Q = k \times (D_i \times D_0)^{0.9} \times \Delta p^{1/2} \quad (5)$$

Les variations de k en fonction de l'angle du cône θ sont données dans le tableau 2 :

K	θ	d_{50c}
4.99×10^{-3}	20	$>40 \mu m$
5.44×10^{-3}	15	20 à $40 \mu m$
7.68×10^{-3}	10	$<20 \mu m$

Tableau 3.1 : Variations de k en fonction de l'angle du cône dans l'équation (5)

3.2.2.3 Plitt

En (1976) il a établi ces formules : [15]

$$\Delta p = \frac{131 \times 10^3 \times Q^{1.78} \times e^{(0.0055 \times \varphi)}}{D_c^{0.37} \times D_t^{0.94} \times l^{0.28} \times (D_u^2 + D_o^2)^{0.87}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1.33 \times 10^{-3} \times \Delta p^{0.56} \times D_c^{0.21} \times D_e^{0.53} \times h^{0.16} \times (D_s^2 + D_{sr}^2)^{0.49}}{e^{(0.0031 \times \varphi)}}$$

3.2.2.4 Mular et Jull

En 1980 ont développé l'équation : [16]

$$Q = 8.26 \times 10^{-4} \times D_c^2 \times \Delta P^{0.5} \quad (7)$$

La capacité de traitement d'un cyclone donnée est limitée par sa géométrie et donc par son diamètre D, Si ce diamètre est insuffisant pour le volume à traiter, on utilise plusieurs cyclones en parallèle (batterie de cyclones). A l'inverse, si le volume a traité est trop faible, le cyclonage devient impossible. On peut cependant utiliser s'ils existent des cyclones dont l'angle du cône est plus grand et qui ont des débits inférieurs à ceux des cyclones classiques.

Pour que la capacité de traitement soit directement liée à la perte de charge Δp on admet en général que celle-ci doit être inférieure à 103 Pa. Dans les cyclones de MOMS de 100 mm de diamètre, la perte de charge est plus importante et augmente lorsque celui-ci diminue.

3.2.3 Calcul de dessableur à la résistance mécanique

Ce calcul consiste à la détermination de la contrainte équivalente de l'éclatement, du corps du cyclone (dessilteur). [17]

Matériau du corps :

Le corps du cyclone est en caoutchouc élastomères du type silicone Les caractéristiques de ce matériau sont les suivants :

Résistance : R= 12 bars à l'extension.

T=180 °c température maximale en régime continu.

Ce caoutchouc résiste aux agents chimiques et à la chaleur.

Pour ce calcul, prenons dans la partie conique une section médiane parce que la partie supérieure qui est cylindrique est renforcée à l'aide du carter métallique qui couvre cette partie.

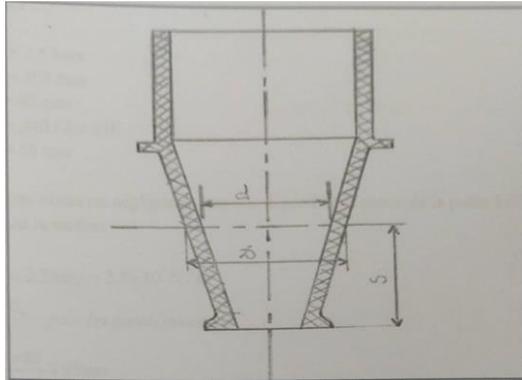


Figure 3.2 : Schéma d'un corps du cyclone

En prenant un point matériel du corps dans la section de coupe, il est soumis aux forces suivantes.

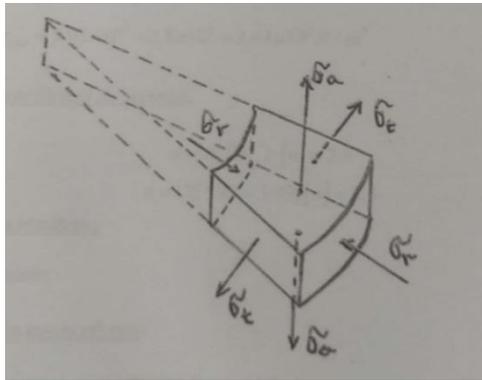


Figure 3.3 : Un point matériel du corps du cyclone

σ_s = contrainte axiale.

σ_r = contrainte radiale.

σ_t = contrainte tangentielle.

3.3 Modélisation et calcul approchée d'un cyclone

3.3.1 Modélisations pour la maille de coupure

Le fonctionnement des cyclones a été modélisé par de nombreux chercheurs et constructeurs à partir d'équations dont certaines ont été citées précédemment. Les formules de Plitt (3), (6), (8) et (9), qui couvrent un large domaine d'utilisation des cyclones, servent de base à la modélisation dans de nombreux programmes de simulation tels qu'Usimpac commercialisé par la CISA-BRGM (Control International SA-Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Tous ces calculs nécessitent l'utilisation d'un micro-ordinateur. Une approche du dimensionnement est possible sur la base d'une géométrie de cyclone donnée, mais il est toujours recommandé de contacter les constructeurs pour une détermination plus précise.

3.3.1.1 Première méthode : Dahlstrom

On prend en compte les formules (2) et (5) avec comme autres caractéristiques :

$$d_{50c} = 3 \times 10^3 \times (D_0 \times D_i)^{0.68} \times Q^{-0.53} \times (\rho_s - \rho_l)^{-0.5} \quad (2)$$

$$Q = k \times \left(\frac{D_i}{D_0}\right)^{0.9} \times \Delta p^{1/2} \quad (5)$$

On trouve :

- $D_i = D_0$
- $L = 2/3 \cdot D_c$ (avec L hauteur de la partie cylindrique).
- $D_c = D_i = f(D_0)$ selon le tableau 5.2.

Le rapport des diamètres D_c/D_0 en fonction de la concentration en solides et de la granulométrie (tableau 5.2)

W (%)	Granulométrie d'alimentation		
	>204 μ	80 à 200 μ	<80 μ
<15	4.5D ₀	5 D ₀	4 D ₀
15 à 30	5 D ₀	4.5 D ₀	4 D ₀
> 30	7 D ₀	6 D ₀	5 D ₀

Tableau 3.2 : Valeurs du diamètre D_e du cyclone en fonction de la granulométrie et de la fraction massique des solides w dans l'alimentation pour les formules de Dahlstrom (2) et (5)

3.3.1.2 Deuxième méthode : Plit

L'estimation initiale des paramètres du cyclone peut utiliser les formules (3), (6), (8) et (9) et la géométrie suivante :

$$D_0 = 0.3D_c. \quad l = 3D_c. \quad D_u = D_i = 0.2D_c,$$

3.3.1.3 Troisième méthode : Mular et Jull

A partir de la formule (4) et (7) avec :

$$D_0 = 0.4D_c.$$

$$A_e = 0.055D_c^2$$

$$D_i = 0.265D_c$$

A_e : étant l'aire d'admission dans le cyclone qui est de préférence rectangulaire.

