

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

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



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par : -REGGAI Mezyan
-MALAOUI Abdelhamid

THEME

**Contribution à l'amélioration des performances du
fonctionnement d'une pompe à jet de production du pétrole**

Soutenu publiquement le 12 / 06 / 2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université
Président de jury	Ab. BENBRIK	Pr	UMBB
Examineur	Ab. GEUBLI	Dr	UMBB
Examineur	Kh. SABRI	MCB	UMBB
Encadreur	Kh. SAHNOUNE	MCB	UMBB

Boumerdes 2024

Remerciement

Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je remercie aussi mes parents qui ont toujours été à côté de moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

J'exprime ma profonde reconnaissance à mes enseignants et mon encadreur :
Mr. SAHNOUNE Khaled pour son aide, sa disponibilité, son sérieux ainsi que ses encouragements.

Je Remercie Tous les enseignants du Département du transport et équipement des hydrocarbures.

Je souhaite adresser mon remerciement à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cet ouvrage.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'emmené aux chemins de la réussite, pour tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A mon père MOHAMED que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance.

A mon frère, mon bras droit Khaled

A mes chères sœurs

A mon encadrant Mr. SAHNOUNE Khaled

A mes amis d'INH

A mon binôme MALAOUI Abdelhamid

A tout ce que je connais sans exceptions

A tous mes enseignants sans exceptions

À tout le personnel de la Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie et de l'Université de Boumerdes

Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

MEZYZAN

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'emmené aux chemins de la réussite, pour tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A mon père que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance.

A chers mes frères,

A mon encadrant Mr. SAHNOUNE Khaled

A mes amis d'INH

A mon binôme REGGAI Mezyan

A tout ce que je connais sans exceptions

A tous mes enseignants sans exceptions

À tout le personnel de la Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie et de l'Université de Boumerdes

Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

ABDELHAMID

Résumé

L'objectif principal de notre travail est d'améliorer les performances de pompe à jet en optimisant leur conception et fonctionnement. En utilisant le logiciel ANSYS-CFX, l'étude analyse le comportement hydraulique des systèmes de pompage, évalue les débits, les pressions et les pertes de charge, et visualise les profils de vitesse et les champs de pression à l'intérieur des pompes.

Les résultats montrent que pour une efficacité optimale de 56,42 %, le fluide de puissance doit être pompé à une pression d'injection de 28158 Pa avec un débit de 7,33 kg/s dans une pompe de 20 mm de rayon.

L'étude conclut que l'eau est le fluide de puissance le mieux adapté, notamment pour les puits à haute salinité, et recommande des études supplémentaires pour maximiser l'efficacité et la pression de sortie, ainsi que l'intégration de systèmes de surveillance en temps réel pour améliorer la fiabilité des opérations de pompage.

Les mots clés : Fluide de puissance, buse, Logiciel Ansys, Standing valve, Cavitations.

Abstract

The primary objective of our work is to improve the performance of jet pumps by optimizing their design and use. Using the ANSYS-CFX software, the study analyzes the hydraulic behavior of pumping systems, evaluates flow rates, pressures, and pressure losses, and visualizes velocity profiles and pressure fields inside the pumps. The results show that for optimal efficiency of 56.42%, the power fluid must be pumped at an injection pressure of 28158 Pa with a flow rate of 7.33 kg/s in a pump with a 20 mm radius. The study concludes that water is the most suitable power fluid, especially for high-salinity wells, and recommends further studies to maximize efficiency and output pressure, as well as the integration of real-time monitoring systems to improve the reliability of pumping operations.

The Key words: Power fluid, nozzle, ANSYS software, Standing valve, Cavitations.

المخلص

الهدف الرئيسي لعملانا هو تحسين أداء هذه المضخات من خلال تحسين تصميمها واستخدامها. باستخدام برنامج ANSYS-CFX، تقوم الدراسة بتحليل السلوك الهيدروليكي لأنظمة الضخ، وتقييم معدلات التدفق والضغط وانخفاض الضغط، وتصور ملامح السرعة ومجالات الضغط داخل المضخات. تُظهر النتائج أنه لتحقيق الكفاءة المثلى بنسبة 56.42% يجب ضخ سائل الطاقة عند ضغط حقن 28158 باسكال مع معدل تدفق 7.33 كجم/ثانية في مضخة نصف قطرها 20 مم .

وتخلص الدراسة إلى أن الماء هو سائل الطاقة الأنسب، خاصةً للأبار عالية الملوحة، وتوصي بإجراء المزيد من الدراسات لزيادة الكفاءة وضغط الخرج إلى أقصى حد، بالإضافة إلى دمج أنظمة المراقبة في الوقت الحقيقي لتحسين موثوقية عمليات الضخ.

الكلمات المفتاحية: سائل الطاقة، الفوهة، برنامج Ansys، الصمام الدائم، التجاوب.

SOMMAIRE

Remerciement

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction..... 1

Chapitre1 : Présentation et description de la pompe à jet de production du pétrole

1.1 Introduction.....	3
1.2 Description et la composition de la pompe à jet.....	3
1.3 Installation du système hydraulique de pompe à jet	3
1.3.1 Installation de surface	4
1.3.1.1 Moteur d'entraînement	4
1.3.1.2 Récipient horizontal	4
1.3.1.3 Récipient accumulateur vertical	5
1.3.1.4 Pompe d'alimentation	5
1.3.1.5 Système de nettoyage	6
1.3.2 Installation de fond	9
1.3.2.1 La Buse.....	9
1.3.2.2 La Gorge	9
1.3.2.3 Diffuseur	9
1.4 Type d'installation de la pompe	10
1.4.1 L'installation libre « free style ».....	10
1.4.2 L'ancrage fixe	12
1.4.3 L'installation par Wire line.....	13
1.5 Fluide puissance.....	13
1.5.1 Sélection de fluide de puissance	13
1.5.2 Les additifs chimiques	16
1.6 Comparaison de la pompe à jet avec les autres systèmes d'activation des puits...	16
1.7 Les application de la pompe à jet.....	19
1.8 Les Avantages et Les Inconvénients.....	20
1.9 Etude Bibliographique.....	20
1.10 Conclusion.....	22

Chapitre 2 : Théorie de fonctionnement de la pompe à jet

2.1 Introduction	24
2.2 Principe de fonctionnement	24
2.2.1 L'écoulement dans le Buse (Nozzle).....	24
2.2.2 L'écoulement dans l'entrée de la Gorge.....	24
2.2.3 L'écoulement dans la Gorge (Throat).....	24
2.2.4 L'écoulement dans le Diffuseur (Diffuser).....	25
2.3 Procédure de circulation du fluide d'énergie.....	25
2.4 Les Problèmes agissant sur le fonctionnement de pompe à jet	26
2.4.1 Phénomène de Cavitation	26
2.4.1.1 Cavitation de fluide de production.....	26

2.4.1.2 Cavitation de fluide de puissance.....	26
2.4.2 Erosion	27
2.4.3 Pannes des pompes de surface	27
2.4.4 Formation des sels et des asphaltes.....	27
2.5 L'efficacité de la pompe à jet	27
2.6 Les performance de la pompe à jet.....	29
2.6.1 Les pertes d'énergie dans la pompe à jet.....	29
2.6.2 Angle du diffuseur.....	32
2.6.3 La densité.....	33
2.6.4 Débit et la pression d'injection de fluide puissance.....	33
2.6.5 L'emplacement de la pompe.....	34
2.6.6 Configuration de la pompe à jet	34
2.7 Conclusion.....	35

Chapitre 3 : Méthodologie et préparation de la simulation

3.1 Introduction.....	37
3.2 Présentation de logiciel ANSYS.....	37
3.3 Histoire de Ansys.....	37
3.4 Les application dans logiciel.....	38
3.5 Modélisation de l'écoulement dans une pompe à jet.....	38
3.5.1 Modélisation physique.....	38
3.5.2 Modélisation Numérique.....	39
3.6 Simulation du fonctionnement de la pompe à jet.....	41
3.6.1 Geometrie de la pompe	41
3.6.2 Maillage.....	43
3.6.3 Configuration.....	46
3.6.4 CFX Solution.....	46
3.7 Conclusion	47

Chapitre 4 : Analyse et discussion des résultats

4.1 Introduction	49
4.2 Les champs d'écoulement.....	49
4.2.1 Les champs de pression.....	49
4.2.2 Les champs de vitesse.....	51
4.2.3 Les champs de turbulence.....	53
4.2.4 Optimisation.....	55
4.3 Les performance en fonction de rapport de débit	55
4.3.1 Performance d'efficacité en fonction de rapport de débit.....	56
4.3.2 Performance rapport de pression en fonction de rapport de débit.....	56
4.4 Amélioration influence de la géométrie	57
4.5 Conclusion	58

Conclusions générales	59
------------------------------------	-----------

Recommandation	61
-----------------------------	-----------

Liste des Figures

Noms des figures	Page
Chapitre 01	
Fig (1.1) : les composants de pompe à jet	3
Fig (1.2) : installation de surface	4
Fig (1.3) : pompe triplex	5
Fig (1.4) : manifold de distribution	6
Fig (1.5) : cyclone nettoyeur	7
Fig (1.6) : installation de débitmètre	8
Fig (1.7) : Panneau de contrôle	9
Fig (1.8) : configuration de la pompe	10
Fig (1.9) : installation et récupération de la pompe à jet	11
Fig (1.10) : Les équipements de fond de pompe à jet libre	11
Fig (1.11) : Tête de puit en pompage libre	12
Fig (1.12) : Type de circulation	13
Fig (1.13) : pompe submersible électrique	16
Fig (1.14) : système plunger lift	17
Fig (1.15) : système rod lift	17
Fig (1.16) : progressive Cavity pump	18
Fig (1.17) : système de gaz-lift	18
Chapitre 02	
Fig (2.1) : Fonctionnement de pompe à jet	25
Fig (2.2) : le phénomène de Cavitation dans la gorge	27
Fig (2.3) : présentation des pressions	28
Fig (2.4) : Efficacité avec des coefficients de perte de buse variables K_n	30
Fig (2.5) : Efficacité avec des coefficients de perte de gorge variables K_{th}	31

Fig (2.6) : Efficacité avec des coefficients de perte de diffuseur variables K_{di}	31
Fig (2.7) : Efficacité de la pompe pour les coefficients de perte idéaux et de base	32
Fig (2.8) : Efficacité pour différents rapports gorge-diffuseur-zone, $a=A_{th}/A_{di}$	32
Fig (2.9) : Efficacité pour différents rapports de densité (S)	33
Fig (2.10) : Débit du réservoir pour différentes pressions d'injection	33
Fig (2.11) : Le rapport de volume produit en fonction de variation de rapport de surface R de la pompe	35
Fig (2.12) : Efficacités de la pompe pour le rapport de surface de -Buse-Gorge	35
Chapitre 03	
Fig (3.1) : ANSYS 2020 R2	37
Fig (3.2) : Shéma de la pompe	39
Fig (3.3) : fenêtre de WorkBench	41
Fig (3.4) : désignation de la pompe à jet	42
Fig (3.5) : Revolution de la surface	42
Fig (3.6) : géométrie de la pompe à jet	43
Fig (3.7) : Le Maillage	44
Fig (3.8) : L'efficacité en fonction nombres des nœuds	45
Fig (3.9) : Rapport de pression en fonction nombres des nœuds	45
Fig (3.10) : Les conditions aux limites	46
Fig (3.11): Les itérations	47
Chapitre 04	
Fig (4.1) : Les champs de pression	50
Fig (4.2) : Les champs de vitesse	52
Fig (4.3) : Les champs de turbulence	54
Fig (4.4) : l'efficacité en fonction de rapport de débit	56
Fig (4.5) : Rapport de pression en fonction de rapport de débit	56

Liste des Tableaux

Noms des Tableaux	Page
Chapitre 01	
Tableau (1.1) : Les spécifications de récipients	5
Tableau (1.2) : Les spécifications des unités de surface	8
Tableau (1.3) : L'état des vannes pour la circulation de fluide standard et inverse	12
Tableau (1.4) : La comparaison entre le fluide puissance d'eau et l'huile	15
Tableau (1.5) : La comparaison entre la pompe à jet avec les autres systèmes d'activation	19
Chapitre 02	
Tableau (2.1) : Les paramètres qui définissent le fonctionnement de pompe à jet	29
Tableau (2.2) : Les pertes d'énergie dans la pompe à jet	30
Chapitre 03	
Tableau (3.1) : Les dimensions de la pompe	39
Tableau (3.2) : Différent Nombre des nœuds	44
Chapitre 04	
Tableau (4.1) : Les résultats du différent rapport de débit	50
Tableau (4.2) : Les résultats du différent rapport de débit	55
Tableau (4.3) : Les résultats du différent rapport de débit	57

Nomenclatures

Abréviations	Signification
BHA	Bottom Hole Assembly (Assemblage du trou inférieur)
PRV	Vannes de limitation de pression
MFD	Manifold de distribution
VCU	Unité de Contrôle des Vapeurs
PU	Unité de Processus
WO	WorkOver
WL	Wire line
GOR	Gas Oil Ratio
JP BHA	Jet Pump Bottom Hole Assembly (Ensemble de trou inférieur de pompe à jet)
SSD	Sliding Side Door (Porte latérale coulissante)
SPM	Side Pocket Mandrel (Mandrin de poche latérale)
ESP	Pompe submersible électrique
PLS	Système Plunger Lift (Système de levage à piston)
RLS	Système Rod lift (Système élévateur à tige)
PCP	Progressive Cavity Pump (Pompe à cavité progressive)
GLS	Système Gaz Lift
HLS	Système de Pompage Hydraulique
DST	Drill Steam testing (Tests de vapeur de forage)
SST	Shear Stress Transport (Transport des contraintes de cisaillement)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Dynamique des fluides computationnelle)

Liste des symboles

An :	Surface de buse (mm^2)
At :	Surface de gorge (mm^2)
As :	Surface de passage de fluide secondaire dans la pompe (mm^2)
Qs :	Le débit volumétrique sortant de la pompe à jet (kg/s)
Qm :	Le débit volumétrique d'entraînement (kg/s)
Qt :	Débit total de mélange (kg/s)
Mr :	Le rapport de débit volumétrique
Pd :	Pression de décharge (Pa)
Ps :	Pression de suction (Pa)
Pm :	Pression d'aspiration (Pa)
Pr :	Rapport de pression
R :	Rapport de surface de la pompe
η :	L'efficacité de la pompe (%)
Kn :	Coefficients de perte de buse variables.
Kth :	Coefficients de perte de gorge variables
Kdi :	Coefficients de perte de diffuseur variables
a :	Rapports gorge-diffuseur-zone,
k :	L'énergie cinétique turbulente (m^2/s^2)
ω :	La fréquence de dissipation turbulente (1/s)
ρ :	La masse volumique du fluide (kg/m^3)
u_i :	Les composantes de la vitesse du fluide (m/s)
x_i :	Les coordonnées spatiales
μ et μ_t :	La viscosité dynamique et turbulente du fluide ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
C_ω et σ_{et} et σ_ω :	Constantes de modèle
P_K et P_ω :	La production de turbulence due au gradient de vitesse et à la dissipation ($1/\text{s}^2$)

INTRODUCTION GENERALE

Les hydrocarbures sont une ressource énergétique et une matière première cruciale, mais leur exploitation doit être optimisée. Avec l'épuisement des gisements existants, il devient nécessaire d'utiliser des méthodes de récupération assistée comme activation de puits pour maintenir et augmenter la production. L'activation de puits joue un rôle de plus en plus important, en particulier après l'insuffisance du drainage naturel des puits. Son utilisation est désormais prise en compte dès le développement de nouveaux champs pétroliers importants. Il existe une grande variété de méthodes d'activation de puits et parmi lesquelles : la pompe à tige, la pompe ESP (electrical submersible pump), gaz-lift, le système de levage hydraulique, la pompe PCP (Progressive Cavity Pump), et le système Plunger Lift

L'analyse des problèmes de production est cruciale pour optimiser les performances des puits. Elle consiste à combiner les capacités du réservoir à fournir les fluides au fond du puits avec la capacité du tubing à acheminer ces fluides jusqu'à la surface.

Sur les 2 millions de puits de pétrole en activité dans le monde, plus de la moitié utilisent une forme d'activation de puits. Lorsque la pression du réservoir est insuffisante ou que le débit naturel est jugé trop faible, l'activation de puits permet de compenser ce manque d'énergie pour répondre aux objectifs de production. Le choix du système d'activation dépend des caractéristiques propres à chaque puits (débit, pression, etc.), des contraintes financières et de l'emplacement géographique du puits.

L'objectif principal de notre travail est de mener une étude sur le système hydraulique appelé pompe à jet avec amélioration des performances du fonctionnement de la pompe dans la production du pétrole. A cet égard, on pose les défis suivants :

- Quelles sont les raisons du choix de la pompe à jet pour les puits ?
- Quelles sont les procédures de circulation des fluides ?
- Quelle est l'efficacité de la pompe sur la performance des puits ?
- Comment améliorer les performances de la pompe ?

Afin de répondre à ces questions, l'étude est organisée comme suit :

- 1^{ère} Chapitre : Présentation et description de la pompe à jet de production du pétrole.
- 2^{ème} Chapitre : Théorie de fonctionnement de la pompe à jet.
- 3^{ème} Chapitre : Méthodologie et préparation de la simulation.
- 4^{ème} Chapitre : Analyse et discussion des résultats.

Chapitre 1

Présentation et description de la pompe à jet de production du pétrole

1.1 Introduction

Ces dernières années la pompe à jet commence à apparaître comme la méthode d'activation la plus utilisée dans le monde pétrolier, elle est installée au fond du puits exactement au-dessus du packer. Elle utilise la pression d'un liquide pompé (fluide de puissance) pour soulever l'effluent du gisement jusqu'à la surface. Les pressions du fonctionnement dans les systèmes de pompage en surface varient habituellement de 2 000 à 4 000 Psi. La pompe la plus courante utilisée pour générer cette pression sur la surface est une pompe multiplex à trois pistons gérés par un moteur électrique ou un moteur diesel. Des produits chimiques pour contrôler la corrosion, les paraffines et les émulsions peuvent être injectés au fond du puits avec ce liquide, comme on peut injecter de l'eau douce pour dissoudre les dépôts de sel.

1.2 Description et la composition de la pompe à jet

La Pompe à jet est une pompe hydraulique sans pièces mobiles qui peut être adapté pour répondre dans les différents assemblages de fond de trou **BHA**. Elle existe avec différentes dimensions « 15/16", 2.5", 7" ». Les pompes à jet sont des appareils simples, les pompes à jet sont des membres très importants de la famille des pompes hydrauliques. Les débits de fluide de production et de puissance dans les pompes à jet sont contrôlés par un agencement buse/venturi. Différentes configurations géométriques sont utilisées pour contrôler le jeu entre les orifices de la buse et du tube de mélange, comme spécifié par un ordinateur, afin d'atteindre des taux de production appropriés. Les pompes à jet sont considérées comme une méthode de levage artificiel à volume plus élevé et fonctionnent en faisant passer un jet de fluide à haute pression à travers un système venturi.

Une pompe à jet se compose de quatre parties statiques : la buse, l'entrée de la gorge, la gorge et le diffuseur [1].

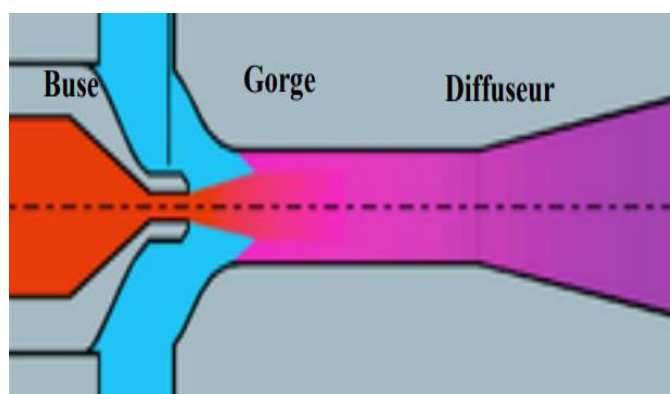


Fig (1.1) : Les composants de pompe à jet

1.3 Installation du système hydraulique de pompe à jet

Le système elle constitué des installations de surface avec des équipements de mesure et de contrôle et l'installation de fond :

1.3.1 Installation de surface

L'installation de surface est un ensemble des équipements de surface unitaire qui fournit une alimentation constante et suffisante de fluide de puissance adaptée. Le but de l'équipement de surface est de faire circuler le fluide de puissance vers le fond pour faire fonctionner la pompe à jet et soulever le fluide du gisement à la surface **figure (1.2)**. Ce système est monté généralement sur le site de puits « well-site ». Les principaux équipements de surface sont :

- Moteur d'entraînement.
- Récipient horizontal.
- Récipient Accumulateur vertical.
- Cyclone.
- Pompe d'alimentation.
- Système de Nettoyage du fluide de puissance.
- Pipe de surface.
- Accessoire.

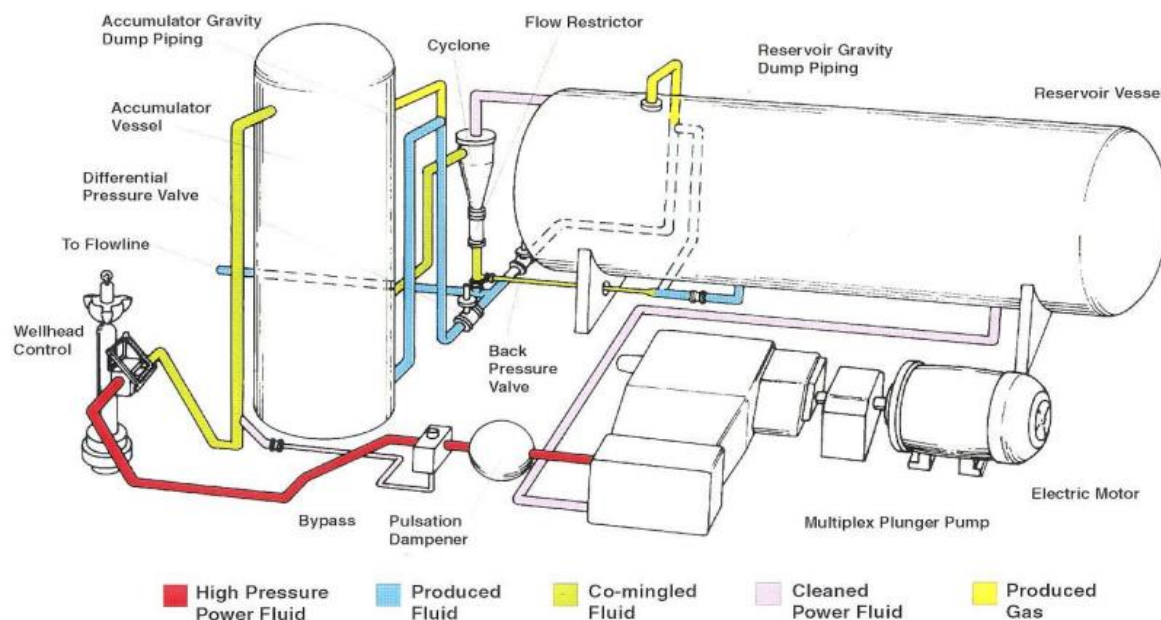


Fig (1.2) : installation de surface [4]

1.3.1.1 Moteur d'entraînement

Sont généralement des moteurs électriques si l'énergie électrique est disponible sur site ou des moteurs diesel. Un moteur d'entraînement électrique est un dispositif qui convertit l'énergie électrique en mouvement mécanique. Ces moteurs sont largement utilisés dans une multitude d'applications, allant des petits moteurs dans les appareils ménagers aux moteurs de plus grande puissance dans les machines industrielles et les véhicules électriques.

1.3.1.2 Récipient horizontal

Le réservoir Vessel est un réservoir rempli du fluide de puissance soit l'eau ou l'huile produite prévenue du fond du puits. Les liquides sont maintenus à un niveau suffisamment élevé pour fournir à la pompe multiplex un fluide propre en quantité suffisante et de manière continue.

1.3.1.3 Récipient accumulateur vertical

L'objectif de Récipient accumulateur est de fournir un fluide sous pression vers le cyclone et d'éviter l'excès du gaz de pénétrer dans le cyclone qui influe sur leur efficacité, alors à partir duquel le gaz est sort vers la ligne de production. **Le tableau (1.1)** ci-après montre les spécifications de réservoir horizontal et l'accumulateur [2].

- **Les spécifications de Récipient :** Les deux récipients sont revêtus intérieurement d'époxy phénolique pour la protection contre la corrosion. Chacun a une forme elliptique avec indicateur de niveau et vannes de limitation de pression **PRV**, avec des manomètres.

	Récipient horizontal	Récipient accumulateur
Pression de service standard	175 Psi	225 Psi
Pression de service optionnel	240 Psi	300 Psi
Capacité de fluide	41 bbls	4-1/3 bbls

Tableau (1.1) : Les spécifications de récipients [2]

1.3.1.4 Pompe d'alimentation : Sont des pompes volumétrique triplex à trois piston ou multiplex à cinq pistons, elles permettent de fournir une haute pression à un fluide de puissance pour le fonctionnement du système. Les pompes d'alimentation peuvent fonctionner de différentes manières selon l'application spécifique. Elles peuvent être électriques, mécaniques ou hydrauliques, et elles peuvent varier en taille, en débit et en pression en fonction des besoins du système auquel elles sont connectées. Les pompes multiplexent et triplex offrent **350 HP** et **200 HP** respectivement **figure (1.3)**. [3]

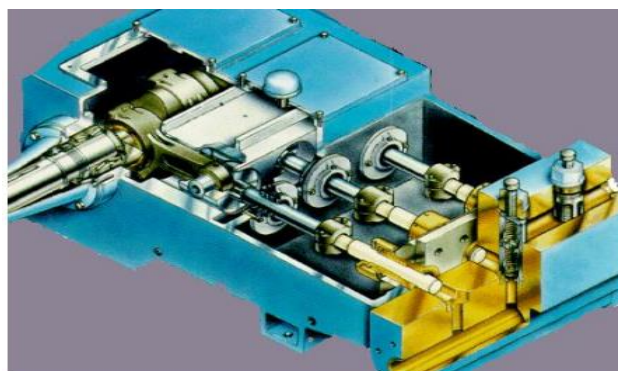


Fig (1.3) : pompe triplex [3]

La pompe peut débiter soit sur un seul puits ou sur un manifold de distribution **MFD figure (1.4)**, (un manifold est un dispositif utilisé pour distribuer un fluide, que ce soit un liquide ou un gaz, à plusieurs points de destination. Il peut être utilisé dans divers systèmes, tels que les systèmes de plomberie, de chauffage, de climatisation, les systèmes hydrauliques et pneumatiques), pour alimenter plusieurs puits. Dans ce cas, chaque départ en aval du manifold la pression et le débit sont réglés par une duse. [3]

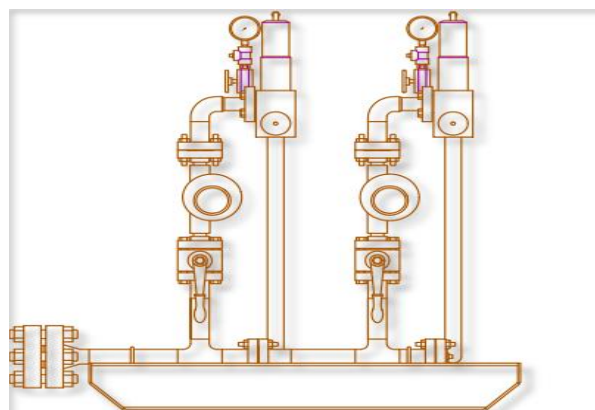


Fig (1.4) : manifold de distribution [3]

1.3.1.5 Système de nettoyage de fluide de puissance

Le système de nettoyage de fluide de puissance est toujours constitué des cyclones nettoyeurs « cyclone cleaning » avec un seul récipient ou un double récipient hydraulique. Ces équipements sont utilisés pour fournir un fluide de puissance propre.

Dans le cas d'un seul récipient hydraulique, le système se compose d'un seul récipient horizontal « réservoir Vessel », tandis que le double récipient hydraulique se compose d'un récipient horizontal et un récipient accumulateur vertical « accumulateur Vessel » qui sont montés sur un même patin. [4]

1.3.1.6 Cyclones nettoyeurs

Le but de cyclone est d'enlever les solides et les petites particules pour fournir à la pompe de surface et à la pompe de fond un fluide de puissance propre. La séparation des solides est liée à la chute de pression entre l'entrée et la sortie du cyclone qui est d'environ **40Psi**. La dimension et le nombre du cyclone nécessaire est déterminée par les dimensions des particules à éliminer et le volume des fluides produits **figure (1.5)**. [5]

Voici comment fonctionnent généralement les cyclones nettoyeurs :

- **Entrée du flux :** Le flux contaminé entre dans le cyclone à travers une entrée tangentielle, ce qui crée une rotation ou une spirale dans le flux.
- **Force centrifuge :** En raison de cette rotation, les particules solides ou liquides présentes dans le flux d'air sont soumises à une force centrifuge.

- Les particules plus lourdes ont tendance à migrer vers la paroi extérieure du cyclone, tandis que flux plus propre tend à s'écouler vers le centre.
- **Séparation des particules** : Les particules plus lourdes se déplacent le long de la paroi du cyclone vers le bas, formant ce qu'on appelle le "gâteau" de particules, qui est collecté dans un réceptacle au fond du cyclone. Pendant ce temps, plus léger, s'élève vers le haut à travers le centre du cyclone.
- **Sortie du flux propre** : L'eau purifiée est évacuée du cyclone par une sortie située au sommet, tandis que les particules collectées sont retirées périodiquement du réceptacle de collecte.

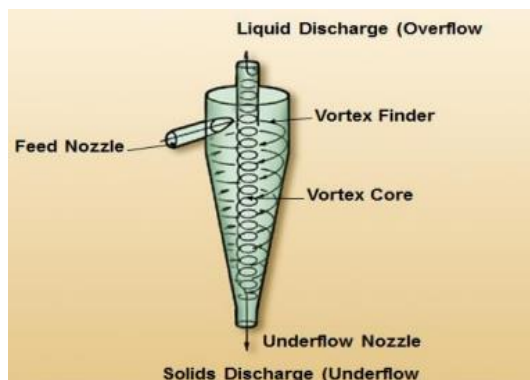


Fig (1.5) : cyclone nettoyeur [5]

1.3.1.7 Pipes de surface

En plus de la présence des unités de surface, il est essentiel qu'il y ait un lien entre eux et la tête de puits pour assurer la circulation de fluide dans le système hydraulique en circuit fermé. Les pipes viennent pour réaliser cet objectif. Il existe deux lignes :

- **Ligne d'injection** : Cette ligne est alimentée par le fluide de puissance, il sort du récipient horizontal de VCU à la pompe d'alimentation de PU qui pousse le fluide dans le puits, soit à travers le tubing ou espace annulaire.
- **Ligne de retour** : Cette ligne sort de tubing ou espace annulaire du puits vers l'accumulateur de VCU ensuite à la ligne d'écoulement pour transporter le gaz ou huile.

Type des pipes de surface : 2" 1502 (d'une capacité 10000 Psi). [4]

Remarque : Les équipements d'installation de surface peuvent être distribués sur deux modèles d'unité :

- **Mono-patins « Single-skid »** : tous les équipements de surface sont montés à un seul patin. Ce modèle d'installation est disponible avec les moteurs électriques.
- **Deux- patins « Two-Skid »** : l'installation de surface est devisée en deux unités séparée (tableau (1.2)) qui sont :

- Unité d'alimentation « Power Unit PU » composé de la machine motrice et la pompe d'alimentation.
- Unité de nettoyage « Vessel Cleaning Unit VCU » est le système de nettoyage de fluide de puissance. Ce type d'installation est équipé avec un moteur diesel. [2]

	PU	VCU
Dimension de patin	20"L×7"W ×8,5"H	22"L×8"W×10"H
Le poids de patin	18.700 lbs ≈8482.178kg	19.600 lbs≈8890,488kg

Tableau (1.2) : Les spécifications des unités de surface [2]

1.3.1.8 Equipement de mesure et du contrôle

Les équipements de mesure sont composés de :

1.3.1.8.1 Manomètre et Thermomètre

Sont des instruments de mesure utilisent pour mesurer la pression en **Psi** et la température en °F des fluides de récipient horizontal et de l'accumulateur.

1.3.1.8.2 Duse manuelle

De réglage de débit du fluide d'énergie. Elle est généralement équipée d'un mécanisme, souvent une vanne ou un levier, qui peut être actionné par l'utilisateur pour ajuster l'ouverture de la duse, contrôlant ainsi le débit du fluide qui passe à travers elle.

1.3.1.8.3 Débitmètre

Il est installé après l'amortisseur de pulsation dans la ligne d'injection avec une longueur de la pipe de diamètre 10" sans restriction en amont et une longueur de la pipe de diamètre 5" en aval. Les deux sections de pipe doivent avoir le même diamètre nominal que le raccordement des d'extrémités débitmètres. Au-dessus de débitmètre est installé un compteur pour lire les mesures **figure (1.6)**. [4]

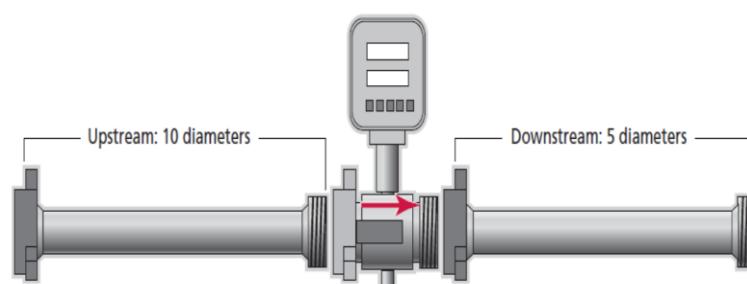


Fig (1.6) : installation de débitmètre

1.3.1.9 Accessoires

1.3.1.9.1 Amortisseur de pulsations

Il est installé en aval de la pompe multiplex. Ce dernier produit des flux pulsés qui conduisent à des pics de pression pour offrir un écoulement de fluide stable à la ligne d'injection, la pulsation absorbe les chocs et minimise les pulsations, les vibrations de conduite et les fluctuations de pression.

1.3.1.9.2 Vanne de limitation de pression « Pressure Relief Valve PRV »

Les vannes de limitation de pression PRV sont des dispositifs de sécurité critiques pour de nombreuses applications industrielles, assurant la protection des équipements, la sécurité des installations et la prévention des accidents liés à des pressions excessives. Ainsi qu'est une vanne automatique qu'elle permet d'évacuer les fluides surcomprimés vers bournier lorsque la pression atteint la valeur limite pour laquelle elle a été tarée. Une fois la pression retombée, la vanne se referme. Elle est installée pour la sécurité du récipient horizontal, de l'accumulateur et de l'amortisseur de pulsation.

1.3.1.9.3 Vanne by-pass

Une vanne by-pass est un composant essentiel dans de nombreux systèmes où il est nécessaire de réguler le débit du fluide en créant une dérivation temporaire autour d'un composant ou d'un ensemble de composants dans le système. Une vanne de déviation de fluide de la pompe multiplexe soit à l'équipement de fond ou retour dans le VCU.

1.3.1.9.4 Panneau de contrôle

Le panneau de contrôle est un dispositif qui permet de surveiller et de contrôler différents aspects ou composants d'un système, est de norme « Murphy » avec des indicateurs et des contrôles de limites pour la sécurité, le démarrage, le fonctionnement et l'arrêt. Les contrôles de limite doivent être correctement réglés, ajustés et entretenus de façon à assurer une protection adéquate du personnel, du matériel et les biens. Il peut être utilisé dans une grande variété d'applications, allant des installations industrielles aux équipements domestiques. Le panneau de commande est monté sur PU, **la figure (1.7).**



Fig (1.7) : Panneau de contrôle

1.3.2 Installation de fond

1.3.2.1 Buse (Nozzle)

La buse est un alésage composé de trois sections respectivement : section droite, section conique et se termine par une section droite de petite longueur d'une sortie circulaire.

Il est considéré comme étant le moteur d'une pompe à jet qui permet de convertir la haute pression d'un fluide d'énergie en basse pression et de lui augmenter sa vitesse, ce qui va engendrer la création d'une dépression.

1.3.2.2 Gorge (Throat)

La gorge est un alésage cylindrique droit avec un rayon lissé à l'entrée. Généralement, le diamètre de gorge est toujours plus grand que le diamètre de sortie de buse. L'échange d'énergie se produit dans la Throat où les deux fluides se mélangent (fluide d'énergie + fluide du gisement). Dans lequel le liquide d'énergie passe à grande vitesse par le Nozzle, et le fluide du gisement à faible vitesse se combinent dans le Throat pour atteindre une vitesse moyenne.

1.3.2.3 Diffuseur « Diffuser »

Le Diffuser est un tube conique qui se prolonge à partir de gorge. Il est considéré comme une partie fixée dans la pompe. Il convertit l'énergie cinétique (vitesse) du fluide combiné en pression assez élevé afin qu'il puisse atteindre la surface et au-delà des installations deséparation. **Figure (1.8).**

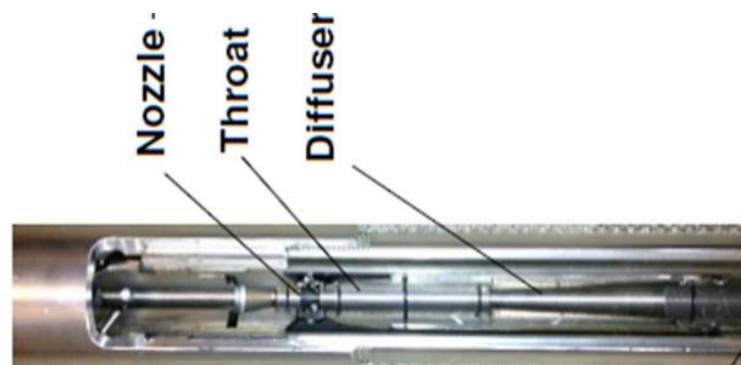


Fig (1.8) : configuration de la pompe

1.4 Type d'installation de la pompe

1.4.1 L'installation libre « free style »

Elle est la plus courante, la plus simple et la plus économique car elle ne nécessite pas des opérations d'intervention soit pour l'installation, la récupération et la maintenance. Elle est installée au fond du tubing librement par la pression du fluide de puissance et est récupérée en surface lorsque la direction de fluide est inversée **figure (1.9).** [3]

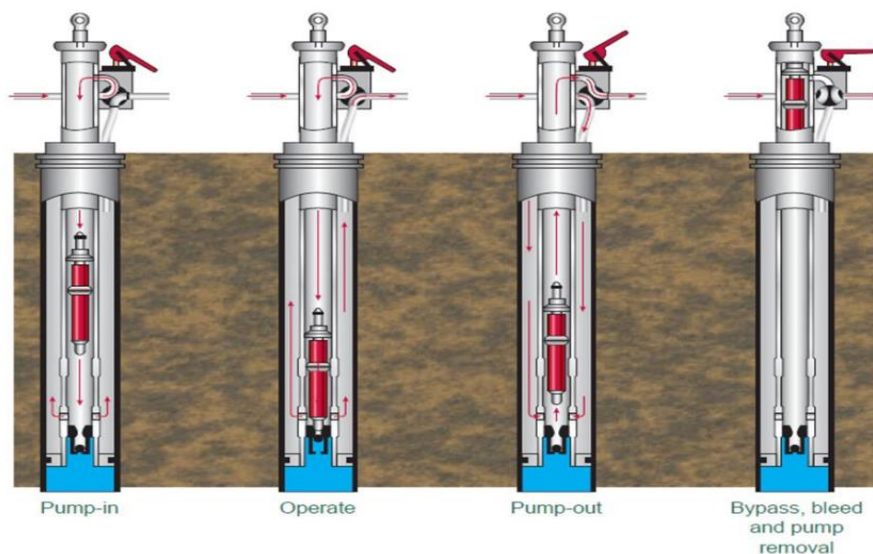


Fig (1.9) : installation et récupération de la pompe à jet [3]

1.4.1.1 les équipements de fond de complétion free style :

1.4.1.1.1 Ensemble de fond de pompe à jet « JP BHA »

Est un alésage qui contient des orifices qui assurent une communication entre le tubing et l'espace annulaire. Elle est installée au-dessus de la BHA du puits. Pour le fonctionnement de système hydraulique le pompe à jet se pose à l'intérieur de JP BHA grâce à ses seal sleeve d'étanchéité interne **figure (1.8)**. [3]

1.4.1.1.2 Standing valve

Standing valve se pose à l'extrémité inférieure de JP BHA et la pompe se trouve au sommet de celle-ci. L'objectif de standing valve est d'empêcher le fluide de puissance de se déplacer sur le fond de la colonne de production lors de l'installation ou de la récupération de la pompe. Elle est ouverte par l'écoulement des fluides de formation à l'aspiration. Lorsque la pompe est arrêtée, la vanne se ferme. Il est conçu pour être récupéré avec wire line en cas de nécessité **figure (1.10)**.