3.3.2 Calcul approché

Calculer la maille de coupure (diamètre des particules) d'un cyclone de :

- Un débit volumique de l'alimentation $Q = 13.68 \text{ m}^3/\text{s}$. [8] [1]
- $D_c = 350 \text{ mm}$
- $D_i = 110 \text{ mm}$
- $D_u = 56 \text{ mm}$
- $D_0 = 127 \text{ mm}$
- Une masse volumique du solide $\rho_s = 3450 \text{ kg/m}^3$.
- Une masse volumique de boue $\rho_l = 1310 \text{ kg/m}^3$.
- Une fraction massique de solide dans l'alimentation $w = 11 \%$.
- 80% du solide de l'alimentation passent dans la sousverse et la fraction massique de solide de ce dernier est $W = 70\%$.

3.3.2.1 Calcul de (φ) : connaissant w et ρ_s

V_p : volume de la boue.

V_s : volume des solides.

V_l : volume du liquide.

m_p : masse de la boue.

m_s : masse des solides.

m_l : masse du liquide

On écrit :

$$V_p = V_s + V_l$$

D'où :

$$V_l \times \rho_l = m_l = m_p - m_s = m_s \times \left[\left(\frac{100}{w} \right) - 1 \right]^{-1}$$

$$\varphi = \frac{V_s}{V_l} = 100 \times \rho_l \times w \times [\rho_l \times w + \rho_s(100 - w)]^{-1}$$

$$\varphi = 4.83\%$$

Application numérique

Pour : $w = 15\% \Rightarrow \varphi = V_s/V_p = 100 \times 998.16 \times 11 \times [998.16 \times 11 + 1250(100 - 11)]^{-1} = 12.35\%$

3.3.2.2 Dimensionnement selon les formules de Dahlstrom

A partir de la formule (2) et de l'égalité :

$$d_{50c} = 3 \times 10^3 \times (D_0 \times D_i)^{0.68} \times Q^{-0.53} \times (\rho_s - \rho_l)^{-0.5}$$

On aura :

$$d_{50c} = 3 \times 10^3 \times (0.11 \times 0.11)^{0.68} \times 0.0038^{-0.53} \times (3450 - 1310)^{-0.5}$$

$$d_{50c} = 61.79 \text{ } \mu\text{m}$$

➤ Tableau 3.3 : Valeur de d_{50c} en fonction de $(\rho_s - \rho_l)$

d_{50c}	$\rho_s - \rho_l$
63.91	2000
63.13	2050
62.37	2100
61.79	2140
61.64	2150
60.94	2200
60.26	2250
59.60	2300
58.96	2350

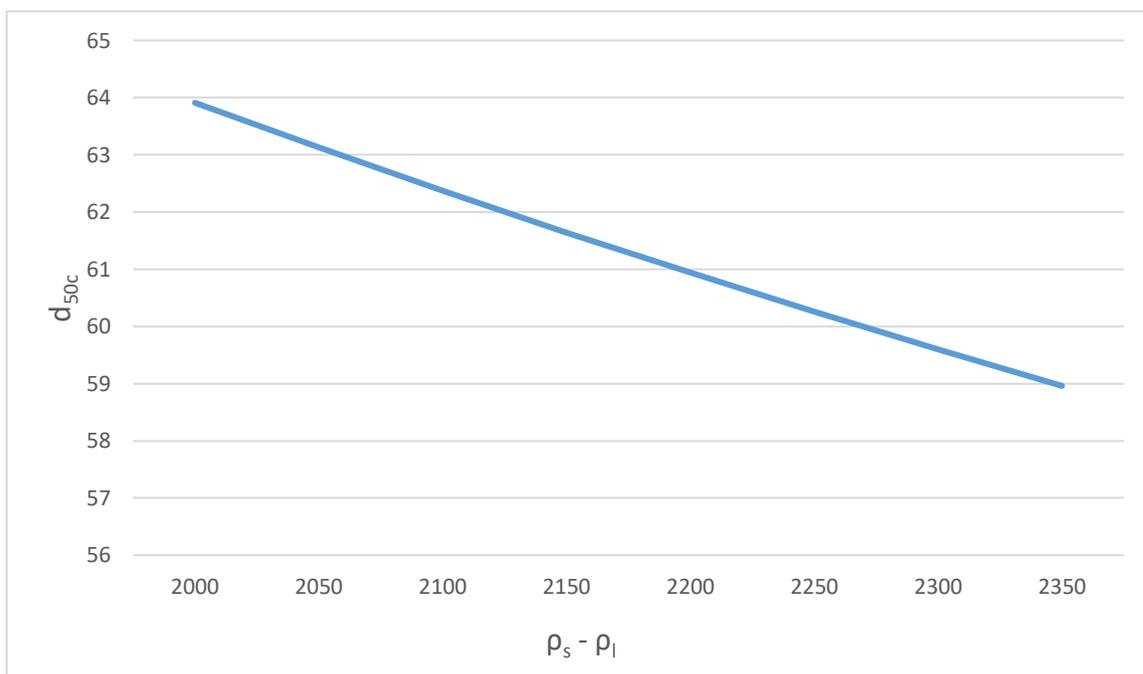


Figure 3.4 : Variation de d_{50c} en fonction de $\rho_s - \rho_l$

Interprétation :

Dans ce graphe qui présente la variation de la maille de coupure en fonction des masses volumique du solide et liquide ($\rho_s - \rho_l$) on remarque que c'est une diminution linéaire autrement dit : lorsque la masse volumique du solide augmente la maille de coupure diminue ; d'où le rendement du dessableur diminue.