Fig (1.10) : Les équipements de fond de pompe à jet libre

1.4.1.1.3 Blanking Tool

C'est un outil de suppression, il est posé dans le BHA pour assurer l'étanchéité quand nous allons tester une nouvelle complétion. Il existe deux types de Blanking Tool : l'un est localisé à l'intérieur de BHA pour bloquer le passage de fluide et tester la pression de tubing et l'autre est installé de telle façon à isoler la communication entre le tubing et l'espace annulaire de BHA.

Remarque : Pour faire fonctionner les pompes libres, la tête de puits est équipée d'un dispositif spécial basé sur un block à quatre voies permettant en plus du pompage normal de fluide de puissance, les circulations directes ou inverses nécessaires à la descente ou à la remontée des pompes. Elle est équipée dans sa partie supérieure d'une tête de repêchage « catcher » **figure (1.11)**, et l'état des vannes dans le **tableau (1.3)**.

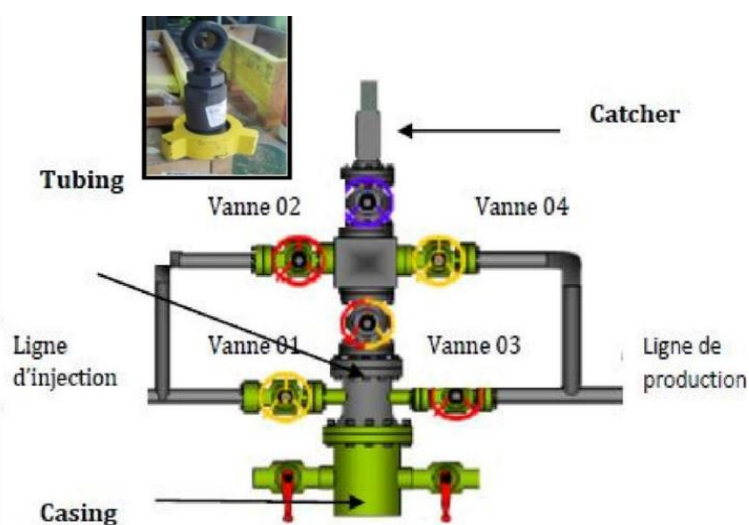


Fig (1.11) : Tête de puit en pompage libre

	Vanne 1	Vanne 2	Vanne 3	Vanne 4
Circulation standard	Ferme	Ouvert	Ouvert	Ferme
Circulation inverse	Ouvert	Ferme	Ouvert	Ferme

Tableau (1.3) : L'état des vannes pour la circulation de fluide standard et inverse

1.4.2 L'ancrage fixe

Le pompe à jet est fixée soit au fond de tubing ou d'un concentrique, est descendue pour être posée au bas du puits. Cette installation peut se faire en deux méthodes :

- Avec l'intervention d'un WO (workOver) ou un Snubbing lourd, remonter la garniture de tubing, fixer la pompe à son extrémité et redescendre l'ensemble,

- Avec l'intervention d'une unité appelée Coiled Tubing pour la descente d'un concentrique qui est ancré à son extrémité par un Packer, la size de pompe à jet utilisé dans ce cas est de 1^{1/4}".

La récupération de la pompe à jet s'effectue en remontant la colonne de tubing ou du concentrique.

1.4.3 L'installation par Wire line

Ce type d'installation s'effectue lorsque on a une communication entre le tubing et le casing, en générale dans Sliding Side Door « **SSD** », ou aux niveaux des Side Pocket Mandrel **SPM**. **SSD** et **SPM** sont considérées comme des dispositifs de communication de tubing avec l'espace annulaire pour enlever le mélange de fluide de pompe à jet à la surface.

La pompe à jet est ancrée dans le tubing, entre deux packers étanches supérieur et inférieur. La récupération en surface s'effectue par Wire line. Ce type d'installation présente un avantage qui consiste à ne pas remonter la garniture du tubing, donc sans l'intervention d'un WO.

Cette installation s'adapte aux deux modes de circulation du fluide d'énergie (standard et inverse) **figure (1.12)**.

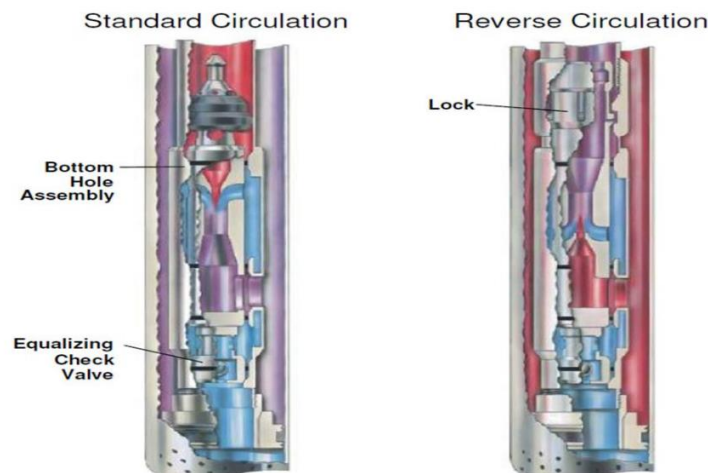


Fig (1.12) : Type de circulation

1.5 fluide de puissance

Les liquides prédominants utilisés comme un fluide de puissance sont l'eau et divers types de pétrole brut.

1.5.1 Sélection de fluide de puissance

Pour sélectionner le fluide de puissance il faut tenir compte de tous les facteurs qui influent sur la performance et la fonction de tout système hydraulique. Parmi ces facteurs :

1.5.1.1 Corrosion

La corrosion est un processus naturel qui détériore les matériaux, généralement les métaux, en raison de réactions chimiques avec l'environnement. C'est une préoccupation majeure dans diverses industries, y compris la fabrication, la construction et les transports.

Et dans la pompe à jet Lorsque l'eau est utilisée comme un fluide de puissance, la corrosion devient un problème. Pour éviter la corrosion, les inhibiteurs de corrosion sont ajoutés au fluide de puissance.

1.5.1.2 La lubrification

Généralement l'huile a un pouvoir lubrifiant naturel que l'eau ce qui le rend comme un meilleur fluide de puissance. Pour améliorer l'efficacité de l'eau, les agents tensio-actifs sont injectés dans l'eau pour offrir une lubrification à la pompe.

Remarque : Le coût d'agent tensio-actif et l'inhibiteur de corrosion est une considération pour évaluer le choix des fluides de puissance.

1.5.1.3 Viscosité

Puisque l'eau a une viscosité plus faible que le pétrole, les pertes de charge par friction dans le système sera plus faible par rapport à l'huile. Dans les pompes hydrauliques à déplacement positif, la viscosité élevée de l'huile améliore le rendement volumétrique d'extrémité du moteur.

1.5.1.4 Transfert de chaleur

Dans le cas de production d'une huile visqueuse ou une huile à teneur élevée en cire, il est souhaitable de chauffer le fluide d'alimentation pour aider à la récupération de l'huile. La chaleur spécifique plus élevée de l'eau permet un meilleur transfert de chaleur dans cette situation.

1.5.1.5 Densité ou gradient de pression

Un fluide de puissance de haute pression hydrostatique est un fluide de puissance à densité élevée ce qui réduit la pression de fonctionnement de surface requise. En outre la pression de refoulement développée par pompe à jet augmente aussi. Le choix de l'huile ou de l'eau en tant que fluide de puissance dépend de la sensibilité de la pression de fonctionnement de la surface.

Remarque : pour un environnement propre et un système plus sécurisé, L'utilisation de l'eau comme fluide de puissance est le plus souhaitable. Il existe d'autres considérations dans le choix de l'eau ou de l'huile comme fluide de puissance **tableau (1.4) :**

- Les caractéristiques de réservoir (scale, paraffine).
- L'emplacement du puits (offshore, onshore)
- La compatibilité des fluides (émulsions)
- Fluide de réservoir (water cut)

Comparaison entre les fluides de puissance (eau, huile)		
	Eau	Huile
Sécurité	Bien	Mauvaise
Environnement	Bien	Mauvaise
Corrosion	Mauvaise	Bien
Viscosité	Bien	Mauvaise
Lubrification	Mauvaise	Bien
Gradient	Bien	Mauvaise
Transfert de chaleur	Bien	Mauvaise
Scale	Mauvaise	Bien

Tableau (1.4) : La comparaison entre le fluide puissance d'eau et l'huile

- **Fluide de puissance "eau" :** Au cours des dernières années les systèmes de pompage hydrauliques ont changé de l'utilisation d'huile comme un fluide de puissance par l'eau. Puisque cette dernière à une viscosité plus faible qui signifie des pertes de friction faible dans le système par rapport à l'huile. Dans le cas de production d'une huile visqueuse ou une huile à teneur élevée en cire, il est souhaitable de chauffer le fluide d'alimentation pour aider à la récupération de l'huile. La chaleur spécifique plus élevée de l'eau permet un meilleur transfert de chaleur dans cette situation [3].

Lorsque l'eau est utilisée comme un fluide de puissance, la corrosion devient un problème. Pour éviter ce problème, les inhibiteurs de corrosion sont ajoutés au fluide

- **Fluide de puissance "huile" :** La durée de vie de l'équipement est généralement plus longue en utilisant l'huile comme fluide d'énergie. L'huile à un pouvoir lubrifiant naturel par-rapport à l'eau ce qui le rend comme un meilleur fluide de puissance. Par contre l'eau pour améliorer son efficacité, les agents tensio-actifs est injecté pour offrir une lubrification à la pompe [3].

L'inconvénient important pour l'huile de puissance est les risques d'incendie, qui ne sont pas présentés avec l'utilisation de l'eau, et les dommages causés par la pollution en cas de rupture des lignes.

1.5.2 Les additifs chimiques

Pour améliorer l'efficacité de la fluide puissance les additifs chimiques sont ajoutés. Parmi ces additifs nous citons :

- Inhibiteur de corrosion
- Désémulsifions
- Agent-tension actif
- Agents de dissolution

1.6 Comparaison de la pompe à jet avec les autres systèmes d'activation des puits

1.6.1 Descriptions des systèmes d'activation des puits

- Procédé assisté par gaz : Gaz lift, plunger lift.
- Procédé assisté par les pompes : Les pompes sont également divisées en deux types :
 - Les pompes dynamiques : pompe à jet, electrical submersible pump.
 - Les pompes volumétriques : Plunger lift, rod lift, progressive cavity pump.

1.6.1.1 Pompe submersible électrique « ESP »

Les systèmes d'ESP incluent principalement un moteur électrique et une pompe centrifuge à plusieurs étages qui fonctionnent au fond du tubing. La puissance atteint le moteur par l'intermédiaire d'un câble électrique bagué au tubing depuis la surface (transformateur) vers la partie supérieure du moteur. L'unité de fond est débarquée au-dessus des perforations de puits. Lorsque le fluide de formation entre dans le puits, il doit circuler autour du moteur pour faciliter son refroidissement. Le fluide pénètre ensuite dans la pompe d'admission et est amené dans la pompe centrifuge, **figure (1.13)**. [11]



Fig (1.13) : Pompe submersible électrique

1.6.1.2 Système Plunger Lift « PLS »

Généralement, les systèmes plunger lift sont utilisés pour les puits de gaz qui n'ont pas une capacité à maintenir la vitesse du gaz nécessaire pour soulever la charge de liquide. Le système se compose d'un piston libre et d'un bumper spring ou le piston se repose au fond de puits ; le piston agit comme une interface mécanique entre la formation de gaz et les liquides produits

dans le but d'accumuler le gaz dans l'espace annulaire et les liquides dans le tubing (séparation). Une fois qu'un volume suffisant de gaz et la pression est obtenu, le plongeur pousse la charge de liquide dans le tubing vers la surface et le piston est capturée dans lubricateur qui est installé en tête de puits. Quand le flux de gaz est stabilisé, le plongeur se libère à nouveau afin que le cycle soit répété, **figure (1.14)**. [12]

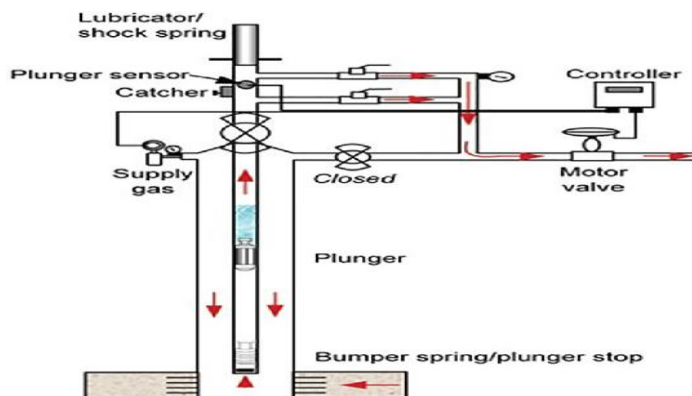


Fig (1.14) : Système Plunger Lift

1.6.1.3 Système Rod lift « RLS »

Les systèmes Rod Lift sont les plus simples, plus polyvalents et les plus répandus actuellement. La pompe de fond consiste en un corps de pompe suspendu au tubing à sa base se trouve un clapet à bille (clapet mobile) et un clapet de pied (clapet fixe) tandis qu'un deuxième clapet à bille se trouve à l'intérieur du piston, le piston est actionné de haut en bas et réciproquement dans le corps de pompe par un train de tiges de pompage rattaché en surface après avoir traversé le presse-étoupe de la tête de puits grâce à une tige polie à l'unité de pompage en surface. L'unité de pompage fournit grâce à un moteur et un système bielle-manivelle un mouvement de va-et-vient au train de tiges de pompage et donc à la pompe. Cet effet permet de remonter les effluents à la surface, **figure (1.15)**. [10]

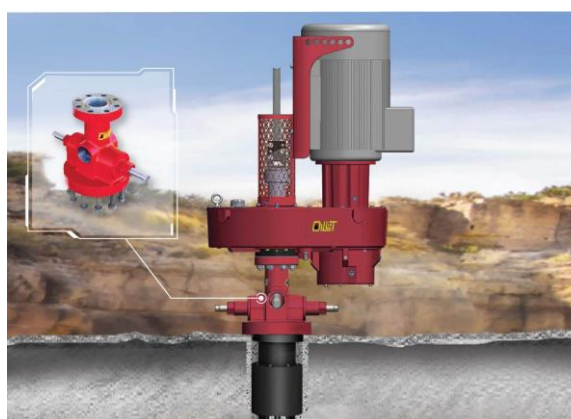


Fig (1.15) : Système Rod lift

1.6.1.4 Progressive Cavity Pump « PCP »

Les PCP sont des pompes volumétriques qui stabilisent au fond de puits grâce à un couple d'Anchor. Elles sont composées de deux éléments principaux : un rotor unique hélicoïdal qui est relié à un train de tiges, et un housing stationnaire en élastomère moulé appelé stator bordé et fixé à la colonne de production. Lorsque le rotor tourne de manière excentrique dans le stator, L'interaction complexe de ces deux parties crée une série de cavités à l'intérieur de la pompe ; Ceci amène le fluide piégé dans ces cavités à progresser le long de la longueur de la pompe, **figure (1.16).**[11]

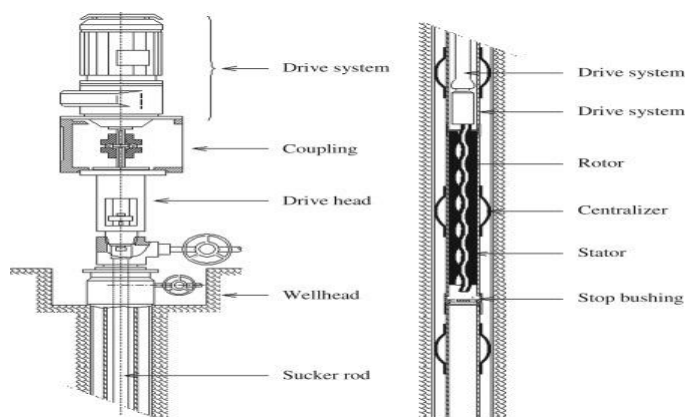


Fig (1.16) : Progressive Cavity Pump

1.6.1.5 Système Gaz Lift « GLS »

La technique de Gaz lift consiste à injecter un gaz naturel à haute pression généralement dans le tubing ou l'espace annulaire à travers une ou plusieurs vannes de subsurface fixés dans le long de la colonne ancrée dans des mandrins spéciaux dont les cotes ont été calculées au préalable. Le principe de ces vannes est celui d'une vanne régulatrice de pression destinée à s'ouvrir dès que la pression du gaz dépasse une valeur pour laquelle la vanne a été pré réglée. La méthode a un but d'alléger la colonne hydrostatique (gaz lift continu) ou chasser vers le haut le volume de liquide qu'elle contient (gaz lift intermittent) à partir du point d'injection jusqu'à la surface, **figure (1.17).**[11]

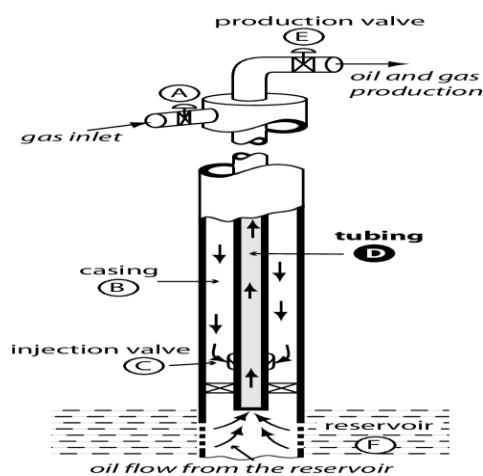


Fig (1.16) : Système Gaz Lift

1.6.1.6 Système de Pompage Hydraulique « HLS »

Les pompes HLS est basé sur le pompage d'un fluide de puissance de surface pour faire fonctionner une pompe de fond de puits. Il existe deux types des pompes de fond :

- **Pompe à piston** : dont le principe est semblable à Rod Lift, sauf que le piston de la pompe est entraîné par une puissance hydraulique. [11]
- **Pompe à jet** : c'est la pompe objet de notre étude.

La comparaison entre les différents systèmes présente dans **le tableau (1.5)** suivant :

paramètres	Gas Lift	Plunger	Rod Lift	PCP	ESP	Hyd Jet	Hyd Piston
Profondeur Max	18,000 ft 5,486 m	19,000 ft 5,791 m	16,000 ft 4,878 m	8,600 ft 2,621 m	15,000 ft 4,572 m	20,000 ft 6,100 m	17,000 ft 5,182 m
Volume Max	75,000 bpd 12,000 M ³ /D	200 bpd 32 M ³ /D	6,000 bpd 950 M ³ /D	5,000 bpd 790 M ³ /D	60,000 bpd 9,500 M ³ /D	35,000 5,550 M ³ /D	8,000 bpd 1,270 M ³ /D
Temp Max	450°F-232°C	550°F - 288°C	550°F - 288°C	250°F -121°C	482°F -250°C	550°F - 288°C	550°F - 288°C
Corrosion Handling	Bien à excellente	Excellente	bien à Excellente	Fair	bien	Excellente	Bien à Excellente
Gas Handling	Excellente	Excellente	Fair à bien	bien	Fair	bien à Excellente	Fair à bien
Solids Handling	Bien	Fair	Fair À Bien	Excellente	Sand<40ppm	Bien À Excellente	Fair À Bien
Gravité de fluide°API	>15°	>15°	>8°	8°<API<40°	Viscosity <400 cp	≥6°	>8°
Servicing	Wireline ou workover rig	Wellhead catcher ou wireline	Workover rig	workover rig	workover rig	Hydraulique ou wireline	Hydraulique ou wireline
Source d'énergie	Compresseur	Énergie naturelle de puits	Gaz ou électrique	Gaz ou électrique	Electric	Gaz, Diesel électrique	Gaz, Diesel ou électrique
Offshore	Excellente	N/A	Limité	Limité	Excellente	Excellente	bien
Éfficacité de système	10% to 30%	N/A	45% to 60%	50% to 75%	35% to 60%	10% to 30%	45% to 55%

Tableau (1.5) : La comparaison entre la pompe à jet avec les autres systèmes d'activation [3]

1.7 Les applications de la pompe à jet

- Production permanente
- Evaluation de productivité de puits
- Nettoyage de puits
- Drill Steam testing "DST".