➤ Tableau 3.4 : Valeur de d_{50c} en fonction de D_i

d_{50c}	D_i
57.25	104
58.00	105
58.57	106

59.50	107
60.27	108
61.02	109
61.79	110
62.55	111
63.32	112

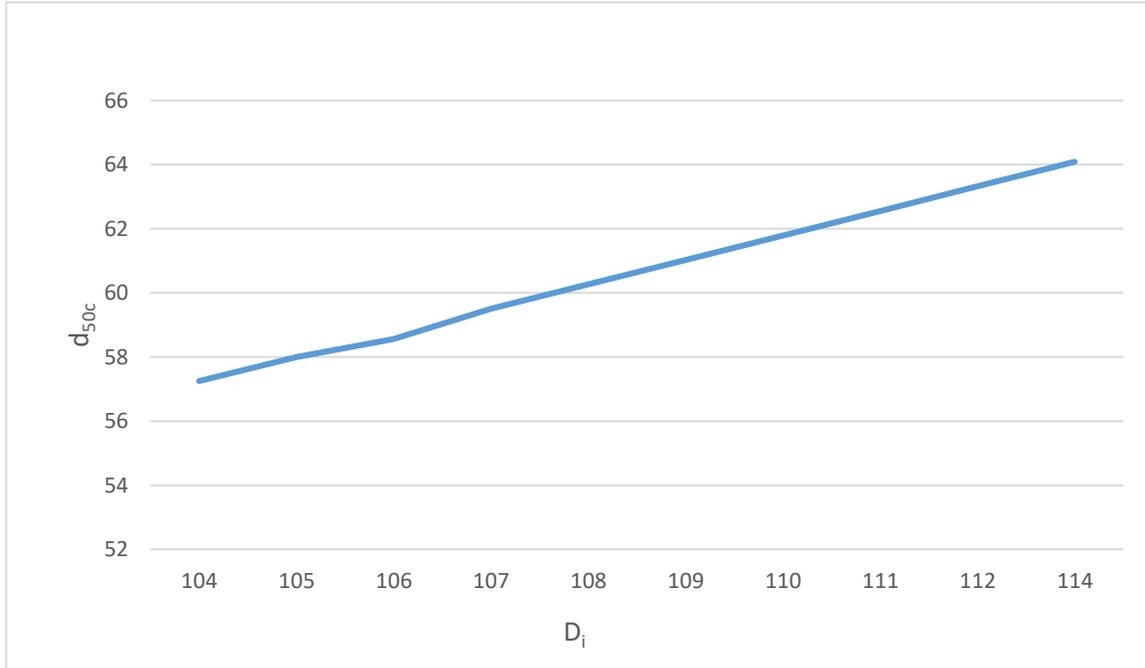


Figure 3.5 : Variation de d_{50c} en fonction de diamètre D_i

Interprétation :

Dans ce graphique qui présente la variation de la maille de coupure d_{50c} en fonction de diamètre d'alimentation D_i on voit qu'elle augmente linéairement c'est à dire l'augmentation du D_i provoque l'augmentation du d_{50c}

A partir de la formule (5) :

$$Q = k \times (D_0 \times D_i)^{0.9} \times \Delta p^{1/2}$$

On a:

$$K=4.99 \times 10^{-3} \text{ (tableau 5.1)}$$

$$Q=0.0038 \text{ m}^3/\text{s}$$

On obtient :

$$\Delta p = 38329.64 \text{ Pa} = 0.383 \text{ bar}$$

$$L=2/3D_c = 233.33 \text{ mm} = 0.23 \text{ m}$$

3.3.2.3 Dimensionnement selon les formules de Plitt

A partir de la formule (3)

$$d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0.46} \times D_0^{1.21} \times D_i^{0.6} \times e^{(0.063\varphi)}}{D_u^{0.71} \times l^{0.38} \times Q^{0.45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0.5}}$$

Et les rapports de géométrie :

$$D_0 = 0.3D_c$$

$$D_u = 0.2D_c$$

$$D_i = 0.2D_c$$

$$l = 3D_c$$

$$d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0.46} \times (0.3D_c)^{1.21} \times (0.2D_c)^{0.6} \times e^{(0.063\varphi)}}{(0.2 \cdot D_c)^{0.71} \times (3D_c)^{0.38} \times Q^{0.45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0.5}}$$

D'où $d_{50c} = 63.487 \mu\text{m}$

➤ Tableau 3.5 : Valeur de d50c en fonction du diamètre de cyclone Dc

d _{50c}	D _c
59.23	330
60.29	335
61.35	340
62.42	345
63.487	350
64.56	355
65.63	360
66.70	365
67.79	370
68.87	375
69.96	380

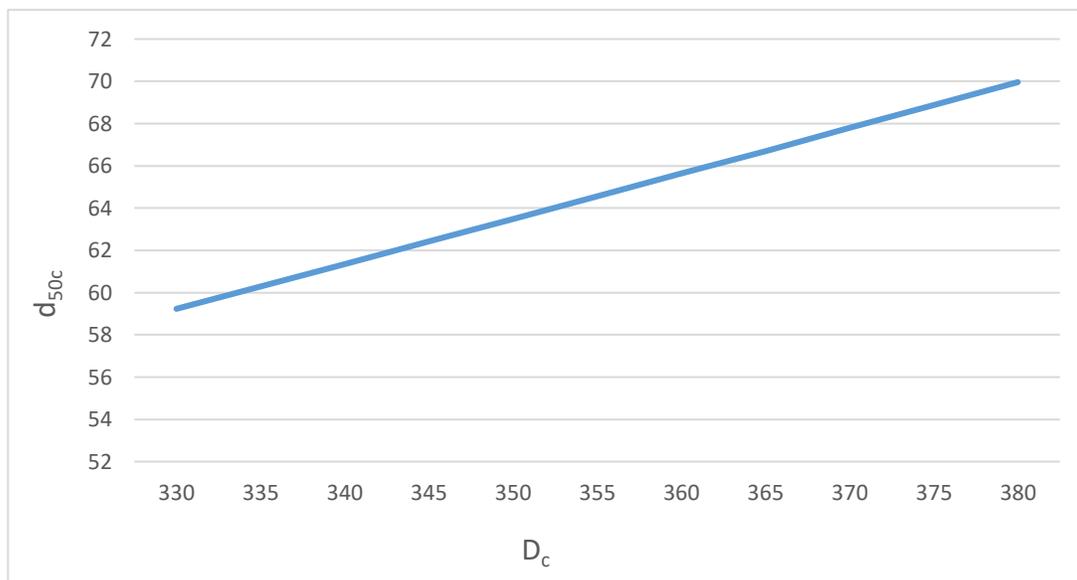


Figure 3.6 : Variation de d50c en fonction du diamètre de cyclone Dc

Interprétation :

Dans ce graphe qui présente la variation de la maille de coupure d_{50c} en fonction de diamètre de cyclone D_c on voit qu'elle augmente linéairement c'est à dire l'augmentation du D_c provoque l'augmentation du d_{50c} .

A partir de la formule (6) :

On a :

$$Q = 0.0038 \text{ m}^3/\text{s} \quad \varphi = 4.83\%$$

$$\Delta p = \frac{131 \times 10^3 \times Q^{1.78} \times e^{(0.0055 \times \varphi)}}{D_c^{0.37} \times D_t^{0.94} \times l^{0.28} \times (D_u^2 + D_o^2)^{0.87}}$$

$$\Delta p = \frac{131 \times 10^3 \times 0.0038^{1.78} \times e^{(0.0055 \times 4.48)}}{0.35^{0.37} \times 0.07^{0.94} \times 1.05^{0.28} \times (0.07^2 + 0.105^2)^{0.87}}$$

$$\Delta p = 4281.41 \text{ Pa} = 0.04281 \text{ bar}$$

➤ Tableau 3.6 : Valeur de d_{50c} en fonction du débit Q

d_{50c} (μm)	Q (m^3/s)
68.59	0.0032
66.74	0.0034
65.05	0.0036
63.49	0.0038
62.04	0.004
60.69	0.0042
59.43	0.0044
58.25	0.0046