1.8 Les Avantages et Les Inconvénients

1.8.1 Les Avantage

- Production de plusieurs puits à partir d'une seule installation de surface.
- Les pompes à jet n'ont pas de pièces mobiles et donc aucune usure mécanique.
- Ne nécessite pas une intervention WO (work over) pour la récupération de la pompe à jet par rapport aux autres méthodes d'activation.
- Moins de maintenance et d'entretien.
- De capacité à haut volume.
- Longue durée de vie (en moyenne 4 ans).
- Faibles coûts d'installation et de reconditionnement.
- Installation libre pour une insertion et une récupération facile en fond de trou.
- Haute tolérance aux gaz et aux solides dans le fluide de production.

1.8.3 Les Inconvénients

- Le principal inconvénient est son rendement faible de 25 à 30%.
- Le phénomène de cavitation qui peut être créée après la dépression au niveau de Nozzle.
- Le sable ou d'autres particules dans le fluide d'alimentation doivent être enlevés car ils peuvent endommager, la buse.
- Nécessite un personnel qualifié pour la mise en service.
- L'installation de surface nécessite une capacité de fonctionnement élevée pour permettre de l'injection de fluide à grande pression.
- Débit de production est fonction de la pression de fond
- Le système de pompage hydraulique nécessite une pression d'injection en surface élevée (pouvant atteindre les 5000 psi), pour injecter du fluide d'alimentation à travers le tube d'injection.
- Le problème d'érosion de pompe de fond à cause de la vitesse.

1.9 Etude Bibliographique

Les pompes à jet, également appelées éjecteurs, sont des dispositifs hydrauliques largement utilisés dans diverses applications industrielles en raison de leur simplicité de conception, de l'absence de pièces mobiles et de leur capacité à manipuler des mélanges de fluides. Cependant, leur efficacité est souvent inférieure à celle des pompes conventionnelles à pièces mobiles, ce qui a motivé de nombreuses recherches pour optimiser leurs performances. Plusieurs études ont été menées pour comprendre et améliorer l'efficacité des pompes à jet, en se concentrant sur différents paramètres géométriques et opérationnels. Voici une synthèse des principales études dans ce domaine.

1.9.1 Étude par Yapici et Aldas

R. Yapici et K. Aldas ont mené des simulations numériques pour analyser l'impact de divers paramètres sur les performances des pompes à jet, comme le rapport de surface, la position de la buse et la longueur de la chambre de mélange. Ils ont optimisé six différentes pompes en

prenant l'efficacité énergétique comme critère principal. Leur procédure d'optimisation utilisait le modèle de transition SST (Shear Stress Transport) pour sa précision supérieure parmi quatre modèles de turbulence avancés.

Les résultats numériques ont été comparés aux données expérimentales, révélant une différence maximale de 10 % dans l'efficacité de la pompe dans des conditions optimales. L'efficacité numérique maximale obtenue était de 34,6 % pour un rapport de surface de 4,61 et un rapport de pression de 0,277.

1.9.2 Étude par Sheha, Nasr, Hosien et Wahba

A. Sheha, M. Nasr, M. Hosien et E. M. Wahba ont étudié l'impact des paramètres opérationnels et géométriques sur l'efficacité des pompes à jet à la fois expérimentalement et numériquement. Ils ont utilisé le solveur CFD ANSYS FLUENT R 15.0 et le modèle de turbulence SST pour leurs simulations. Les résultats numériques ont montré que l'efficacité augmente avec la réduction des angles du diffuseur et de la longueur de la chambre de mélange jusqu'à un certain point, après quoi elle diminue. De même, l'efficacité augmente avec l'augmentation du rapport de surface de la pompe jusqu'à une certaine valeur avant de diminuer.

L'efficacité numérique maximale trouvée était de 37,8 % pour un rapport de surface de pompe de 0,271. La longueur optimale de la chambre de mélange était de 5,48 et l'angle optimal du diffuseur était de 5°. Les tests expérimentaux ont confirmé la validité des résultats numériques.

1.9.3 Étude par Laskowski et Momeni

E. Laskowski et H. Momeni ont analysé les phénomènes d'écoulement dans les pompes à jet et l'impact de différentes conceptions de buses motrices sur la pression de tête en utilisant l'outil CFD Ansys Code CFX. Ils ont étudié trois modèles de tuyères motrices : un modèle standard, un avec des buses supplémentaires à trous circonférentiels, et un avec un ensemble de trous circonférentiels sur la buse motrice.

Les simulations ont montré que la modification de la conception de la buse pouvait augmenter la hauteur de pompage de près de 45 %, soulignant l'importance de l'optimisation des composants pour améliorer l'efficacité des pompes à jet.

1.9.4 Étude comparative par Aldas et Yapici

K. Aldas et R. Yapici ont comparé les performances des pompes à jet d'eau avec celles des pompes à pièces mobiles, soulignant que les premières ont un rendement inférieur et que la rugosité de surface est un problème majeur. Ils ont étudié l'influence de l'augmentation, de la réduction d'échelle et de la modification de la rugosité absolue et relative sur l'efficacité énergétique des pompes en utilisant un solveur CFD commercial. Ils ont déterminé que le modèle de transition SST offrait les prédictions les plus précises par rapport aux données réelles. En utilisant ce modèle, ils ont examiné les effets du tartre et de la rugosité sur les performances des pompes sur une échelle allant de 1/4 à 20/1. Les résultats ont montré que l'efficacité augmentait jusqu'à une certaine échelle à rugosité absolue constante, mais restait indépendante de la taille d'échelle à rugosité relative constante. À un rapport de surface de 5,92,

l'efficacité relative chutait à 60 % pour une rugosité relative de 0,05. Ces résultats mettent en évidence le rôle crucial de la rugosité de surface dans l'efficacité des pompes à jet et l'importance de son optimisation.

Les recherches sur les pompes à jet ont exploré divers paramètres pour améliorer leur efficacité. **Yapici et Aldas** ont utilisé des simulations numériques pour optimiser six pompes, atteignant une efficacité maximale de 34,6 % avec un modèle de transition SST, validé expérimentalement avec une différence maximale de 10 %. **Sheha et Wahba**. Ont combiné des études expérimentales et numériques avec ANSYS FLUENT R 15.0, trouvant une efficacité maximale de 37,8 % en optimisant les angles du diffuseur et la longueur de la chambre de mélange. **Laskowski et Momeni** ont montré qu'une conception optimisée des buses pouvait augmenter la hauteur de pompage de 45 % à l'aide du CFD Ansys Code CFX. Enfin, Aldas et Yapici ont comparé les pompes à jet avec celles à pièces mobiles, mettant en évidence l'importance de la rugosité de surface et l'optimisation à différentes échelles, montrant une chute d'efficacité à 60 % pour une rugosité relative de 0,05.

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous vous voir que le Pompe à jet de production du pétrole est un équipement essentiel dans l'industrie pétrolière. Ce système de pompage hydraulique à jet représente une solution d'activation des puits de pétrole largement utilisée pour sa simplicité, sa robustesse et son faible coût d'installation et de maintenance. Elle fonctionne en créant une dépression à travers un jet, ce qui permet d'extraire le pétrole des puits de manière efficace. Sa conception robuste lui permet de fonctionner dans des conditions variées, des puits peu profonds aux puits plus complexes. Sa simplicité mécanique réduit les besoins de maintenance et améliore la fiabilité opérationnelle. De plus, elle offre des avantages économiques significatifs en réduisant les coûts d'exploitation et en maximisant les profits des entreprises pétrolières.

Chapitre 2

Théorie de fonctionnement de la pompe à jet

2.1 Introduction

La théorie de la conception des pompes à jet s'appuie sur plus de 100 ans de recherche. En tant que type de machine de transport de fluides et dispositif de mélange et de réaction, les pompes à jet sont largement utilisées en conjonction avec d'autres systèmes de pompage, trouvant de nombreuses applications, la conservation de l'eau et les transports. L'efficacité de ce système dépend de nombreux facteurs tels que les débits, pressions et densités des fluides, ainsi que les composants (rapport des surfaces buse/gorge, angle du diffuseur). Dans ce chapitre

2.2 Principe de fonctionnement

Le fluide moteur à haute pression (basse vitesse) est converti en un jet basse pression (haute vitesse) par la buse. La pression à l'entrée de la gorge diminue à mesure que le débit du fluide moteur augmente. Quand cette pression diminue que la pression dans le passage d'aspiration, le fluide est aspiré du puits de forage. Le fluide aspiré est entraîné avec le jet à grande vitesse et l'action de pompage commence alors. Après mélange dans la gorge, le fluide de puissance combiné et le fluide d'aspiration sont ralentis par le diffuseur. Parce que la vitesse diminue, la pression augmente jusqu'à atteindre une valeur suffisante pour pomper le fluide vers la surface [6].

Et Les principes de déplacement de l'écoulement à travers les composantes de pompe à jet **figure (2.1)** sont comme suites :

2.2.1 L'écoulement dans le Buse (Nozzle)

Le débit de fluide pompé Q_m arrive à la buse avec une pression totale P_m . Quand le fluide pénètre dans la zone de restriction, le fluide est transformé à partir d'une faible vitesse V_n et une pression élevée P_m , à une vitesse élevée V_t et une faible pression statique P_s . La faible pression (P_s) du fluide primaire diminue jusqu'à ce qu'elle devienne inférieure à la pression dynamique du fluide secondaire au fond de puits. Grâce à la différence de pression créée entre les deux fluides, pompe à jet aspire les fluides de formation (secondaire) au taux de production désiré Q_s . Donc le débit d'huile produit est proportionnel au volume pompe de fluide de puissance.

2.2.2 L'écoulement dans l'entrée de la Gorge

Le fluide de formation pénètre lentement une zone de surface A_s qui est l'espace annulaire entre la surface de sortie de la buse A_n et la surface de la gorge A_t . Une fois que les particules de liquides primaire interagissent avec les particules lentes, une action de glissement se produit à la limite entre ces deux liquides. Le mélange des deux courants à ce point est minimal.

2.2.3 L'écoulement dans la Gorge (Throat)

Au fur et à mesure que les deux flux progressent, la zone du courant de mélange se répand progressivement tandis que la zone du noyau du fluide à grande vitesse diminue jusqu'à se disparaître. A la sortie de Gorge le courant de mélange est propagé jusqu'à ce qu'il touche les

parois de Gorge. À ce moment-là, tout le fluide secondaire a été mélangé avec le fluide primaire.

2.2.4 L'écoulement dans le Diffuseur (Diffuser)

Le mélange sort du Gorge pour traverser la section du Diffuseur dans lequel la pression statique de mélange augmente et la vitesse diminue. Cette pression est appelée la pression de refoulement (production) P_d qui doit être suffisante pour remonter le mélange à la surface.

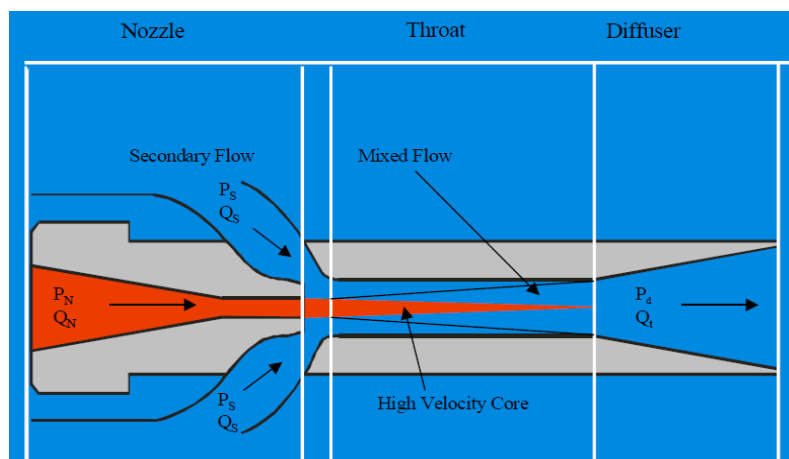


Fig (2.1) : Fonctionnement de pompe à jet [7]

2.3 Procédure de circulation du fluide d'énergie

La procédure de circulation du fluide d'énergie se réfère généralement à la manière dont un fluide, tel que l'eau ou un autre liquide, est utilisé pour transférer de l'énergie d'un endroit à un autre. Cette procédure peut être observée dans divers systèmes, notamment les systèmes hydrauliques, les centrales électriques hydrauliques, les systèmes de refroidissement et de chauffage, etc.

Voici une description générale de la procédure de circulation du fluide d'énergie :

- **Source d'énergie** : La procédure commence par une source d'énergie, qui peut être thermique, mécanique, électrique, etc. Dans le contexte des systèmes hydrauliques, par exemple, la source d'énergie peut être une pompe électrique ou un moteur thermique qui fournit l'énergie nécessaire pour entraîner le fluide à travers le système (Le fluide d'énergie est tiré à partir d'un Vessel par une pompe de surface multiplex qui sert à fournir la pression et le débit nécessaire pour fonctionner la pompe à jet).
- **Pompage ou alimentation du fluide** : Une fois activé par la source d'énergie, le fluide est pompé ou alimenté dans le système. Cela peut se faire à l'aide de pompes, de ventilateurs, de compresseurs ou d'autres dispositifs similaires, pour subir une séparation.

- **Utilisation de l'énergie** : À mesure que le fluide circule à travers le système, il transfère son énergie à d'autres composants ou processus. Par exemple, dans un système hydraulique, l'énergie du fluide peut être utilisée pour actionner des vérins, des moteurs ou d'autres dispositifs mécaniques. Dans une centrale électrique hydraulique, l'énergie du fluide est utilisée pour générer de l'électricité.
- **Retour ou évacuation du fluide** : Le fluide d'énergie, une fois recyclé, est aspiré par la pompe multiplex pour qu'il soit réinjecté au fond du puits pour un fonctionnement continu de la pompe à jet. La circulation du fluide d'énergie existe sous deux modes :
 - **Circulation standard** : Le fluide d'énergie est injecté au fond du puits à travers le tubing de production, et le fluide sera mélangé et produit par l'espace annulaire (tubage).
 - **Circulation inverse** : Le fluide d'énergie est injecté en bas de puits, dans l'espace annulaire (tubage) et le fluide mélangé sera produit à travers le tubing de production.

2.4 Les Problèmes agissant sur le fonctionnement de pompe à jet

2.4.1 Phénomène de Cavitation

Le phénomène de cavitation est un processus qui se produit dans les liquides lorsque la pression locale devient inférieure à la pression de vapeur saturante du liquide. Cette dépression de pression entraîne la formation de bulles de vapeur ou de cavités remplies de vapeur dans le liquide **figure (2.2)**. Elle est divisée en deux catégories :

2.4.1.1 Cavitation de fluide de production

Quand le fluide secondaire de débit élevé pénètre une petite surface A_s , la pression statique de fluide diminue. Une fois que cette pression atteint la pression de vapeur, les cavités de vapeur « vides » sont créées dans le courant de fluide produit. Au cours de l'écoulement du fluide la pression de mélange augmente dans la gorge ce qui conduit à l'effondrement des bulles. En conséquence, une quantité importante d'énergie est libérée sous forme d'une onde de choc acoustique et une lumière visible contre la paroi de gorge.

2.4.1.1 Cavitation de fluide de puissance

La description du phénomène de cavitation précédemment suggère que, si le débit de production se rapproche de zéro, le risque de cavitation disparaît parce que les vitesses de fluide sont très faibles. Cependant, la différence de vitesse entre le fluide de puissance et de production crée une zone de cisaillement sur la frontière entre elles. Une telle zone de cisaillement génère constamment des tourbillons et des bulles qui sont à une pression réduite. Ces bulles causent des dommages de cavitation à l'entrée de la gorge (situation grave) ou dans le diffuseur juste après la section de diamètre constant (situation douce).[8]

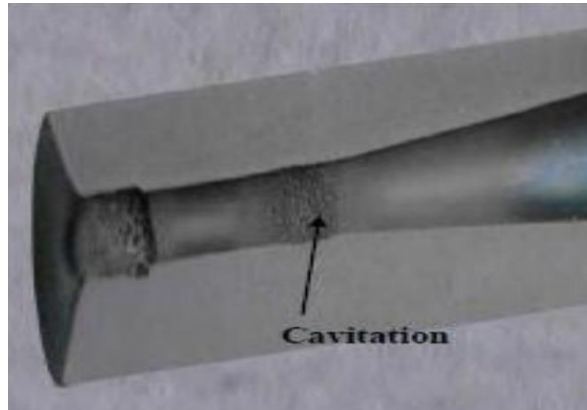


Fig (2.2) : le phénomène de Cavitation dans la gorge

2.4.2 Erosion

Le phénomène de l'érosion agit contre les parois des éléments de la pompe à jet sous l'action des molécules du fluide d'énergie injecté à grande vitesse, qui va jusqu'à la destruction de l'équipement.

Ainsi, l'érosion est causée par le fluide moteur à haute vitesse impactant les parois internes des composants de la pompe à jet, particulièrement la buse, la gorge et le diffuseur. C'est un problème important à prendre en compte, car l'érosion dégrade les performances de la pompe et peut causer des défaillances si les composants sont trop abîmés.

2.4.3 Pannes des pompes de surface

La capacité de la pompe à jet à faire remonter en surface les effluents du gisement dépend essentiellement de la haute pression (HP) d'injection de la pompe de surface. Il est impératif de veiller au maintien de la HP aux conditions du design pour permettre une récupération économiquement et rentable. Pour éviter toute panne éventuelle de la pompe d'injection de surface, une pompe de réserve doit être prévue afin d'éviter toute interruption de la production.

Pour éviter toute panne éventuelle de la pompe d'injection de surface, une pompe de réserve doit être prévue afin d'éviter toute interruption de la production.

2.4.5 Formation des sels et des asphaltes

L'eau de formation est très salée, en pénétrant dans le puits, elle participe à la création des constituants minéraux (sels) et favorise les dépôts organiques, tels que les asphaltes et les paraffines, qui vont s'assembler et se rendre plus durs. Ces constituants gênent non seulement la continuité de la production, mais ils forment des risques qui causent l'érosion de la pompe. Pour y remédier, plusieurs méthodes sont utilisées, telles que :

- Les traitements chimiques.
- Les grattages contrôlés par Wire line (WL) du tubing.
- L'injection d'eau douce et des inhibiteurs pour éviter la formation des dépôts.

2.5 L'efficacité de la pompe à jet

L'efficacité de la pompe η est le rapport de l'énergie de production à l'énergie d'absorption. [9] Elle est donnée par :

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (2.1)$$

E_{out} peut être défini comme une puissance utile

E_{in} est la puissance d'entrée de la pompe qui est la puissance de fluide de puissance (basée sur la puissance fournie par le fluide de puissance et ne comprend pas la puissance fournie par la formation)

$$E_{out} = Q_s * \Delta P \quad \text{Fluide de réservoir} \quad (2.2)$$

$$E_{in} = Q_m * \Delta P \quad \text{Fluide de puissance} \quad (2.3)$$

Avec Q_s : le débit volumétrique sortant de la pompe à jet.

Q_m : le débit volumétrique d'entraînement.

Les pertes de pression dans la pompe sont :

- L'augmentation de la pression du fluide produit lors de son passage à travers la pompe
 $\Delta P \text{ Fluide de réservoir} = P_d - P_s$ (2.4)

- La perte de charge du fluide de puissance lors de son passage à travers la pompe :
 $\Delta P \text{ Fluide de puissance} = P_m - P_d$ (2.5)

Avec P_d : pression de décharge

P_s : pression de succion

P_m : pression d'aspiration

Sont représentés dans la figure suivante (2.3) :

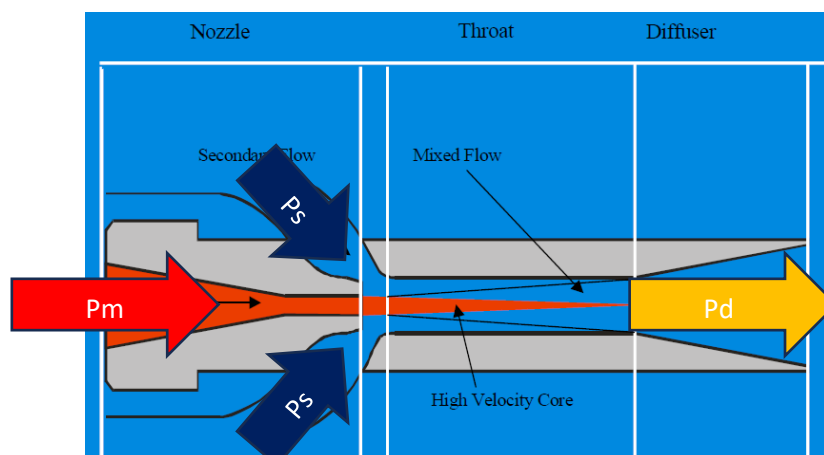


Fig (2.3) : présentation des pressions

Alors le taux de compression de la pompe est donné par :

$$\frac{\Delta P \text{ Fluide de réservoir}}{\Delta P \text{ Fluide de puissance}} = \frac{P_d - P_s}{P_m - P_d} = \mathbf{Pr} \quad (2.6)$$

Avec :

$$\mathbf{Pr} = \frac{2R + \frac{M^2 R^2}{(1-R)} - (1+Ktd)R^2(1+M)^2 - (1+Ks) \left[\frac{M^2 R^2}{(1-R)^2} \right]}{1+Kn - 2R - \left[\frac{M^2 R^2}{1-R} \right] + (1+Ktd)R^2(1+M)^2} \quad [9] \quad (2.7)$$

Et le rapport de débit volumétrique \mathbf{Mr} est :

$$\mathbf{Mr} = \frac{Q_s}{Q_m} \quad (2.8)$$

L'efficacité de la pompe peut être définie comme le produit des deux paramètres \mathbf{Mr} et \mathbf{Pr} :

$$\eta = \mathbf{Mr} * \mathbf{Pr} = \frac{Q_s}{Q_m} * \frac{P_d - P_s}{P_m - P_d} \quad (2.9)$$

La résumé des lois dans le tableau suivant, **tableau (2.1)**.