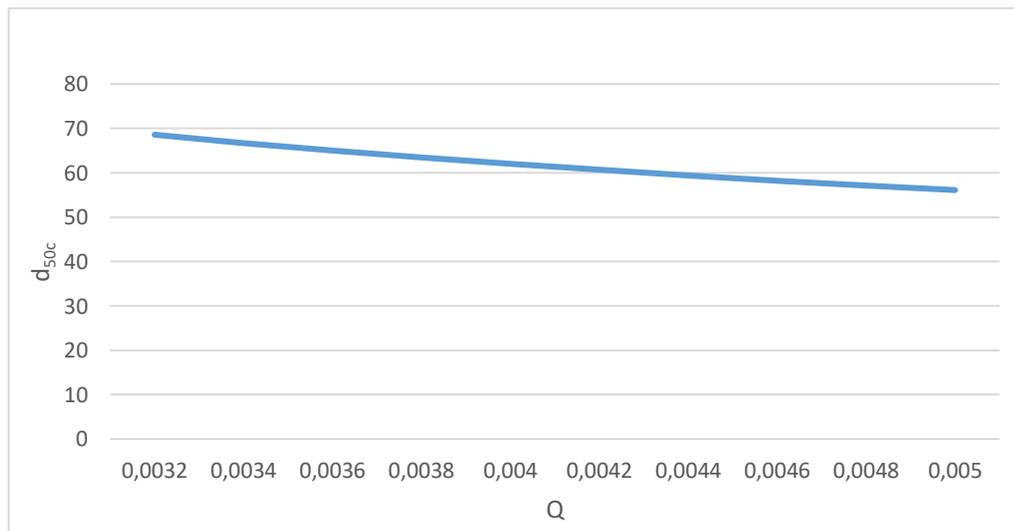


Figure 3.7 : Variation de d_{50c} en fonction du débit Q

Interprétation

Dans ce graphe qui présente la variation de la maille de coupure d_{50c} en fonction de débit volumique à l'alimentation Q on trouve que le débit varie proportionnellement avec la maille de coupure ; lorsqu'il augmente, cette dernière diminue donc l'augmentation de l'efficacité du dessableur.

3.3.2.4 Dimensionnement selon les formules de Mular et Jull

A partir de la formule (4) :

$$d_{50c} = 1006.26 \times D_c^{1.875} \times e^x \times Q^{-0.6} \times (\rho_s - \rho_l)^{-0.5}$$

On a :

$$X = -0.684 \times 10^{-4} \times \varphi^3 + 0.00356 \times \varphi^2 + 0.301 + 0.0945 \times \varphi$$

$$X = -0.684 \times 10^{-4} \times 4.48^3 + 0.00356 \times 4.48^2 + 0.301 + 0.0945 \times 4.48 = -0.58$$

Donc :

$$e^{(x)} = 0.55 \quad d_{50c} = 65.18 \mu m$$

A partir de la formule (7) :

On a :

$$Q = 0.0038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 8.26 \times 10^{-4} \times D_c^2 \times \Delta p^{0.5}$$

$$\Delta p = \left(\frac{0.0038}{8.26 \times 10^{-4} \times 0.35^2} \right)^2$$

Donc on obtient :

$$\Delta p = 1410.37 \text{ Pa} = 0.0141 \text{ bar}$$

3.3.2.5 Bradley : Hypothèse d'équilibre

A proposé cette expression pour la maille de coupure d_{50} :

$$d_{50c} = k \left[\frac{D_c^3 \mu_l}{Q_f (\rho_s - \rho_l)} \right]^n$$

Pour $\mu_l=0.4$; On trouve : $d_{50c}=61.05$

$$\Delta P = \frac{Q^2 \times \left[\left(\frac{D_c}{D_0} \right)^{1.6} - 1 \right]}{1.8496 \times 10^{-8}}$$

$$\Delta p = 3172.1584 \text{ Pa} = 0.03172 \text{ bar}$$

3.3.2.6 Comparaison des résultats

Démontions réel de maille de coupure $d_{50c} = 63 \mu\text{m}$

Caractéristiques	Méthode			
	Dahlstron	Plitt	Mular et Juli	Bradly
d_{50c}	61.79	63.48	65.18	61.05
Δp (Pa)	38329.64	42810	1410.37	3172.15

Tableau 3.7 : Dimensionnement d'un cyclone selon différents auteurs

Interprétation des résultats

- Les résultats de la méthode de Plitt et la méthode Dahlstron sont plus proches par rapport aux autres méthodes.
- Les pertes de charges calculées par la méthode de Mular et Juli sont faibles par rapport aux autres méthodes.

3.3.3 Calcul de l'hydrocyclonage à la résistance mécanique

Données

$$P_s = 2.5 \text{ bars}$$

$$D = 105 \text{ mm}$$

$$D = 85 \text{ mm}$$

$$S = 340/2 = 170$$

$$\delta = 10 \text{ mm}$$

La contrainte axiale est négligeable, car elle dépend de la masse de la partie inférieure du corps depuis la section.

$$\sigma_r = P_s = 2,5 \text{ bars} = 2.5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_t = P_s \cdot D_m / 4\delta \quad \text{pour les parois minces.}$$

$$D_m = (105+85) / 2 = 95 \text{ mm}$$

$$\delta : \text{épaisseur} = 10 \text{ mm}$$

Application numérique

$$\sigma_t = \frac{2.5 \cdot 10^5 \times 95 \cdot 10^3}{4 \times 10 \cdot 10^{-3}} = 5.93 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{equiv} = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 5.93 \times 10^5 - 2.5 \times 10^5 = 3.43 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Déterminons le coefficient de sécurité.

$$n = R_e / \sigma_{equiv} \geq [n] = 2.5$$

$$n = 12/3.43 = 3.49 > [n] = 2.5$$

Interprétation des résultats :

La sécurité est assurée.

3.4 Calcul de la puissance nécessaire

3.4.1 La hauteur manométrique

De nombreux cônes équilibrés sont conçus pour fournir une efficacité de séparation maximale lorsque la hauteur d'entrée est de 75 pieds. [18] Pour être sûr de la hauteur d'entrée recommandée, vérifiez auprès du groupe technique du fabricant. Le fluide aura toujours la même vitesse à l'intérieur du cône si la même hauteur est fournie à l'entrée de l'hydrocyclone. La pression peut être convertie en pieds de hauteur à l'aide de l'équation fréquemment utilisée dans les calculs de contrôle des puits, mais légèrement réarrangée :

$$\text{hauteur (en pieds)} = \frac{\text{PSI}}{0,052 \times \text{poids de la boue (en ppg)}}$$

La relation entre la pression du manomètre du collecteur et le poids du fluide de forage à une hauteur d'alimentation constante de 75 pieds est résumée dans le Tableau 11.1.

Les hydrocyclones séparent les solides en fonction de leur masse, qui est une fonction à la fois de la densité et de la taille des particules.