Paramètre	La relation
Surface de passage de fluide secondaire dans la pompe A_s	$A_s = A_t - A_N$
Débit total de mélange Q_t	$Q_t = Q_s + Q_m$
Rapport de débit volumétrique M	$\mathbf{Mr} = Q_s / Q_m$
Rapport de surface de la pompe R	$R = A_N / A_s$

Tableau (2.1) : Les paramètres qui définissent le fonctionnement de pompe à jet

2.6 Les performances de la pompe à jet

La performance de la pompe à jet peut être définie simplement comme une capacité de la pompe à remonter le plus de fluide possible à la surface. Elle est influée par plusieurs facteurs, parmi ces facteurs nous citons

2.6.1 Les pertes d'énergie dans la pompe à jet

Il y a des pertes par frottement associées à toutes les parties de pompe à jet. Ces coefficients de perte dépendent de la zone, la spécificité de la pompe, les propriétés des fluides, la vitesse et les pertes associées du mélange. Généralement Les pourcentages des pertes d'énergie dans les parties de la pompe sont résumés dans le Tableau (2.2). [1]

Les pertes	Le pourcentage%
Buse	1%
L'entrée de Gorge (pertes d'aspiration)	2%
Perte de Friction dans la Gorge	8%
Les pertes de mélange de fluide de réservoir et le fluide de puissance	45%
Diffuseur	10%

Tableau (2.2) : Les pertes d'énergie dans la pompe à jet

La figure suivante montre l'efficacité de la pompe pour différents coefficients de perte aux buses. Dans la buse des vitesses élevées sont associées lorsque le fluide moteur s'écoule à travers la restriction. **La figure (2.4)** montre que la diminution de l'efficacité de la pompe est légèrement plus élevée pour augmenter les coefficients de perte dans les buses par rapport aux pertes à l'entrée dans la gorge. Parmi les coefficients de perte réalistes, l'efficacité de la pompe est d'environ **0,32**.

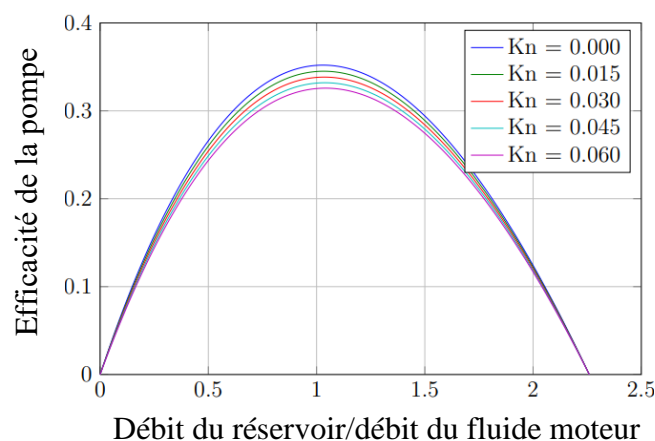


Fig (2.4) : Efficacité avec des coefficients de perte de buse variables K_n . [1]

Dans **la figure (2.5)**, l'efficacité de la pompe est tracée pour différents coefficients de perte dans la gorge. Les liquides se mélangent dans la gorge. En plus d'une vitesse de gorge élevée, cela contribue à une augmentation des pertes par friction dans la gorge. À mesure que le coefficient de perte de gorge augmente l'efficacité de la pompe diminue rapidement. Le rapport de débit optimal apparaît également comme étant diminuant.

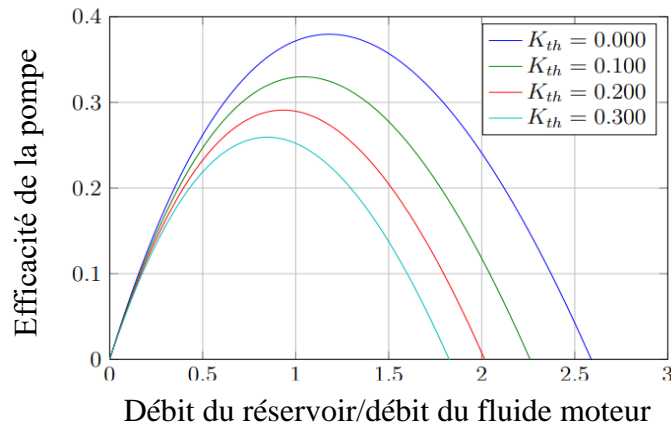


Fig (2.5) : Efficacité avec des coefficients de perte de gorge variables K_{th} . [1]

Un comportement similaire est observé pour le diffuseur. **La figure (2.6)** montre que l'augmentation du diffuseur les coefficients de perte réduisent légèrement moins l'efficacité de la pompe que pour la gorge. Pour un coefficient de perte moyen de **0,1**, le rendement de la pompe est d'environ **0,33** pour un rapport de débit, entre le débit du réservoir et le débit du fluide moteur, d'environ **1**.

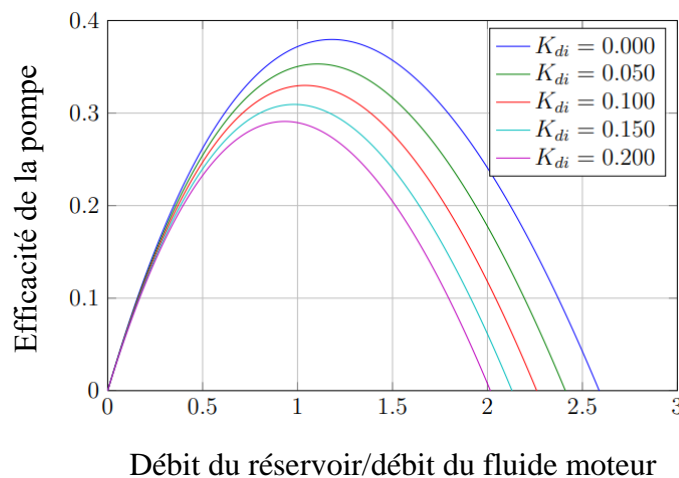


Fig (2.6) : Efficacité avec des coefficients de perte de diffuseur variables K_{di} . [1]

Si toutes les pertes dans une pompe à jet pouvaient être évitées, ce qui n'est évidemment pas réaliste, les performances pourraient ressembler à la ligne bleue de **la figure (2.7)**.

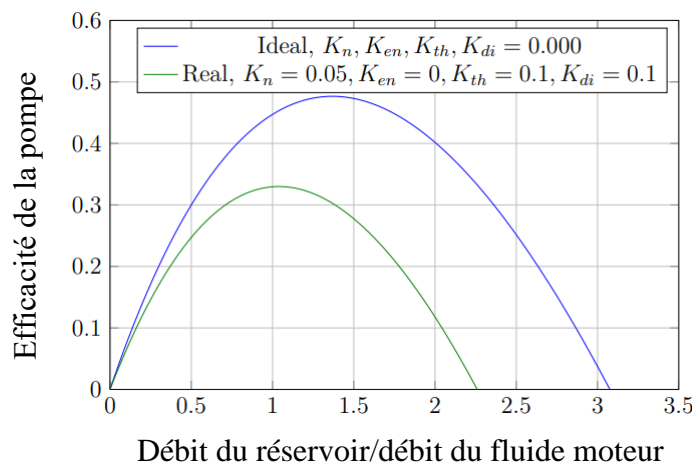


Fig (2.7) : Efficacité de la pompe pour les coefficients de perte idéaux et de base. [1]

2.6.2 Angle du diffuseur

Cunningham définit la relation entre la gorge et la zone du diffuseur comme a , et écrivez-le comme suit :

$$a = \frac{A_{th}}{A_{di}} \quad (2.10)$$

La figure (2.8) montre comment des zones de col et de diffuseur plus égales affectent l'efficacité de la pompe. L'efficacité de la pompe n'est pas affectée pour les petits rapports, mais augmente rapidement. Pour une zone de gorge représentant 40 % de la surface du diffuseur, l'efficacité de la pompe a diminué d'environ 5%.

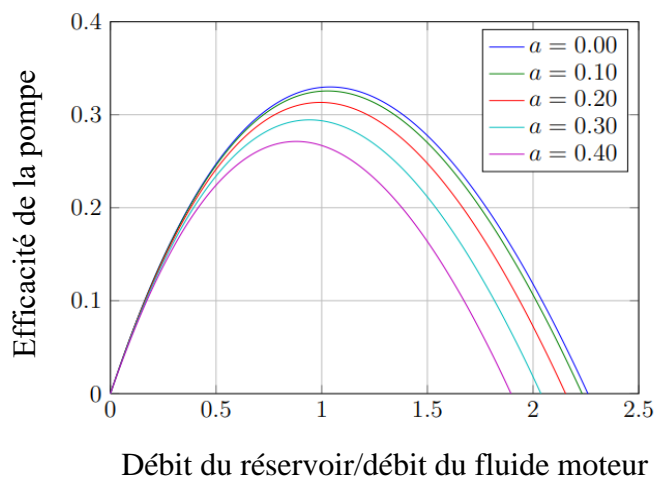


Fig (2.8) : Efficacité pour différents rapports gorge-diffuseur-zone, $a = A_{th}/A_{di}$. [1]

2.6.3 La densité

En général, les fluides de puissance à forte densité comme l'eau donneront une meilleure performance et une bonne efficacité pour la pompe à jet. La modification du rapport de densité affecte l'efficacité, comme le montre la figure (2.9) Pour une densité de réservoir décroissante ou une densité de fluide de puissance croissante, l'efficacité augmente.

Si de l'eau est utilisée comme fluide moteur, une densité de réservoir de 800 kg/m³ aura une densité maximale rendement d'environ 35% pour un débit de 1,25. La figure montre que la pompe l'efficacité diminue à mesure que la quantité d'eau augmente.

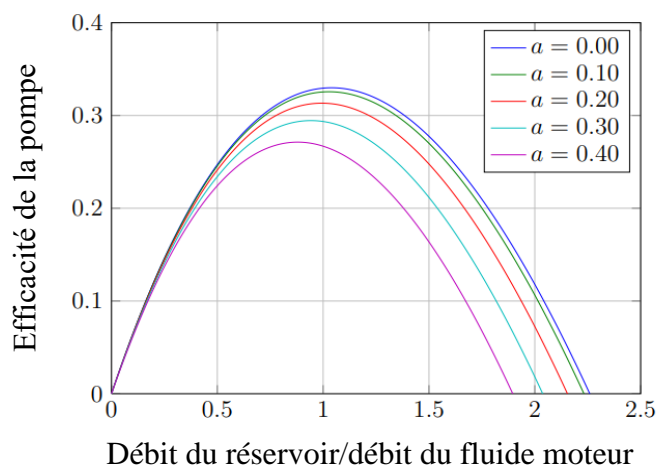


Fig (2.9) : Efficacité pour différents rapports de densité (S). [1]

2.6.4 Débit et la pression d'injection de fluide puissance

Généralement, le système hydraulique utilise un fluide de haute pression et de faible débit, pour réduire les pertes dues au frottement et augmenter l'efficacité du système.

La Figure (2.10) montre que le débit à aspirer augmente à mesure que la pression d'injection de fluide de puissance augmente. Mais cette pression est limitée par la résistance du tubing et la tête de puits.

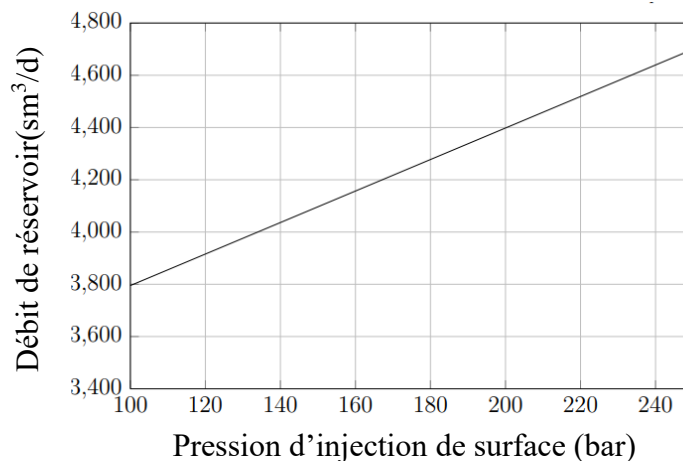


Fig (2.10) : Débit du réservoir pour différentes pressions d'injection. [1]

2.6.5 L'emplacement de la pompe

Pour un potentiel de production maximum, la pompe est placée en profondeur au niveau de la perforation. Ce qui permet d'éviter la libération de gaz au-dessous de Jet dans les puits à fort GOR et de maintenir l'efficacité de la pompe.

2.6.6 Configuration de la pompe à jet

Les composants principaux de la pompe à jet sont la buse et la gorge. Plusieurs expériences ont été réalisées sur les dimensions de ces composants pour étudier l'efficacité de la pompe.

Le rapport de surface de la pompe (**R**) est le rapport de la surface de buse à la surface de gorge. C'est une variable importante. Il détermine les caractéristiques de performance de la pompe. Pompes avec le même rapport de surface ont les mêmes courbes de performance et d'efficacité, selon la **figure (2.11)**.

Si, pour une buse donnée, la gorge est choisie de telle sorte que la surface du buse A_n est de **60%** de la superficie de gorge A_t . Il y a une zone relativement petite A_s autour du Jet pour l'entrée des fluides de réservoir. Cela conduit à des faibles taux de production par rapport au taux de fluide de puissance. Une telle pompe est adaptée pour les puits profonds de faible débit et de hauts levages.

Si la gorge est choisie de telle sorte que la surface buse est seulement **20%** de la surface de gorge. Alors que la surface d'écoulement A_s disponible pour la production est plus grande. Donc la quantité de production est plus élevée. Les puits peu profonds à faible levage sont des candidats pour une telle pompe.

Des combinaisons de surfaces sont possibles pour répondre aux différentes exigences de débits et de levages. Tenter de produire de petites quantités par rapport au taux de fluide de puissance avec un rapport de surface **R= 0,20** sera inefficace en raison de pertes de mélange turbulent élevées entre le fluide de jet à haute vitesse et le fluide de production lent.

A l'inverse, en essayant de produire avec des taux de production élevés par rapport au fluide de puissance avec un rapport de surface **R= 0,60** sera inefficace en raison des pertes par friction élevées à travers la gorge. La sélection du rapport optimal implique un compromis entre ces pertes de mélange et de friction. Dans **la figure (2.12)**, différentes dimensions de gorges utilisées en conjonction avec une buse donnée donnent différentes courbes de performances.
[1]

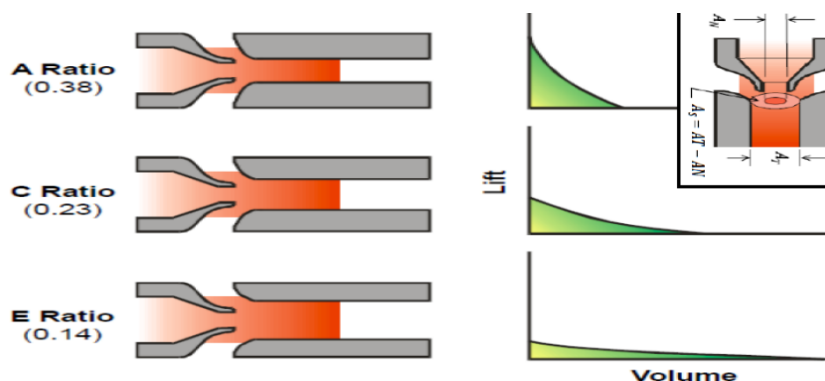


Fig (2.11) : Le rapport de volume produit en fonction de variation de rapport de surface R de la pompe. [6]

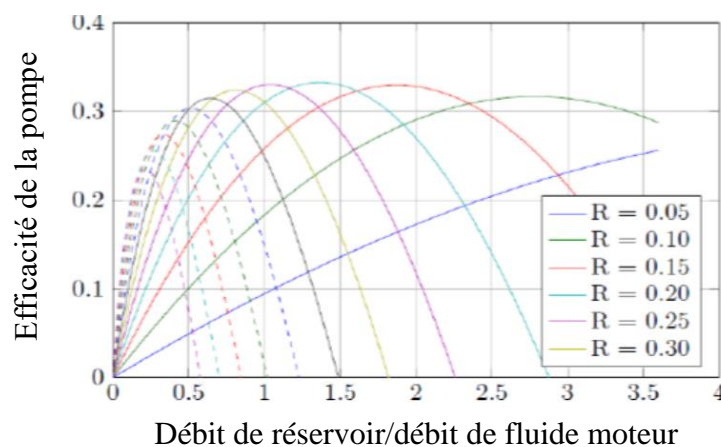


Fig (2.12) : Efficacités de la pompe pour le rapport de surface de -Buse-Gorge. [1]

2.7 Conclusion

En conclusion, la pompe à jet est un système de pompage couramment utilisé dans de nombreux domaines grâce à son principe de fonctionnement simple et efficace. Son fonctionnement repose sur la conversion d'un fluide moteur à haute pression en un jet à haute vitesse qui permet d'aspirer et de mélanger un fluide secondaire, avant de le ralentir dans un diffuseur pour augmenter sa pression. Son efficacité, qui correspond au rapport entre l'énergie utile produite et l'énergie d'entrée, dépend de plusieurs facteurs géométriques (rapport des surfaces buse/gorge, angle du diffuseur, etc.) et des propriétés des fluides (densités, débits, pressions).

Chapitre 3

Méthodologie et préparation de la simulation

3.1 Introduction

Plusieurs facteurs contribuent au choix d'un système d'activation, à savoir, les caractéristiques de production (débit de production, pression en tête, ...etc.), les propriétés des fluides (viscosité, densité, ...etc.), les sources d'activations à long terme (électrique, gaz... etc.), les problèmes d'exploitation (sel, asphaltènes, paraffines, les fines ...etc.), le personnel d'exploitation, la disponibilité du service et les facteurs économiques relater au mode d'activation. Dans ce chapitre on va énumérer les critères d'une pompe à jet pour simulée leur fonctionnement avec étude paramétrique à partir logiciel ANSYS.

Et dans notre étude nous avons utilisé logiciel Ansys 2020.**figure(3.1)**



Fig (3.1) : ANSYS 2020 R2[13]

3.2 Présentation du logiciel ANSYS

ANSYS est un logiciel de simulation numérique par la méthode des éléments finis. Il permet de modéliser et d'analyser numériquement le comportement de pièces, systèmes ou procédés dans de multiples domaines de la physique : mécanique des structures, mécanique des fluides, thermique, électromagnétisme, etc. ANSYS est largement utilisé dans les industries de l'aéronautique, de l'automobile, de l'énergie, des télécommunications et bien d'autres secteurs pour concevoir, tester virtuellement et optimiser des produits avant leur fabrication.

3.3 Histoire de ANSYS

ANSYS a été fondée en 1970 par Dr. John A. Swanson, alors professeur d'ingénierie structurelle à l'Université d'État de Pennsylvanie. Le nom ANSYS provient de "Analysis System".

Au départ, ANSYS était un logiciel d'analyse structurelle par éléments finis développé pour résoudre des problèmes d'ingénierie nucléaire. Le premier produit commercial appelé STANSYS (SStructural ANalysis SYStem) a été lancé en 1971.

Dans les années 1980, ANSYS a élargi ses capacités pour inclure l'analyse thermique, la dynamique des fluides, l'électromagnétisme et le design paramétrique.

En 1994, ANSYS a été l'une des premières sociétés à mettre en œuvre une interface utilisateur graphique pour Windows dans son logiciel. Au fil des années, ANSYS a continué à se développer via des acquisitions et des partenariats pour ajouter de nouvelles capacités multiphysiques, de simulation de systèmes et d'optimisation topologique.