Pression (psig)	Hauteur (ft)	Masse volumique (ppg)
32.5	75	8.34
35	75	9.0
37	75	9.5
39	75	10.0
41	75	10.5
43	75	11.0
45	75	11.5
47	75	12.0
49	75	12.5
51	75	13.0

Tableau 3.8 : Valeur de pression en fonction de la masse volumique ρ [18]

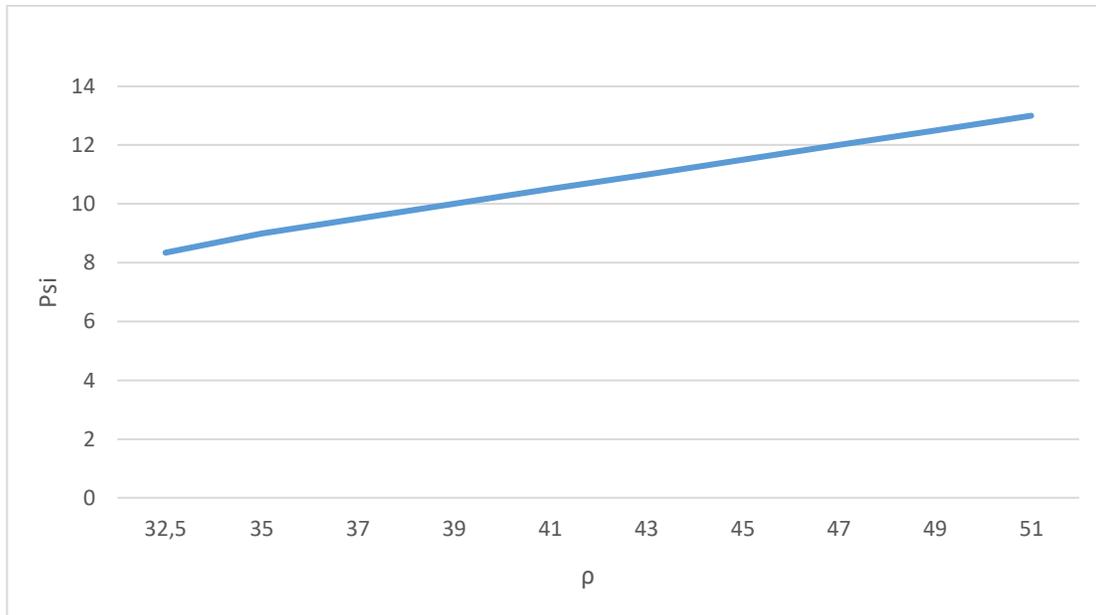


Figure 3.8 : Variation de pression en fonction de la masse volumique ρ

Interprétation

Dans ce graphique qui présente la variation de la pression d'entrée en fonction de la masse volumique ; on trouve que la pression varie proportionnellement avec la masse volumique ; lorsqu'elle augmente, cette dernière augmente aussi ce qui donne l'augmentation de l'efficacité du dessableur.

3.4.2 Calcul de puissance nécessaire [19]

$$P_h = \rho g H Q_t$$

$Q_{\text{forage}} = 3000 \text{ l/min}$; $Q_t \text{ à traité} = 3000 * 1.25 = 3750 \text{ l/min} = 0.0625 \text{ m}^3/\text{s}$; $H=22.86 \text{ m}$

P_h : puissance hydraulique

η : masse volumique (kg/m^3)

$$P_h = 1310 * 9.81 * 22.86 * 0.0625 = 18.361 \text{ Kw}$$

Pour un rendement $\eta_t=65\%$

Puissance nécessaire :

$$P_a = \frac{P_h}{\eta_t} = \frac{18.361}{0.65} = 28.25 \text{ Kw}$$

Interprétation du résultat : La pression de pompage d'alimentation du dessableur doit être au voisinage de 28.25 kw pour un rendement 60%

3.5 Conclusions

En conclusion, l'étude des calculs des hydrocyclones revêt une importance cruciale pour la conception, le dimensionnement et l'optimisation de ces dispositifs de séparation solide-liquide. Ce chapitre a exploré différentes méthodes et modèles de calcul utilisés pour estimer la maille de coupure, la capacité de traitement, la résistance et la puissance nécessaire des hydrocyclones.

Les formules empiriques proposées par Bradley, Dahlstrom, Plitt, Mular et Jull ont été présentées pour estimer la maille de coupure en fonction des caractéristiques du fluide et des particules. On a trouvé que le modèle de Plitt et son équipe est le plus proche par rapport aux autres, $d_{50c}=63.48 \mu\text{m}$ comparant au constructeur $d_{50c}=63 \mu\text{m}$.

La capacité de traitement des hydrocyclones, qui influence leur dimensionnement et leur performance, Les pertes de charges calculées par la méthode de Mular et Juli $\Delta p = 1410.37 \text{ Pa}$ sont faibles par rapport aux autres méthodes.

A partir des graphes qui représentent la variation de la maille de coupure d_{50c} en fonction de plusieurs paramètres (les dimensions des hydrocyclones (D_i et D_c) et en fonction de la masse volumique de la boue de forage ($\rho_s - \rho_l$) et de débit d'alimentation Q , on a trouvé :

- La variation de d_{50c} est proportionnelle avec les dimensions du dessableur (D_i et D_c).
- La variation de d_{50c} est inversement proportionnelle avec la masse volumique du fluide de forage ($\rho_s - \rho_l$).
- La variation de d_{50c} est inversement proportionnelle en fonction du débit Q .

La résistance des hydrocyclones a été étudiée pour garantir la stabilité et la durabilité du dessableur, dans notre cas le coefficient de sécurité $n = 3.49 > [n] = 2.5$ donc, la sécurité est assurée.

Enfin, le calcul de la puissance nécessaire pour le fonctionnement des hydrocyclones, à partir de graphe qui la variation de pression en fonction de la masse volumique ρ , on a trouvé que la pente de graphe représente la hauteur manométrique $H = 75 \text{ ft} = 22.86 \text{ m}$, pour cette valeur de H et un rendement $\eta_t = 65\%$, La puissance nécessaire du dessableur doit être au voisinage de 28.25 kw

En somme, une bonne compréhension des calculs des hydrocyclones permet d'améliorer leur efficacité et de les adapter aux besoins spécifiques des différentes industries, en favorisant une meilleure séparation des particules solides et liquides.

4.1 Introduction

L'industrie du forage est soumise à des conditions difficiles et souvent extrêmes qui peuvent entraîner une usure prématurée des équipements, y compris des dessableurs. La maintenance est donc essentielle pour assurer le fonctionnement optimal de ces équipements et éviter des temps d'arrêt coûteux. Dans le cas des dessableurs, qui jouent un rôle crucial dans la séparation des solides et des liquides, une maintenance régulière permet de maintenir leur efficacité et d'optimiser leur durée de vie. Dans cette section, nous discuterons de l'importance de la maintenance pour les équipements de forage qui contiennent des hydrocyclones, en mettant l'accent sur le dessableur.

4.2 Différentes formes de maintenance

La maintenance est une étape cruciale dans le cycle de vie de tout équipement de forage, y compris le dessableur. Elle vise à assurer la fiabilité, la disponibilité et la durabilité de l'équipement, tout en réduisant les coûts d'entretien et de réparation.

Il existe trois formes de maintenance principales : la maintenance préventive, la maintenance corrective et la maintenance prédictive.

- La maintenance préventive consiste en une série de tâches planifiées et régulières visant à prévenir les défaillances de l'équipement avant qu'elles ne surviennent. Elle peut inclure des inspections régulières, des remplacements de pièces d'usure, des nettoyages et des lubrifications. L'avantage de la maintenance préventive est qu'elle permet de minimiser les temps d'arrêt imprévus et les coûts de réparation.

- La maintenance corrective, quant à elle, intervient après qu'une défaillance ou un dysfonctionnement est survenu. Elle consiste à réparer ou remplacer les pièces endommagées, et à remettre l'équipement en état de fonctionnement. Bien que la maintenance corrective soit souvent plus coûteuse que la maintenance préventive, elle est néanmoins essentielle pour rétablir rapidement la production et éviter des pertes financières.

- la maintenance prédictive utilise des techniques de surveillance et d'analyse pour prévoir les défaillances de l'équipement avant qu'elles ne se produisent. Elle peut inclure des analyses vibratoires, des mesures de température et de pression, ainsi que des contrôles non destructifs. En anticipant les défaillances, la maintenance prédictive permet de planifier les réparations de manière proactive, d'éviter les temps d'arrêt imprévus et de prolonger la durée de vie de l'équipement.

Il est important de noter que chaque forme de maintenance a ses avantages et ses limites, et que le choix de la stratégie de maintenance doit être adapté aux besoins spécifiques de l'équipement et aux contraintes opérationnelles.

4.3 Maintenance de dessableur

4.3.1 Les tâches de maintenance effectuées sur le dessableur

Pour garantir un fonctionnement optimal et une durée de vie prolongée du dessableur de forage, plusieurs tâches de maintenance doivent être effectuées régulièrement. Voici quelques exemples :

- Remplacement des joints d'étanchéité : ils sont essentiels pour empêcher les fuites de fluides dans le dessableur. Cependant, ils peuvent s'user et se dégrader avec le temps, ce qui peut entraîner des fuites et une baisse de performance. Il est donc important de les inspecter régulièrement et de les remplacer si nécessaire. Les joints sont représentés dans **la figure II.7** (bande supérieure entre upper Section et middle section et bande inférieure entre middle section et lower section)

- Nettoyage et remplacement des éléments filtrants : ils doivent être régulièrement nettoyés ou remplacés pour éviter l'accumulation de particules et garantir une filtration optimale. Les éléments filtrants peuvent être des tamis, des cartouches ou des filtres à disques.

- Inspection de la structure et des composants : ils doivent être régulièrement inspectés pour détecter tout signe d'usure, de corrosion ou de dommage. Si des problèmes sont détectés, des mesures doivent être prises pour les réparer ou les remplacer.

En fonction des conditions de fonctionnement et de l'utilisation, d'autres tâches de maintenance spécifiques peuvent également être nécessaires. Il est donc important de suivre les recommandations du fabricant et d'effectuer régulièrement des inspections pour garantir un fonctionnement sûr et efficace du dessableur de forage.

La position des joints et de pièces d'usure (Apex) d'un dessableur marque derrick sont représenté la figure IV.1.

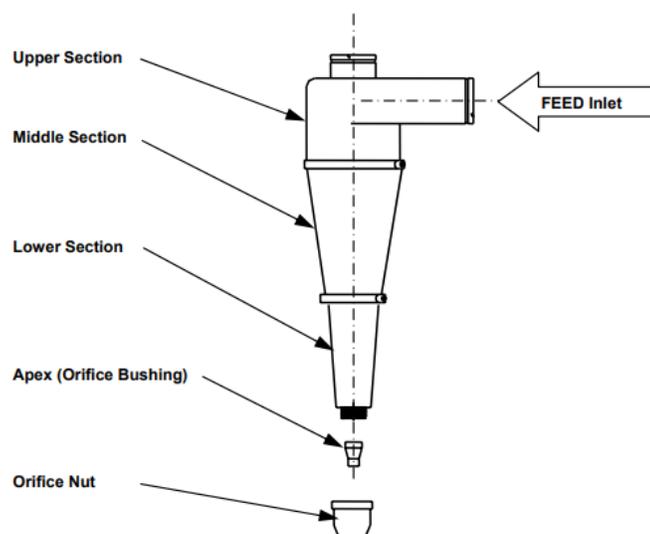


Figure 4.1 : Composants de dessableur (les parties principales d'un dessableur)

4.3.2 Différents types d'outils et d'équipements utilisés pour la maintenance du dessableur

La maintenance du dessableur nécessite l'utilisation de différents types d'outils et d'équipements spécifiques. Parmi ceux-ci, on peut citer les kits de maintenance qui contiennent les pièces de rechange nécessaires pour les réparations, les outils de mesure de pression et de débit pour évaluer le fonctionnement du dessableur, ainsi que les outils de nettoyage pour éliminer les dépôts de sable et d'autres débris qui peuvent obstruer les éléments filtrants. Il est également important de disposer des équipements de sécurité appropriés lors de la maintenance du dessableur, tels que des gants de protection, des lunettes de sécurité et des vêtements de travail appropriés. Les techniciens de maintenance doivent être formés à l'utilisation de ces outils et équipements pour assurer une maintenance efficace et en toute sécurité du dessableur. La maintenance régulière et appropriée du dessableur présente de nombreux avantages pour les opérations de forage. Elle permet de réduire les temps d'arrêt non planifiés, qui peuvent être coûteux et entraîner des pertes de production importantes. En assurant un fonctionnement continu du dessableur, la maintenance régulière contribue également à améliorer la fiabilité et la durée de vie de l'équipement.

4.4 Maintenance de desilter

4.4.1 Vérifier l'usure des pièces d'usure (apex) du desilter

Voici quelques étapes recommandées :

- Arrêter le desilter et attendre que toutes les vibrations s'arrêtent complètement.
- Ouvrir le boîtier de protection du desilter et inspectez les buses, les écrans et les tuyaux pour détecter toute usure ou dommage visible.
- Vérifier l'état des buses en examinant leur orifice d'injection, qui doit être propre et dégagé de toute obstruction.
- Vérifier l'état des écrans pour détecter toute déformation ou usure excessive. Les écrans doivent être plats et sans plis, bosses ou déformations.
- Vérifier l'état des tuyaux de raccordement pour détecter toute usure ou fuite éventuelle. Les tuyaux doivent être en bon état et ne pas présenter de fuites.
- Si nous constatons des signes d'usure ou de dommage, on note les pièces concernées et prévoyez de les remplacer dès que possible.

Il est important de rappeler que la vérification régulière de l'état des pièces d'usure et leur remplacement en temps voulu sont essentiels pour maintenir les performances optimales du desilter. Une usure excessive des pièces peut réduire l'efficacité du desilter et entraîner des coûts supplémentaires liés aux réparations et au remplacement des pièces endommagées.

La pièce d'usure (Apex) de desilter est représentée dans la figure IV.2.

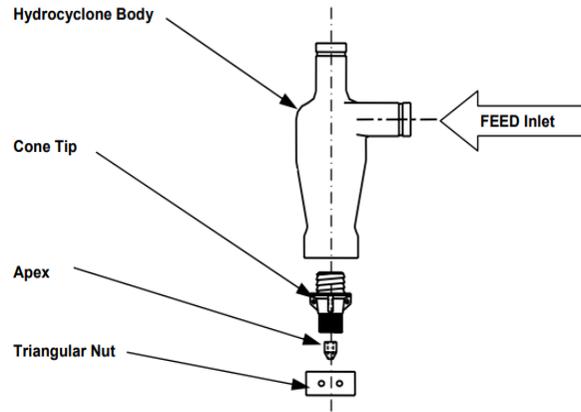


Figure 4.2 : Les composantes d'un desilter

4.4.1.1 Inspection visuelle

Il est recommandé de procéder à une inspection visuelle régulière de l'ensemble de l'équipement pour détecter tout dommage ou toute usure. La figure IV.3 et la figure IV.4 représente une inspection visuelle sur le desilter.