Aujourd'hui, ANSYS est devenu une référence mondiale dans les logiciels de simulation numérique avec une large gamme de produits pour divers secteurs industriels. L'entreprise compte des milliers d'employés à travers le monde et ses solutions sont utilisées par les plus grandes entreprises aérospatiales, automobiles, électroniques, énergétiques. [13]

3.4 Les Application dans logiciel ANSYS

3.4.1 Fonctionnalités Étendues :

- Modélisation avancée pour représenter des structures complexes.
- Simulation de dynamique des fluides pour comprendre les flux et les forces.
- Analyse électromagnétique pour étudier les phénomènes électromagnétiques.
- Autres fonctionnalités incluent l'analyse thermique, acoustique, et bien plus encore.

3.4.2 Optimisation du Processus de Conception :

- Réduit le besoin de prototypes physiques coûteux.
- Accélère le développement de produits en permettant des itérations rapides.

3.4.3 Précision et Fiabilité :

- Fournit des résultats précis grâce à des méthodes de simulation avancées.
- Utilisé par des ingénieurs et des chercheurs renommés dans le monde entier.

3.4.4 Applications Variées :

- Industrie aérospatiale et automobile.
- Énergie et environnement.
- Électronique et technologies de l'information.
- Ingénierie civile et construction, et bien plus encore.

3.5 Modélisations de l'écoulement dans une pompe à jet

3.5.1 Modèle physique

La pompe à jet est représentée schématiquement à l'échelle (1/1) sur la **Figure (3.2)**, et les principales dimensions sont indiquées sous **tableau (3.1)**. Toutes les sections transversales à n'importe quel endroit de la pompe sont circulaires, de la pompe est circulaire.

Dans la présente étude les surfaces intérieures de toutes les parties de la pompe sont supposées être des surfaces lisses ($= 0,00015$ mm). Comme toutes les pièces de la pompe sont usinées sur la latte d'une manière meilleure que la nouvelle conduite.

La modélisation solide en 3D des corps de pompes à jet à différentes échelles utilisées dans l'échelle la simulation CFD a été conçues à l'aide du logiciel Design Modeler sur une plateforme ANSYS Workbench R2. [14]

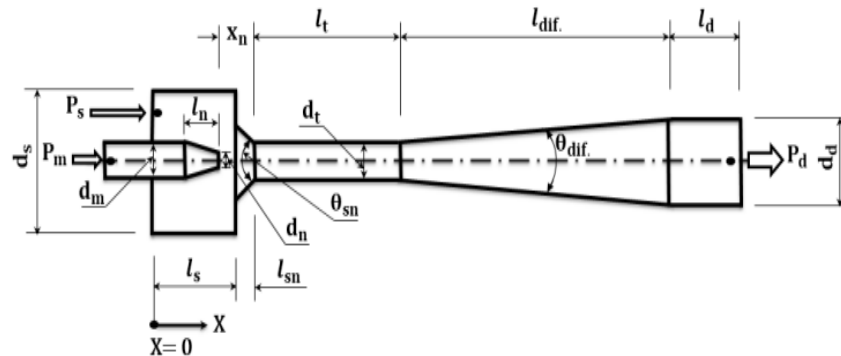


Fig (3.2) : Schéma de pompe à jet

Toutes les dimensions sont en (mm)												
l_s	d_s	l_{sn}	Θ_{sn}	l_n	d_m	d_n	l_t	d_t	l_{dif}	Θ_{dif}	l_d	d_d
110	152.4	25	86°	60	60	19	200	36.5	485	5°	100	80

Tableau (3.1) : Les dimensions de la pompe

3.5.2 Modèle numérique

La version académique du code ANSYS CFX R2 CFD est utilisée pour tous les calculs qui utilise une discrétisation en volumes finis.

L'écoulement stable en 2D est utilisé pour la simulation numérique de l'écoulement de l'eau à travers la pompe utilisée.

La simulation numérique de la pompe à jet est réalisée pour d'étudier l'effet des paramètres opérationnels et géométriques sur la pompe à jet et aussi pour simuler le comportement de l'écoulement à travers la pompe sous ces différents paramètres géométriques et opérationnels. Dans la présente étude, le modèle de transition K- ϵ de transition est proposé conformément à la recommandation de l'étude précédente.

Pour une pompe à jet, l'écoulement à l'intérieur est très complexe. Les hypothèses suivantes sont faites pour analyser l'écoulement d'eau à travers la pompe :

- L'écoulement est incompressible et stable.
- Il n'y a pas de transfert de chaleur entre l'environnement et l'eau.
- ($K = 0$)

Pour un écoulement incompressible, l'équation de continuité et l'équation de quantité de mouvement moyennées par Reynolds sont les suivantes :

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (3.1)$$

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_j} + \rho f_i = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-p\delta_{ij} + \tau_{ij}) \quad (3.2)$$

τ_{ij} est le tenseur de contraintes de Reynolds défini comme suit :

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \quad (3.3)$$

Dans l'étude actuelle, le modèle de turbulence à deux équations k- ϵ est utilisé pour prendre en compte les effets de la turbulence. Les équations de transport pour le modèle standard k- ϵ sont les suivantes :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \rho \epsilon + S_k \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3.5)$$

La viscosité turbulente μ_t est calculée en utilisant k et ϵ comme suit :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.6)$$

Les coefficients du modèle, qui sont déterminés empiriquement, sont donnés :

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

Avec

k : est l'énergie cinétique turbulente

p : pression statique

C_μ : est une constante de modèle

ρ : est la masse volumique du fluide

σ_k et σ_ϵ : sont des constantes de modèle

μ : est la viscosité dynamique du fluide

t : est le temps

u_i : sont les composantes de la vitesse du fluide

x_i : sont les coordonnées spatiales

ϵ : est le taux de dissipation de l'énergie turbulent

3.6 Simulation du fonctionnement de la pompe à jet

Pour commencer la simulation de notre étude nous avons dessiner la géométrie de la pompe pour faire la simulation sur cette géométrie

Voici les étapes de notre simulation :

3.6.1 La géométrie de la pompe à jet

Alors la géométrie dessinée par plusieurs méthodes par exemple **SolidWorks** et **ANSYS**.

Notre géométrie dessinée par ANSYS comme suivant :

- Ouvrir WorkBench 2020 R2, (**figure 3.3**).
- Dans la boîte des outils nous avons choisie **Mécanique des fluides (CFX)**.

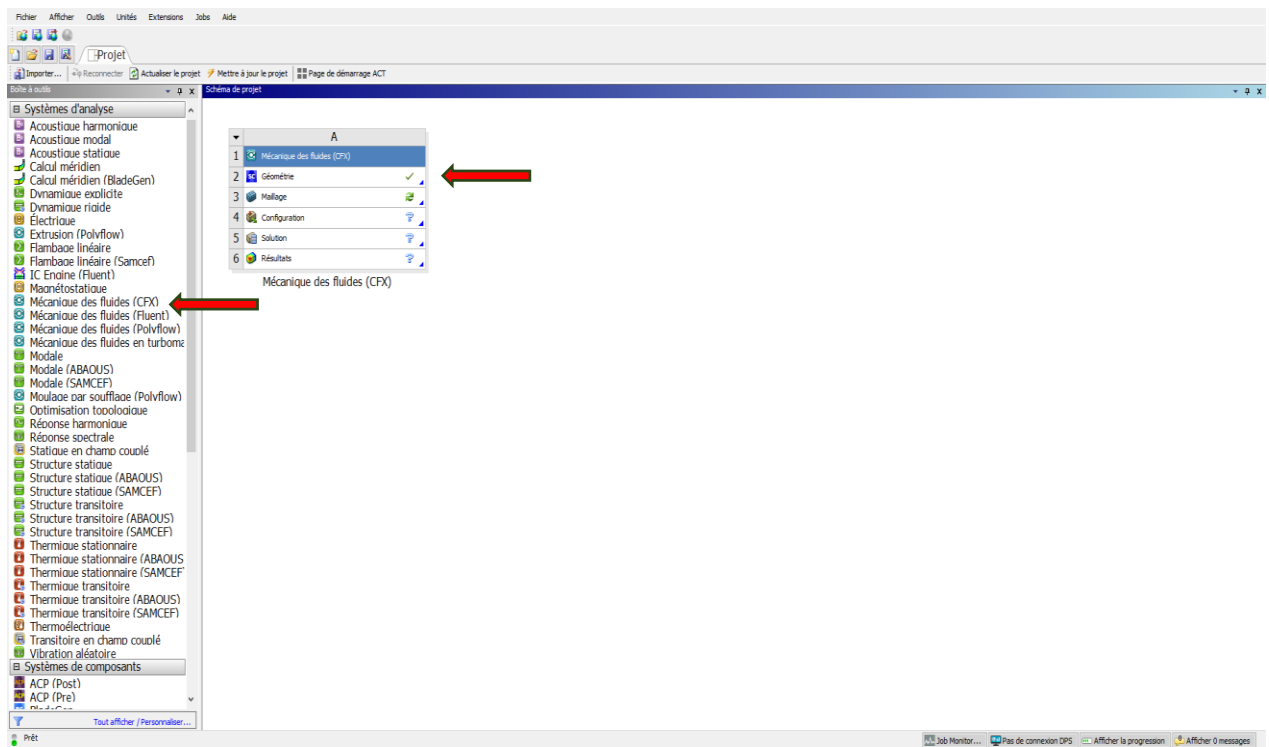


Fig (3.3) : fenêtre de WorkBench

- Dans la boîte D'outils de mécanique des fluides CFX on va cliquer sur **Géométrie** à partir du bouton droit de la souris, dans la nouvelle fenêtre cliquer double cliques sur **Nouvelle géométrie SpaceClaim**.
- Dans la nouvelle fenêtre de logiciel **SpaceClaim** nous avons choisi le plan de travail **plan XZ**.

- Cliquer sur **Assemblage** après **fichier** et choisi notre dessine de la pompe à jet donc en commencée à dessiner la géométrie de la pompe avec leur cotation de chaque cote, **figure (3.4)**.

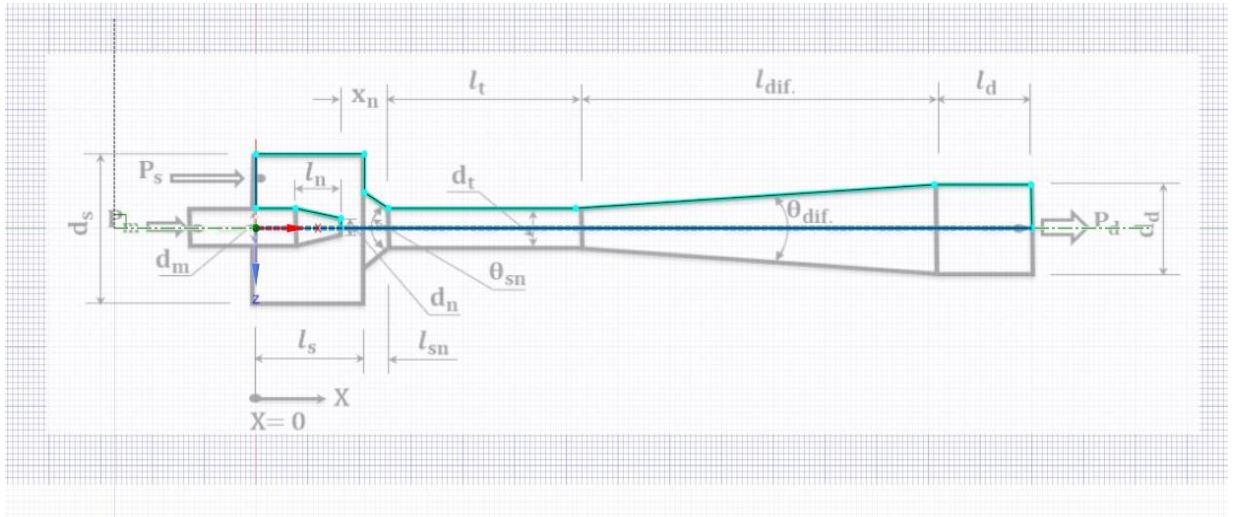


Fig (3.4) : désignation de la pompe à jet

- Après la désignation de la pompe on clique sur **Tirer** et sélectionnée la surface après **Révolution 360°**, **figure (3.5)**

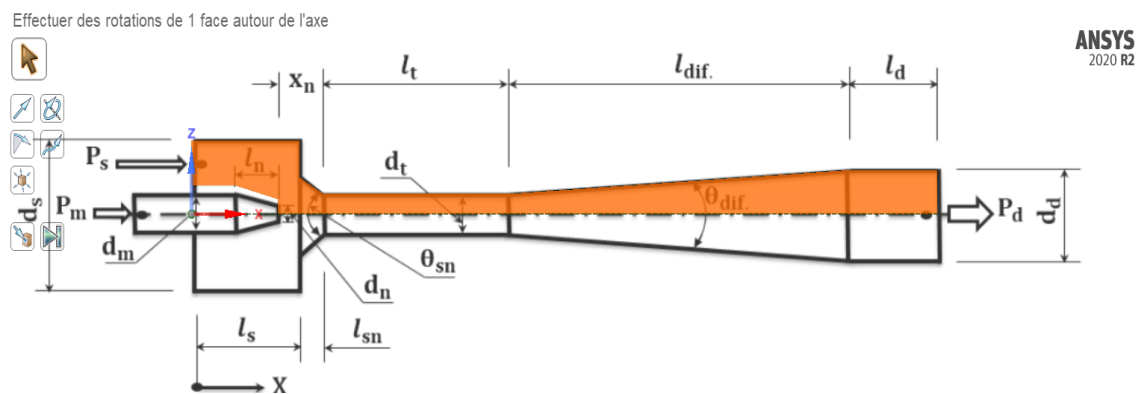


Fig (3.5) : Revolution de surface

- A la fin, **Générer** la surface d'esquisse, et nous obtenons la modele de géométrie de la pompe à jet, **figure (3.6)**.

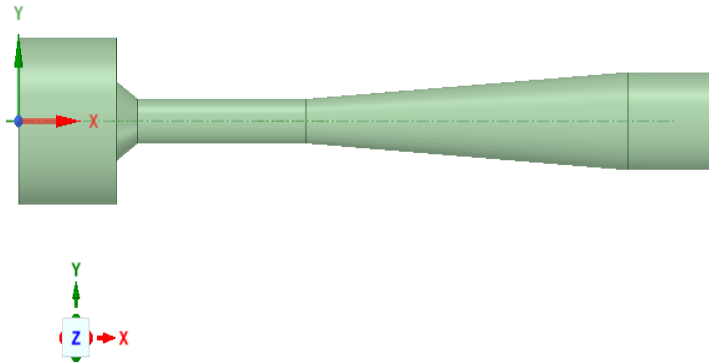


Fig (3.6) : géométrie de la pompe à jet

3.6.2 Le Maillage

D'après la désignation de la géométrie de la pompe à jet, nous avons commencé la deuxième étape de notre simulation c'est le maillage

Le maillage, dans le contexte de la simulation numérique, désigne la division d'un domaine en éléments discrets (comme des triangles ou des quadrilatères dans le cas de la modélisation bidimensionnelle, ou des tétraèdres dans le cas de la modélisation tridimensionnelle). Chaque élément du maillage est défini par un ensemble de nœuds ou de points, et les propriétés physiques sont calculées ou approximées à ces nœuds. Le maillage est essentiel pour résoudre numériquement les équations qui décrivent le comportement d'un système physique dans un domaine donné. Un maillage de haute qualité est souvent crucial pour obtenir des résultats précis et fiables dans une simulation numérique.

Voici les étapes que nous avons fait dans la deuxième étape de notre simulation :

- Retour à la fenêtre de WorkBench et cliquez sur **Maillage**.
- Dans la nouvelle fenêtre de maillage cliquez sur **maillage**, entrez la taille des éléments **4 mm** avec nombre des nœuds **73861** dans la fenêtre de **détails de Maillage** et **générer le maillage, figure (3.7)**.

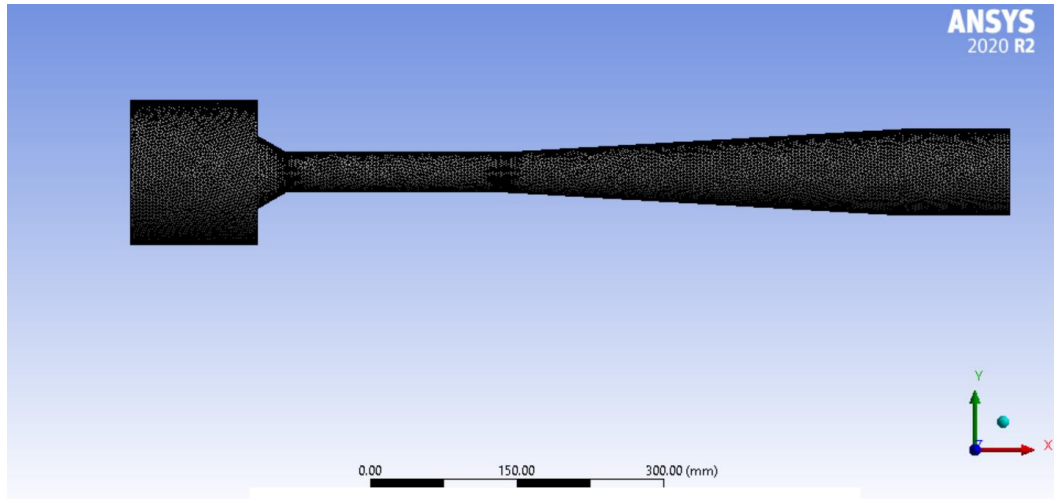


Fig (3.7) : Le Maillage

3.6.2.1 Etude de sensibilité du maillage

Pour étudier la sensibilité du maillage on peut changer la taille des éléments entre **8 mm** et **1.3 mm**, et nous avons obtenu les résultats suivant, **tableau (3.2)** :

Taille des Eléments (mm)	Nombre des nœuds	Pd (Pa)	Qm (Kg/s)	Qs (Kg/s)	Eff	Pr
8.0	28781	33590	7.3	3.4	0.5312	1.1452
7.0	31042	33590	7.3	3.4	0.536282	1.15616
6.0	36150	33590	7.3	3.4	0.539122	1.16228
5.0	47811	33590	7.3	3.4	0.54986	1.1854
4.0	73861	33590	7.3	3.4	0.55446	1.1954
3.0	136696	33590	7.3	3.4	0.55673	1.2003
2.0	341246	33590	7.3	3.4	0.55543	1.1975
1.5	674092	33590	7.3	3.4	0.55412	1.1946
1.3	950001	33590	7.3	3.4	0.55020	1.1862

Tableau (3.2) : Différent Nombre des nœuds

Interprétation

Dans la figure suivant (3.8), Le graphique présente l'évolution de l'efficacité en fonction du nombre de nœuds dans un système donné. On observe une augmentation presque linéaire de l'efficacité, passant d'environ **0.5312** à **0,55020**, lorsque le nombre de nœuds varie de **0** à **950001**. Cette tendance suggère que, dans ce système particulier, l'ajout de nœuds supplémentaires permet d'accroître légèrement l'efficacité globale, du moins jusqu'à un certain point. Cependant, sans plus de contexte sur la nature du système et la définition précise de l'efficacité, il est difficile de tirer des conclusions définitives. Néanmoins, cette relation linéaire positive entre le nombre de nœuds et l'efficacité soulève des implications intéressantes dans le domaine concerné, qu'il s'agisse d'un système distribué, d'un réseau, ou d'un algorithme d'optimisation ou d'apprentissage automatique.

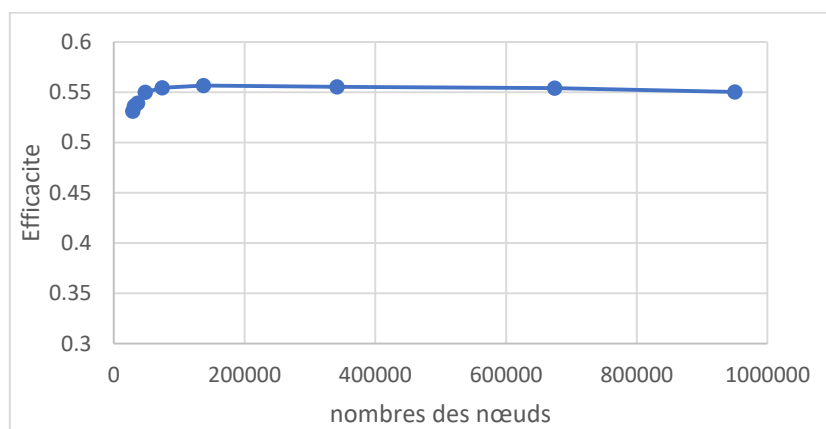


Fig (3.8) : Efficacité en fonction nombres des nœuds

Dans la figure suivant (3.9), ce graphe représente l'évolution du rapport de pression en fonction du nombre de nœuds. On observe que le rapport de pression commence à environ **1,18** puis diminue lentement à mesure que le nombre de nœuds augmente, jusqu'à atteindre environ **1,14** pour **950001** de nœuds. Cette tendance décroissante suggère que lorsque le nombre de nœuds dans un système augmente, le rapport de pression entre différents points tend à diminuer légèrement, bien que la diminution ne soit pas très prononcée, ce qui indique que le rapport de pression reste relativement stable même avec un grand nombre de nœuds.