Figure 4.3 : Cône de desilter après l'inspection visuelle



Figure 3.4 : Inspection visuelle de desilter

4.4.1.2 Remplacement des pièces usées

Les pièces d'usure telles que les buses et les tuyaux peuvent se détériorer au fil du temps et devoir être remplacées. Il est recommandé de vérifier régulièrement l'état de ces pièces et de les remplacer si nécessaire. Effectivement, le remplacement régulier des pièces d'usure (Figure IV.5) est essentiel pour maintenir les performances optimales du dessableur et du desilter du mud cleaner. Les buses et les tuyaux font partie des pièces qui subissent une usure régulière et peuvent affecter l'efficacité de la séparation des particules solides si elles ne sont pas remplacées en temps voulu. Les buses sont utilisées pour injecter le fluide de forage dans les cônes de désandage (éliminer les particules de sable du fluide de forage) et de dé-schlammage (éliminer les débris fins du fluide de forage) et elles peuvent se boucher avec des particules solides, ce qui peut entraîner une réduction de la capacité de traitement. Les tuyaux de raccordement, quant à eux, peuvent subir une usure due aux hautes pressions et aux vibrations, ce qui peut entraîner des fuites et une perte de pression. Il est donc recommandé de vérifier régulièrement l'état de ces pièces et de les remplacer si nécessaire. Le remplacement des pièces doit être effectué par des professionnels qualifiés et formés à la maintenance des équipements de forage pour assurer une installation correcte et une compatibilité avec les autres composants du mud cleaner. Il est également important de choisir des pièces de rechange de haute qualité pour garantir la fiabilité et la durabilité de l'équipement de forage. Les fabricants de mud cleaner proposent généralement des pièces de rechange d'origine, qui sont spécialement conçues pour les équipements de forage et répondent aux normes de qualité requises.



Figure 4.5 : Pièce d'usure de desilter

4.5 Diagramme d'ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de diagramme en arêtes de poisson ou diagramme de causes et effets, est un outil de qualité utilisé pour analyser les causes potentielles d'un problème ou d'une situation. Dans le cas des hydrocyclones, qui sont des dispositifs utilisés pour séparer les particules solides des liquides, voici comment un diagramme d'Ishikawa pour les hydrocyclones pourrait être structuré (figure IV.6)

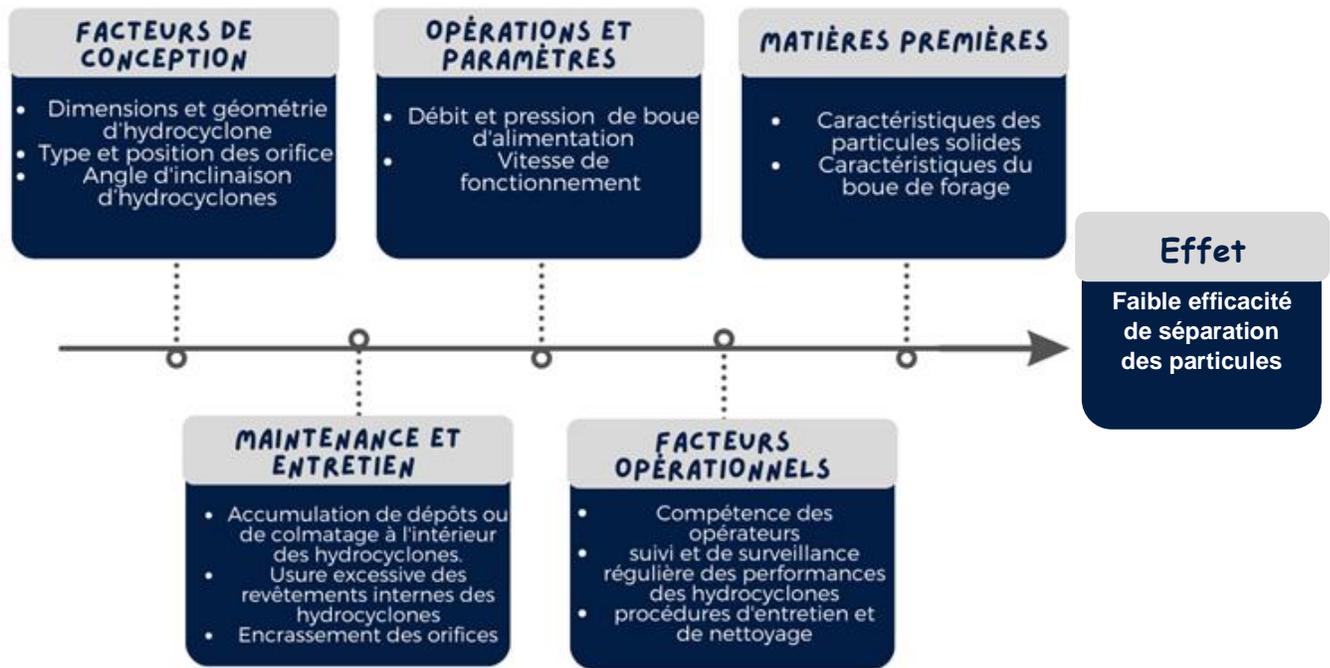


Figure 4.6 : Diagramme d'Ishikawa pour les hydrocyclones

4.6 Type de maintenance applique sur les dessableurs

Le tableau IV.1 vous permet d'organiser les différentes opérations de maintenance et de les classer en fonction de leur type, qu'il s'agisse de maintenance préventive, corrective ou prédictive.

Opération de maintenance	types de maintenance
Inspection visuelle régulière des composants	Maintenance préventive
Vérification des fuites	Maintenance préventive
Analyse de l'usure des parties internes	Maintenance préventive
Nettoyage des hydrocyclones	Maintenance préventive
Contrôle du rendement de séparation	Maintenance préventive
Formation du personnel en maintenance	Maintenance préventive
Mise à jour des enregistrements de maintenance	Maintenance préventive
Remplacement des manchons d'aspiration	Maintenance corrective
Remplacement des cônes	Maintenance corrective
Équilibrage des hydrocyclones	Maintenance corrective
Alignement des hydrocyclones	Maintenance corrective
Analyse des vibrations	Maintenance prédictive
Surveillance de l'usure des pièces	Maintenance prédictive
Mesure des niveaux de bruit	Maintenance prédictive
Surveillance de la consommation d'énergie	Maintenance prédictive

Tableau 4.1 : Classification des opérations de maintenance avec leurs types

4.7 Conclusion

La maintenance est un aspect crucial pour assurer le bon fonctionnement et la longévité de l'équipement de forage, y compris le dessableur. À partir des discussions précédentes, il est clair que la maintenance doit être effectuée régulièrement pour éviter les pannes imprévues et minimiser les coûts de réparation.