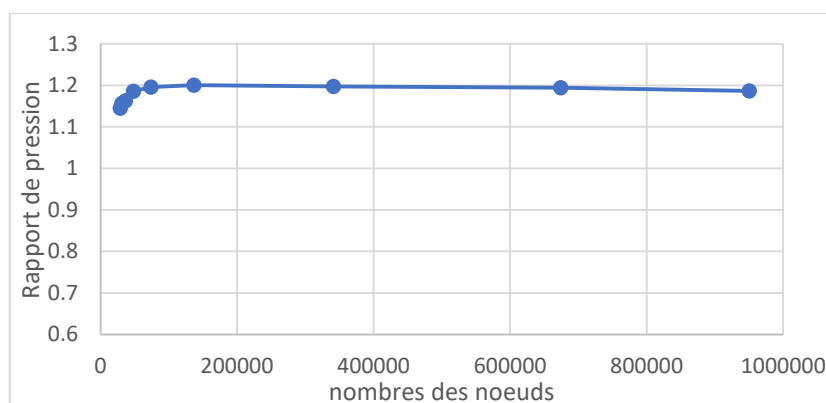


Fig (3.9) : Rapport de pression en fonction nombres des nœuds

3.6.3 Configuration

Configuration c'est la troisième étape de notre simulation d'après la géométrie et le maillage

Voici les étapes que nous avons fait :

- On va définir les conditions aux limites :
 - Inlet_brut** : zone d'entrée le fluide de gisement.
 - Inlet_Nozzel** : zone d'entrée le fluide d'injection (fluide de puissance).
 - Wall** : c'est la paroi de la pompe.
 - Outelt** : zone de sortie le mélange de fluide.
- Après on va introduire les valeurs des conditions au limites du débit d'injection Q_m , et le débit de production Q_s **figure (3.10.a)**, avec la pression de sortie de la pompe ($P_d=33590Pa$) **figure (3.10.b)**.

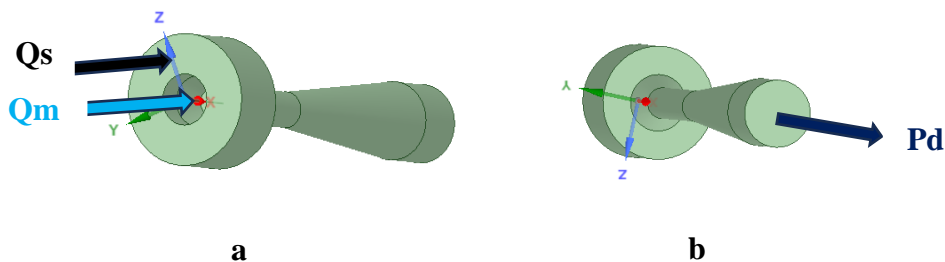


Fig (3.10) : les conditions aux limites

- On va choisir **Water** (l'eau) comme un fluide de puissance dans la barre d'outils après **default Domain** pour les raisons que nous avons évoquées précédemment.

3.6.4 Partie résolution CFX

Dans cette étape le logiciel CFX réalise un certain nombre d'itérations pour obtenir des résultats, Comme critère de convergence, la moyenne quadratique des valeurs normalisées des résidus d'équation a été utilisées. Le résidu RMS cible par défaut la valeur pour les simulations CFX est 10^{-4} pour assurer une bonne convergence. Étant donné que la précision quantitative est requise. Dans cette étude, pour garantir la convergence de la solution, nous avons choisi de réaliser 100 itérations. Après avoir effectué ces 100 itérations, si les courbes des résidus deviennent inférieur de 10^{-4} , cela signifie que la solution a convergé.

- Après avoir modifié les expressions et entré le nombre d'itérations (**100**) dans l'étape précédente, retournez à la fenêtre principale de **WorkBench** et cliquez sur "Solution", **figure (3.11)**.

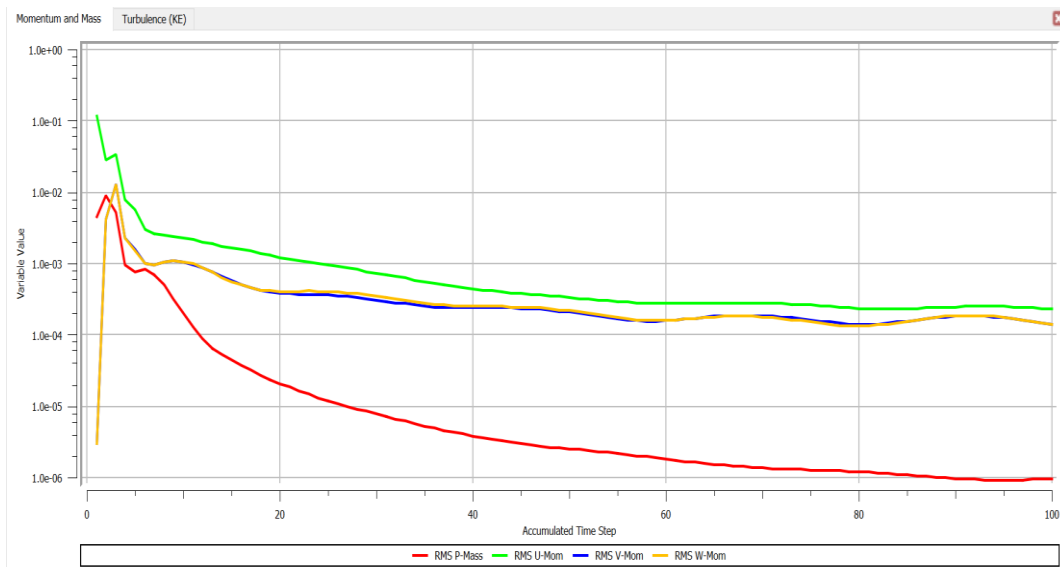


Fig (3.11) : les itérations

3.7 Conclusion

Ce chapitre présente en détail l'utilisation du logiciel ANSYS pour simuler le fonctionnement d'une pompe à jet. Les étapes de la simulation sont décrites, notamment :

- Le design 3D de la géométrie de la pompe
- Le maillage, incluant une étude de sensibilité
- La configuration des paramètres d'entrée (débits, pression)
- La définition des expressions à calculer (rapport de débit, taux de compression, efficacité)
- Le lancement de la solution numérique

L'objectif est de fournir une méthodologie détaillée pour mener une simulation CFD de l'écoulement dans une pompe à jet à l'aide du logiciel ANSYS. Cela permet d'étudier l'influence des paramètres opérationnels et géométriques sur les performances de la pompe.

Les bases théoriques sous-jacentes à cette approche sont également présentées, afin de donner un cadre conceptuel solide à la démarche de simulation numérique.

Chapitre 4

Analyse et discussion des résultats

4.1 Introduction

L'écoulement dans une pompe à jet se caractérise par l'accélération d'un fluide dans un tube ou une buse, grâce à l'injection sous haute pression d'un autre fluide. Cette configuration induit des phénomènes d'écoulement turbulents ainsi que des gradients de pression importants. L'utilisation d'ANSYS R20 pour simuler le champ d'écoulement de pression, vitesse et de turbulence dans une pompe à jet offre une approche précise et efficace pour optimiser la conception et améliorer les performances de ces équipements essentiels dans de nombreuses applications industrielles

Il est essentiel d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus. Cette section vise à fournir une discussion approfondie des données de sortie de la simulation, en mettant l'accent sur les aspects clés du comportement de l'écoulement et des performances de la pompe. Cette analyse approfondie des résultats de simulation vise à fournir une compréhension complète du fonctionnement interne de la pompe à jet et à démontrer les avantages de l'utilisation d'outils de simulation numérique puissants comme ANSYS pour la conception et l'optimisation de tels systèmes complexes. Dans ce chapitre, nous allons étudier les différents champs en analysant les performances en termes d'efficacité et l'influence de la géométrie sur cette efficacité.

4.2 Les champs des écoulements

Nous avons étudié les champs à l'aide de CFX-Post, c'est un outil graphique permettant le traitement et la visualisation des résultats. Il permet d'appliquer des textures sur la géométrie, de visualiser des contours, des champs de vitesses.

4.2.1 Les Champs des pressions

Le champ de pression dans une pompe à jet représente la distribution spatiale de la pression dans tout le domaine d'écoulement.

ANSYS prédit la distribution de pression à l'intérieur de la pompe et à la sortie du jet. Cela permet d'optimiser la conception pour obtenir les performances de pression désirées.

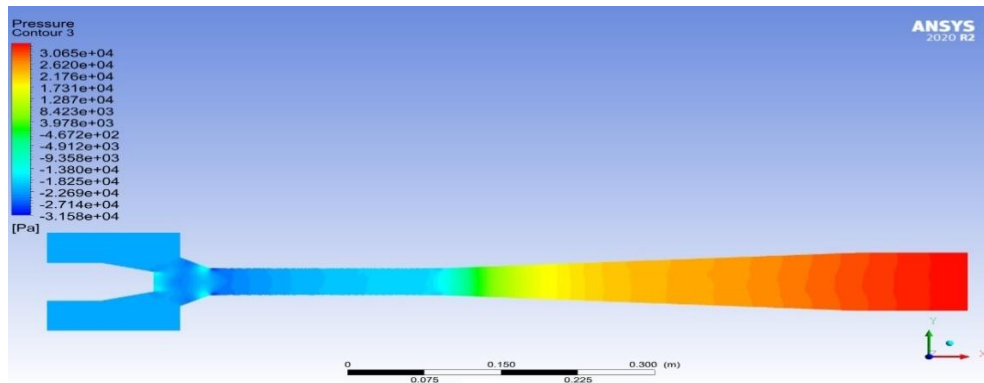
On a appliqué sur la géométrie de rayon de buse **15mm**, avec la taille de maillage **4.00 mm** avec **73861** nombres des nœuds de rapport de débit différent :

- **Mr=0.3000** figure (4.1.a)
- **Mr=0.3644** figure (4.1.b)
- **Mr=0.4638** figure (4.1.c)

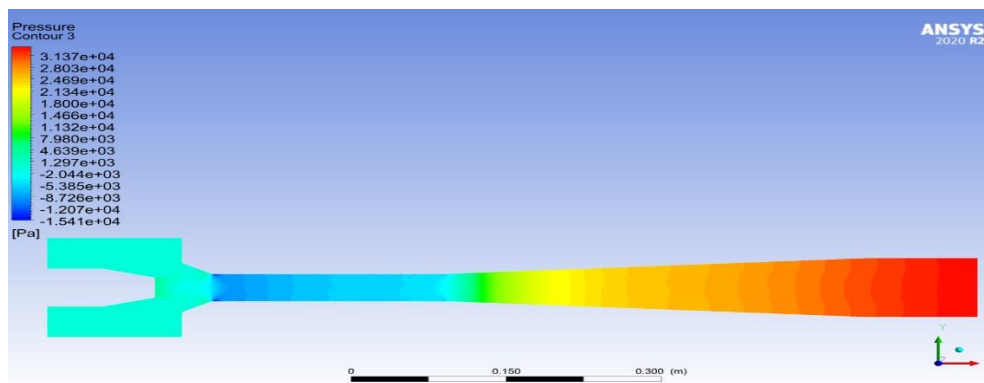
Le **Tableau suivant (4.1)** présente les principaux résultats issus de la simulation ANSYS du fonctionnement de la pompe à jet :

	Pd(Pa)	Qs(Kg/s)	Qm(Kg/s)	Eff	Mr	Pm (Pa)	Pr	Ps (Pa)
A	33590	3.4	11.33	0.33869	0.30009	-15892	1.1286	-22258
B	33590	3.4	9.33	0.41899	0.36442	4621.2	1.1498	283.03
C	33590	3.4	7.33	0.55446	0.46385	20370.3	1.1954	17690.1

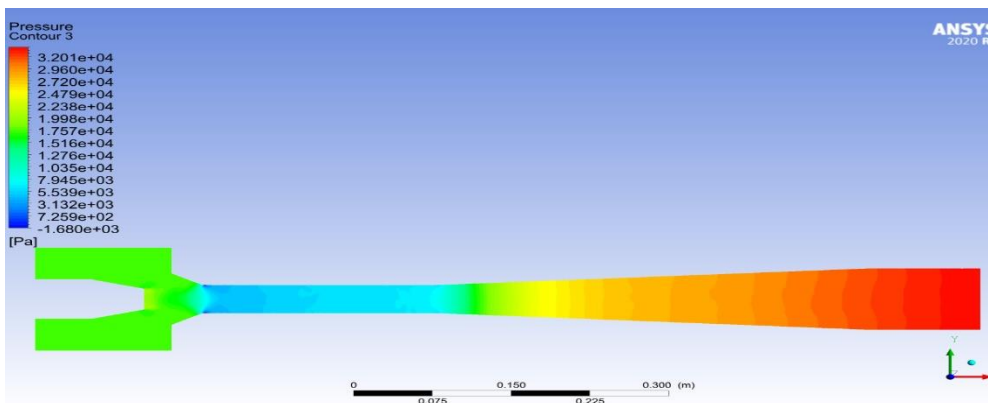
Tableau (4.1) : Les résultats du différent rapport de débit



a



b



c

Figure (4.1): Les champs des pressions

Interprétation des résultats

La figure montre une simulation de la distribution de pression à l'intérieur d'une pompe à jet, réalisée avec le logiciel ANSYS 2020. La légende de couleur à gauche représente les valeurs de pression en pascals (Pa). Voici les interprétations et de la distribution de pression dans chaque zone :

- Selon les résultats, on observe une augmentation de la pression lorsque le rapport de débit (**Mr**) augmente. Plus précisément, la pression **P(a)** est de **$3,065 \cdot 10^4$** Pa pour un rapport de débit **Mr** de **0,300**, tandis que la pression **P(c)** atteint **$3,201 \cdot 10^4$** Pa pour un **Mr** plus élevé de **0,4638**. Cette augmentation de pression est causée par une diminution du débit d'injection.
- Les zones bleu foncé correspondent à des zones de basse pression relatives, créant ainsi un effet d'aspiration marqué à l'entrée de la pompe dans **la buse**. Cet effet permet d'aspirer et d'entraîner le fluide vers l'intérieur de la pompe pour qu'il puisse être alimenter son fonctionnement, où bien peut signaler un risque de cavitation. La cavitation se manifeste par la formation de bulles de vapeur dans le liquide, ce qui peut causer des dommages à la pompe et une perte d'efficacité.
- La région où le canal est le plus étroit (la gorge). La pression continue à augmenter, atteignant des valeurs positives élevées comme **$1.287 \cdot 10^4$** Pa à **$2.176 \cdot 10^4$** Pa. La vitesse du fluide est maximale ici, ce qui est cohérent avec une pression statique plus basse.
- Les zones rouge foncé correspondent à la sortie de la pompe (diffuseur), où le fluide a ralenti et la pression statique est maximale. Cette haute pression est cruciale pour le bon fonctionnement de la pompe, car elle indique que le fluide a été efficacement pressurisé.

4.2.2 Les champs des vitesses

Le champ de vitesse décrit cette variation de la vitesse d'écoulement en magnitude et en direction dans chaque point de l'espace, et donc les simulations CFD révèlent le profil de vitesse détaillé de l'écoulement à travers la pompe. On peut identifier les zones de vitesses élevées et les zones de recirculation.

Nous avons également appliqué un rayon de buse de **15 mm** à la géométrie, tout en utilisant divers rapports de débit.

- **Mr=0.3000** figure (4.2.a)
- **Mr=0.3644** figure (4.2.b)
- **Mr=0.4638** figure (4.2.c)

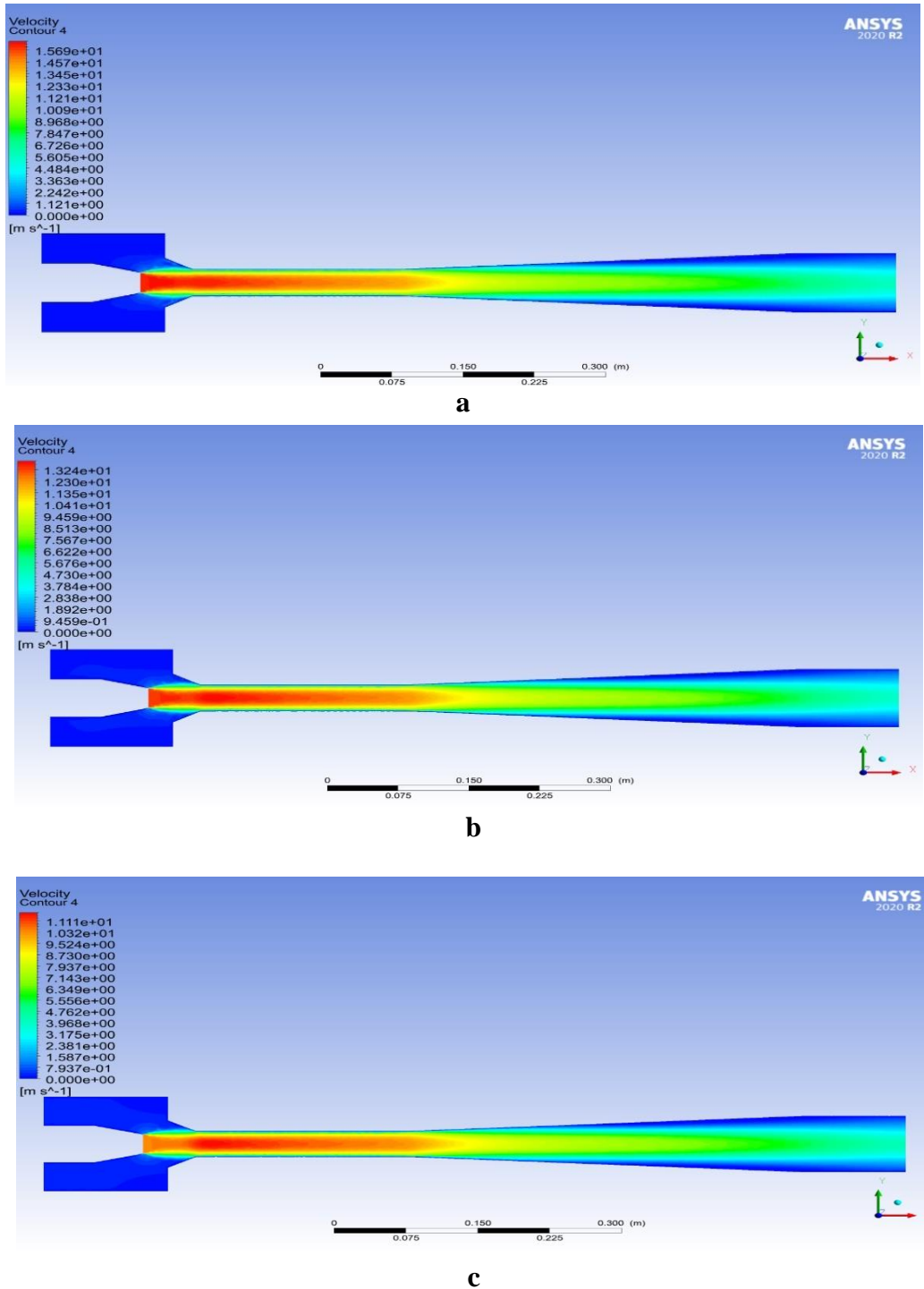


Figure (4.2): Les champs des Vitesse

Interprétation des résultats

Les contours montrent une simulation de la distribution de vitesse dans une pompe à jet, réalisée avec le logiciel ANSYS 2020 R2. La légende à gauche indique les valeurs de vitesse en mètres par seconde (m/s). Voici les interprétations et de la distribution de vitesse dans chaque zone :

- D'après avoir les contours de chaque rapport de débit, on remarque il y a une diminution de la vitesse lorsque Mr augmenté, $V=15.69\text{m/s}$ pour un $Mr=0.300$ tandis que $V=11.11\text{m/s}$ pour un $Mr=0.4638$. Principalement due aux principes de conservation de la masse et de l'énergie, ainsi qu'à l'augmentation des pertes internes dans la pompe à jet.
- Zones de haute vitesse, Indiquent des régions où l'énergie cinétique est élevée, souvent près de la buse d'injection. Conformément au principe de Bernoulli, lorsque la section du canal se rétrécit, la vitesse du fluide augmente. Ces zones sont cruciales pour le bon fonctionnement de la pompe car elles génèrent la succion nécessaire pour aspirer le fluide brut.
- La région en bleu foncé montre une faible vitesse, proche de 0 m/s . Cela reflète le point où le fluide commence à entrer dans la pompe avec une vitesse initiale basse, qui peuvent indiquer des zones de recirculation ou de stagnation, ce qui peut être problématique pour l'efficacité du système.
- Après la gorge, dans le diffuseur (où le canal s'élargit), la vitesse du fluide diminue. Les couleurs passent du rouge/orange au vert/bleu, indiquant une réduction progressive de la vitesse. La vitesse diminue jusqu'à environ 11.12 m/s à la sortie avec la pression statique augmente, permettant une sortie à haute pression du fluide.

Cette distribution de vitesse est cohérente avec le fonctionnement attendu d'une pompe à jet, où l'énergie cinétique est convertie en pression statique pour assurer une sortie efficace du fluide.

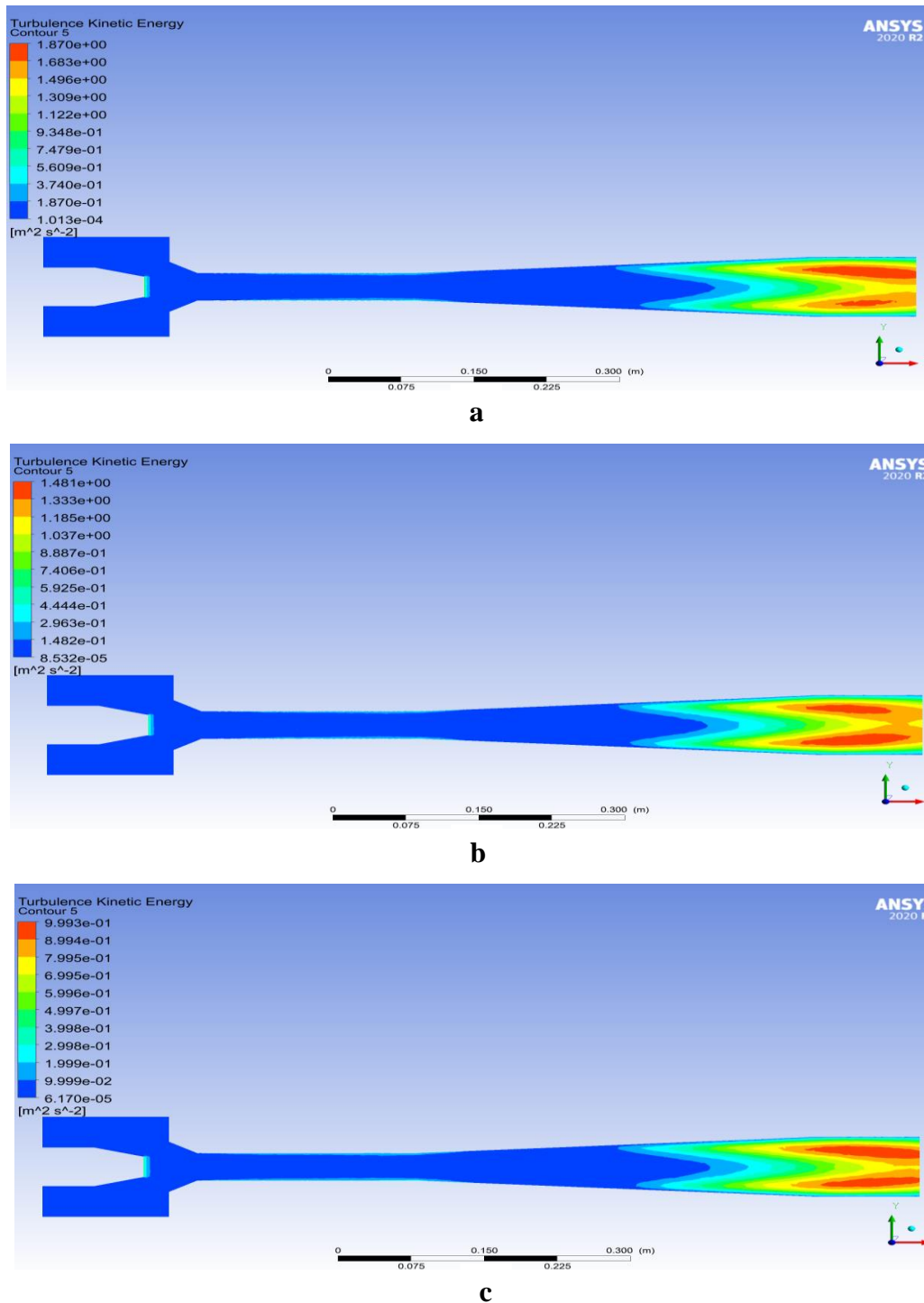
4.2.3 Les champs de turbulences

Un champ de turbulence décrit la distribution spatiale et temporelle des fluctuations de vitesse et de pression, avec leur structure et l'intensité de ces fluctuations turbulentes dans tout le domaine d'écoulement.

ANSYS utilise des modèles de turbulence avancés pour capturer avec précision les régimes d'écoulement turbulent présents dans les pompes à jet. Les régions d'écoulement turbulent intense peuvent être visualisées et quantifiées.

On a appliqué dans la même la géométrie de rayon de buse 15mm , avec de rapport de débit différent :

- $Mr=0.3000$ figure (4.3.a)
- $Mr=0.3644$ figure (4.3.b)
- $Mr=0.4638$ figure (4.3.c)



Interprétation des résultats

La figure montre une simulation de l'énergie cinétique turbulente dans une pompe à jet, réalisée avec le logiciel ANSYS 2020. La légende à gauche indique les valeurs de Turbulence en m^2/s^2 . Voici une interprétation des valeurs et de la distribution de l'énergie cinétique turbulente dans la pompe :

- D'après les résultats, on constate que l'augmentation du rapport de débit **Mr** entraîne une réduction de turbulente, comme les champs des vitesses.
- Les valeurs de turbulence sont très faibles, proches de **1.013*10⁻⁴ m²/s²** (en bleu foncé). Cela indique une faible turbulence à l'entrée de la pompe, ce qui est attendu car le fluide entre avec une vitesse relativement basse.
- Dans la région de la gorge, les valeurs de Turbulence augmentent, atteignant des niveaux plus élevés jusqu'à environ **1.122 m²/s²**. Cela est dû à l'accélération du fluide et aux interactions intensifiées avec les parois de la pompe, créant plus de turbulence.
- Les zones rouges Identifiez la turbulence est maximale. Cela peut indiquer des points critiques nécessitant une attention particulière, par exemple, des risques d'érosion ou de cavitation.

4.2.4 Optimisations

4.2.4.1 Forme de la Buse et la gorge : Modifier la géométrie de la buse pour réduire les zones de basse pression excessive et prévenir la cavitation et pour réduction de turbulence et obtenir un flux plus uniforme.

4.2.4.2 Matériaux et Revêtements : Utiliser des matériaux résistants pour minimiser les effets de turbulence et de cavitation et à la corrosion pour prolonger la durée de vie de la pompe et maintenir des performances élevées.

4.3 Les performance en fonction de rapport de débit

On a appliqué sur la géométrie de rayon de buse **15mm**, avec des différents débits **Qm** Voici les résultats que nous avons obtenus par ANSYS, **Tableau (4.2)** :

	Pd (Pa)	Qm(kg/s)	Qs(kg/s)	Eff	Mr	Pm (Pa)	Pr	Ps (Pa)
1	33590	11.33	3.4	0.338690	0.30009	-15892	1.1286	-22258
2	33590	10.33	3.4	0.375435	0.329138	-4084.38	1.1407	-9383.65
3	33590	9.33	3.4	0.418990	0.36442	4621.2	1.1498	283.03
4	33590	8.33	3.4	0.478292	0.408163	13447.8	1.1718	9986.99
5	33590	7.33	3.4	0.554460	0.46385	20370.3	1.1954	17690.1
6	33590	7	3.4	0.590936	0.485714	22310.3	1.2166	19866.8
7	33590	6.33	3.4	0.673262	0.537125	25719.8	1.2535	23725.1
8	33590	6	3.4	0.723403	0.566667	27119.5	1.2766	25329.8

Tableau (4.2) : Les résultats du différent Qm

4.3.1 Performance d'efficacité en fonction de rapport de débit

Après avoir les résultats nous avons tracé la courbe d'efficacité en fonction de rapport de débit **figure (4.4)**.

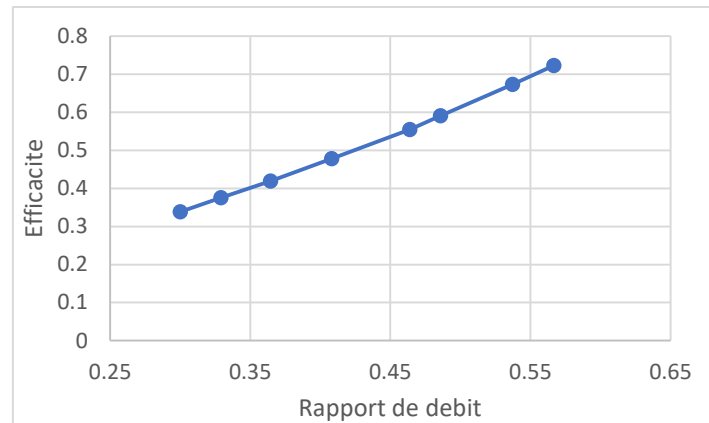


Figure (4.4) : l'efficacité en fonction de rapport de débit

- Interprétation

Le graphe représente la relation croissante quasi linéaire entre le rapport de débit et l'efficacité. Lorsque le rapport de débit augmente de **0,30 à 0,56**, l'efficacité augmente également presque proportionnellement, passant d'environ **0,33 à 0,73**. Cette corrélation positive suggère que l'augmentation du rapport de débit entraîne une amélioration régulière de l'efficacité.

4.3.2 Performance de rapport de pression en fonction de rapport de débit

Après avoir les résultats nous avons tracé la courbe de rapport de pression en fonction de rapport de débit **figure (4.5)**.

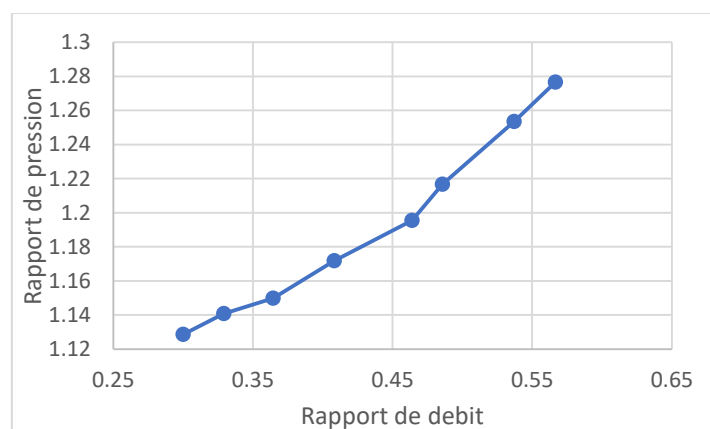


Figure (4.5) : Rapport de pression en fonction de rapport de débit

- Interprétation

Le graphe illustre une relation croissante quasi linéaire entre le rapport de débit et le rapport de pression. Lorsque le rapport de débit augmente de **0,30 à 0,56**, le rapport de pression s'accroît de manière presque proportionnelle, passant d'environ **1,13 à 1,29**. Plus précisément, pour un rapport de débit de **0,30**, le rapport de pression est d'environ **1,13**. Cette corrélation positive indique que l'augmentation du rapport de débit conduit à une amélioration régulière du rapport de pression.

4.4 Influence de la géométrie

4.4.1 Géométrie de la buse d'injection

La forme de la buse détermine la vitesse et la direction du jet de fluide injecté. Une buse bien conçue peut maximiser l'accélération du fluide et améliorer le mélange avec le fluide aspiré, augmentant ainsi l'efficacité globale de la pompe. Une buse convergente-divergente peut augmenter ou bien diminuée la pression et l'efficacité du jet en créant une onde de choc, ce qui est crucial pour des applications nécessitant des vitesses élevées.

Notre étude se concentre sur l'impact de la modification du rayon de la buse sur les performances nous visons à comprendre comment ces changements influencent divers paramètres, tels que la vitesse du jet, la pression, l'efficacité énergétique, et leur turbulence.

Nous avons expérimenté sur trois rayons différents **10mm, 15mm et 20mm**, Voici les résultats que nous avons obtenus par ANSYS, Tableau (4.3) :

Rayon (mm)	Pm (Pa)	Vitesse max (m/s)	Turbulence max (m ² /s ²)	Pd max (Pa)	Efficacité
10	-22111	19.76	3.88	34490	52.74%
15	20370	11.11	1.16	32020	55.44%
20	28158	7.89	0.46	32860	56.42%

Tableau (4.3) : Les résultats du différent rayon

Interprétation

Lorsque le rayon de la buse augmente de **10 mm à 20 mm**, on observe les changements suivants et leur interprétation :

- La pression d'injection **Pm** augmente, passant de **-22111 Pa à 28158 Pa** (La pression négative pour le plus petit rayon une possible risque de cavitation ou une contrainte particulière au niveau de la buse), ce qui indique qu'une pression plus élevée est nécessaire pour injecter le fluide à travers une buse de plus grand diamètre et bonne efficacité.

- La vitesse d'injection diminue considérablement, passant de **19,76** m/s à **7,89** m/s. Un rayon plus petit entraîne une plus grande vitesse en raison de la restriction de l'écoulement, conformément au principe de conservation de la masse (pour un débit constant).
- La turbulence diminue avec l'augmentation du rayon de la buse. Cela est attendu puisque des rayons plus petits créent des conditions de flux plus instables, augmentant ainsi la turbulence.
- La pression de décharge présente une légère variation à cause des pertes des charges au niveau de la buse et la gorge.
- L'efficacité augmente avec l'augmentation du rayon de la buse, et s'améliorée légèrement avec le plus grand diamètre de buse.

4.5 Conclusion

L'utilisation du logiciel ANSYS pour la simulation numérique a permis d'identifier les paramètres critiques influençant les performances des pompes à jet. Grâce à ces simulations, il a été possible de proposer des améliorations concrètes visant à accroître l'efficacité, réduire les pertes et prolonger la durée de vie de ces systèmes de pompage.

Ces optimisations sont essentielles pour répondre aux exigences de performance toujours plus élevées auxquelles sont confrontées les pompes à jet. En effet, les applications industrielles requièrent des niveaux de rendement, de fiabilité et de productivité de plus en plus importants.

La modélisation numérique réalisée avec ANSYS a donc joué un rôle déterminant pour orienter les efforts d'amélioration de la conception et du fonctionnement des pompes à jet. Elle a permis de mieux comprendre les phénomènes physiques en jeu et d'identifier les leviers d'optimisation les plus pertinents.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude vise principalement à contribuer à l'amélioration des performances des pompes à jet utilisées dans la production pétrolière. L'objectif est d'optimiser la conception et l'utilisation de ces systèmes de pompage afin d'accroître leur efficacité, de réduire la consommation de fluide moteur et d'améliorer leur fiabilité globale.

L'approche de modélisation numérique adoptée, basée sur le logiciel ANSYS-CFX, présente de nombreux avantages et perspectives intéressantes. Elle permet d'analyser en détail le comportement hydraulique des pompes à jet, en évaluant les débits, les pressions et les pertes de charge associées. De plus, cette méthode offre la possibilité de visualiser les profils de vitesse et les champs de pression à l'intérieur des pompes. Ces informations sont essentielles pour optimiser la conception des composants et les performances globales du système de pompage.

Suite à l'étude d'un cas de simulation du système hydraulique d'une pompe conclut que :

Choix du fluide de puissance :

- Bien que l'huile puisse être utilisée, l'eau s'avère le fluide de puissance le mieux adapté, notamment dans les puits à forte salinité.

Pression requise pour une production optimale :

- Pour assurer une production optimale du puits, le système nécessite une pression d'injection élevée.

Conditions d'efficacité optimale :

- Pour atteindre une efficacité de 56,42%, le fluide de puissance doit être pompé à une pression d'injection de 28 158 Pa avec un débit injecté de 7,33 kg/s, dans une pompe de rayon 20 mm

Avantages économiques :

- L'utilisation de ce type de pompe présente de faibles coûts d'installation et de reconditionnement.

Apports de la modélisation ANSYS-CFX :

- L'utilisation du logiciel ANSYS-CFX a permis une compréhension approfondie du comportement hydraulique des systèmes de pompage, en évaluant les débits, les pressions et les pertes de charge associées.
- Le logiciel ANSYS a également servi à optimiser la conception de la pompe afin de maximiser son efficacité de fonctionnement.

Enfin, cette méthode d'activation des pompes à jet présente l'avantage d'être applicable à l'ensemble des puits, grâce à la grande diversité de conceptions de ces systèmes de pompage. Au-delà de la production principale, cette technologie peut également être mise à profit pour réaliser des essais de puits tels que les tests de formation (DST) et les opérations de reconditionnement (Kickoff). De plus, les pompes à jet peuvent être utilisées pour le nettoyage et la stimulation des puits, contribuant ainsi à optimiser l'ensemble des opérations liées à l'exploitation des gisements.

Cette polyvalence d'utilisation fait des pompes à jet une solution particulièrement intéressante et adaptée aux différentes phases de la vie d'un puits de production pétrolière ou gazière. Leur capacité à répondre à une large gamme d'applications en fait un outil précieux pour maximiser l'efficacité et la rentabilité de l'exploitation des ressources.

Recommandation

Pour une meilleure efficacité de la pompe il faut :

- Réaliser des études supplémentaires sur différentes géométries de buse pour maximiser l'efficacité et la pression de sortie.
- Le bon choix de la pression et le débit d'injection afin d'éviter l'endommagement du puits et le problème de cavitation.
- Choisir le bon fluide de puissance (eau, huile de formation avec une densité bien déterminé) en fonction des caractéristiques du puits et des opérations prévues.
- Créer des manuels détaillés et des guides d'utilisation basés sur les meilleures pratiques et les résultats des études de simulation.
- Intégrer des capteurs et des systèmes de surveillance en temps réel pour suivre les performances des pompes et détecter les anomalies.
- Vu le manque général de connaissances sur ce système (un problème commun à tous les systèmes d'artificiel lift mais peut-être plus pour l'hydraulique). Il est recommandé d'actualiser les gens concernés par des présentations et des formations périodiques.
- Utiliser des matériaux plus résistants à l'érosion et à la cavitation pour prolonger la durée de vie des pompes à jet.

Références :

- [1] Fredrik Liknes, département de génie pétrolier et de géophysique appliquée, université norvégienne pp 3-16, 2013.
- [2] Weatherford, Unidraulic Dual Vessel, 02-05-2005.
- [3] T. Pugh, Hydraulic Lift systems, Weatherford, 06-05-2015.
- [4] Weatherford, Hydraulic pumping systems training manual, 01-2016.
- [5] Osman A. Nunez-Pino. "Hydraulic Lift Systems Jet Pumps" WEATHERFORD 2014.
- [6] Hydraulic pumping. Février 2016 - Petro Wiki (spe.org).
- [7] <https://production-technology.org/jet-pump-work/>.
- [8] Trico industries, Jet pumps Oilmaster brand, 20-11-2009.
- [9] BUONG Guo, WILIAM C, Ali GHAMBRO, "Petroleum Production Engineering", ELSEVIER SCIENCE & TECHNOLOGY BOOKS; February 2007.
- [10] D. Perrin, Activation des puits, ENSPM formation industrie, 22-01-2003.
- [11] Darmci, Basic artificial lift, Canadian oilwell systems company ltd, 12-07-2015
- [12] J. Stafford, Plunger lifts system, Weatherford, 18-11-2014.
- [13] [Storage.ansys.com/mbu-assets/Mech/whatsnew/WhatsNew2020](https://storage.ansys.com/mbu-assets/Mech/whatsnew/WhatsNew2020).
- [14] M. A. Hosien, Computational and Experimental Study on the Water-Jet Pump Performance/Journal of Applied Fluid Mechanics, pp. 1013-1020, 2018
-