Il est recommandé d'adopter une approche proactive de la maintenance, en utilisant des techniques de maintenance préventive et prédictive pour détecter les problèmes avant qu'ils ne se transforment en défaillance. Le personnel de maintenance devrait être formé et qualifié pour effectuer des tâches spécifiques de maintenance sur le dessableur, et il devrait y avoir des procédures claires pour la maintenance de routine et les interventions de réparation.

En outre, il est important de disposer des bons outils et équipements pour la maintenance du dessableur, tels que des kits de maintenance et des outils de mesure de pression et de débit. Enfin, un suivi régulier de la performance et de la fiabilité du dessableur peut aider à identifier les problèmes potentiels et à planifier la maintenance à l'avance.

En conclusion, une maintenance régulière et appropriée du dessableur et desilter peut apporter des avantages significatifs en termes de fiabilité, de disponibilité et de durée de vie de l'équipement. La mise en place d'un programme de maintenance efficace et la formation adéquate du personnel de maintenance sont essentielles pour atteindre ces objectifs.

Conclusion générale

En conclusion, dans ce mémoire de fin d'études, nous nous sommes intéressés à l'importance du dessableur dans le système de circulation d'un appareil de forage. Nous avons examiné les différentes composantes du système de circulation, en mettant l'accent sur le rôle crucial du dessableur dans l'élimination des particules solides de la boue de forage.

Nous avons abordé en détail le principe de fonctionnement des hydrocyclones et en particulier dessableur, ainsi que les paramètres influençant les performances d'épuration de la boue. Nous avons également discuté des limitations du dessableur et des stratégies pour améliorer son efficacité.

De plus, nous avons étudié les formulations et les calculs des hydrocyclones, en mettant l'accent sur la maille de coupure, la capacité de traitement et la résistance mécanique. Ces calculs nous ont permis d'optimiser la conception et les performances du dessableur.

Les formules empiriques proposées par Bradley, Dahlstrom, Plitt, Mular et Jull ont été présentées pour estimer la maille de coupure en fonction des caractéristiques du fluide et des particules. On a trouvé que le modèle de Plitt et son équipe est le plus proche par rapport aux autres, $d_{50c}=63.48 \mu\text{m}$ en comparaison par rapport à celui du constructeur $d_{50c}=63 \mu\text{m}$.

Les pertes de charges calculées par la méthode de Mular et Juli $\Delta p = 1410.37 \text{ Pa}$ sont faibles par rapport aux autres méthodes.

A partir des graphes qui représentent la variation de la maille de coupure d_{50c} en fonction de plusieurs paramètres (les dimensions des hydrocyclones (D_i et D_c) et en fonction de la masse volumique de la boue de forage ($\rho_s - \rho_l$) et de débit d'alimentation Q , nous avons obtenu que :

- La variation de d_{50c} est proportionnelle aux dimensions du dessableur (D_i et D_c).
- La variation de d_{50c} est inversement proportionnelle à la masse volumique du fluide de forage ($\rho_s - \rho_l$).
- La variation de d_{50c} est inversement proportionnelle au débit Q .

La résistance des hydrocyclones a été étudiée pour garantir la stabilité et la durabilité du dessableur, dans notre cas le coefficient de sécurité $n = 3.49 > [n] = 2.5$ donc, la sécurité est assurée.

Enfin, pour le calcul de la puissance nécessaire pour le fonctionnement des hydrocyclones, à partir de graphe qui représente la variation de pression en fonction de la masse volumique ρ , on a trouvé que la pente de graphe représente la hauteur manométrique $H = 75 \text{ ft} = 22.86 \text{ m}$, pour cette valeur de H et un rendement $\eta_t = 65\%$, La puissance nécessaire du dessableur doit être au voisinage de 28.25 kw

Enfin, nous avons souligné l'importance de la maintenance du dessableur pour assurer son bon fonctionnement et sa longévité de vie. Nous avons exploré les différentes formes de maintenance, les tâches spécifiques de maintenance du dessableur et les outils utilisés.

CONCLUSION

Ce mémoire a donc contribué à une meilleure compréhension du rôle crucial du dessableur dans la gestion des particules solides dans la boue de forage. Les connaissances acquises et les recommandations formulées peuvent être utilisées par les exploitants des dessableurs de l'industrie pétrolière pour optimiser l'efficacité et la performance de ces derniers et réduire les coûts de maintenance et améliorer la productivité des opérations de forage ENF#15.

En conclusion, ce mémoire nous a permis de mettre en évidence l'importance du dessableur dans le système de circulation d'un appareil de forage, en fournissant des informations précieuses sur son fonctionnement, ses performances et sa maintenance. Il constitue une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration de cette technologie clé de l'industrie pétrolière et gazière.

Références

- [1] S. (SH/DF), Drilling Program, Hassi messaoud, 2023.
- [2] ENAFOR, Caractéristique de l'appareil ENF#15, 2004.
- [3] Jean-paul, techniques d'exploitation pétrolière le forage, Paris, 1993.
- [4] I. training, boue de forage, enspm Foration Industrie, 2005.
- [5] I. Training, Traitement des solides, 2006.
- [6] ENAFOR, Capacité des bac a boue ENF#15, 2022.
- [7] M. SOUNATRACH, TRAITEMENT MECANIQUE DES SOLIDES, juillet 2009.
- [8] DERRICK, Maintenance and opérating MANUAL, Buffalo, New York.
- [9] HANITRINALA, CONCEPTION ET REALISATION : Hydrocyclones en vue de recuperation des concentres en chromite, 2002/2003.
- [10] M. DADOU, «LES FLUIDE DE FORAGE,» *DIVISION FORAGE SONATRACH*, F2VRIER 2004.
- [11] A. Khitous, «étude de dementionnement des hydrocyclones de la boue de forage pour le puits ENJN01,» 2015.
- [12] A. Davailles, «Effet de la concentration en solide sur les performances de séparation d'un hydrocyclone (sumulation numérique et expériences de références),» 2011.
- [13] D. Bradley, *The Hydrocyclone*, Oxford: Pergamon Press,, 1965.
- [14] D. Dahlstrom, *The sizing and selection of hydrocyclones*, New York, 1987.
- [15] L. Plitt, *A mathematical model of the hydrocyclone classifier*, 1976, p. 114–123.
- [16] A. J. P. Mular, *A Mathematical Model of the Hydrocyclone Classifier Revisited*, 1980.
- [17] J. Smith, «Design of Cyclone Separator Critical Diameter Model Based on Machine Learning and CFD,» Korea, November 2020.
- [18] J. Hill, *DRILLING FLUIDS PROCESSING HANDBOOK*, Oxford OX2 8DP, UK: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, 2005.
- [19] J. Smith, *Hydraulic Power Calculation for Cyclone Feed Pump*, 2014, pp. 1379-1386.
- [20] d. forage, Drilling Program, hassi massaoud, 2023.

- [21] M. M. & M. A. Akbar, «Reliability-centered maintenance: A comprehensive review,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 460-485, 2019.
- [22] H. Rabia, «Oilwell Drilling Engineering,» Principles and Practice. Springer, 2007.
- [23] R. E. Carter, «Solids Control and Drilling Fluids Processing,» Training Manual. Carter E&P Services, 2016.