

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

N° Série : .../2024

Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables et Science de la Terre et de l'Univers

Département de Production des Hydrocarbures

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master Option :
Mécaniques chantiers pétrolier**

Présenté Par :

KOULEL Rachida, MEDJOUEL Ammar, GHORAB Haithem

-THEME-

**Évaluation de la sûreté de fonctionnement de pompe
multiphasique Liestritz L4**

Soutenue le :25 / 06/ 2024 devant la commission d'examen

Jury :

Encadrant : Mr. ZIARI Saber

Co – Encadrant : Mr. ATLILI Elhadi

Président : AGOUNE
Rachid

Univ.Ouargla

Rapporteur : ZIARI Saber

Univ.Ouargla

Examineur : BELOUFI
Youcef

Univ.Ouargla

Année universitaire :

2023/2024



Remerciements

Loange à dieu par sa grâce les bonnes choses se complètent,

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à **Mr. ZIARI Saber**, encadrant du mémoire et **Mr.ATLILI Elhadi**, co-encadrant, pour leur soutien continu, leurs conseils et leur orientation précieuse tout au long de ce travail.

Nous adressons également nos remerciement a tous les membres du les enseignements d'université KASDI MERBAH Ouargla filière hydrocarbure.

Nous n'oublions pas de remercier nos collegues et amis qui nous ont été d'un grande soutiens

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien et encouragement continus, et nous remercions tous ce qui contribuer de près ou de loin à la réalisation de ce Modeste travail.

Rachida, Ammar, Haithem



Dédicas

À toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance.

À mes encadrants à Mr. ZIARI Saber, et Mr.ATLILI Elhadi de mémoire, , pour leur guidance experte, leur soutien constant et leurs conseils éclairés tout au long de cette aventure académique.

À mes amis et camarades qui ont partagé ce chemin avec moi, pour leur précieuse amitié et leur encouragement mutuel.

À ma famille, pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements inlassables et leur amour qui m'ont permis de persévérer jusqu'au bout.

À tous ceux qui, par leur contribution directe ou indirecte, ont contribué à l'enrichissement de ce travail, je vous adresse mes sincères remerciements.

Ce mémoire est le fruit d'un travail collectif et de nombreux apports. Merci à chacun d'entre vous pour avoir rendu cette réalisation possible.

Rachida, Ammar, Haithem

Abstract

This research focuses on the comprehensive safety evaluation of the multiphase pump Leistritz series L4, an essential technology in industrial sectors for the efficient transport of gas-liquid mixtures and fluids containing solid particles. Structured into three parts, the document examines the operating principles of multiphase pumps, details the technical specifications and benefits of the Leistritz L4 pump in the second part, and deeply analyzes methods for evaluating its safety in the third part, including risk assessment, failure prevention strategies, and applicable standards. Availability analyses show that the parallel configuration offers the highest reliability, with a 90% availability, underscoring the importance of continuous evaluation to ensure optimal and safe operation of this pump in diverse industrial environments.

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'évaluation approfondie de la sécurité de la pompe multiphasique Leistritz série L4, une technologie essentielle dans les secteurs industriels pour le transport efficace de mélanges gaz-liquide et de fluides contenant des particules solides. Structuré en trois parties, le document examine les principes de fonctionnement des pompes multiphasiques, détaille les spécifications techniques et les avantages de la pompe Leistritz L4, puis analyse en profondeur les méthodes d'évaluation de sa sécurité, notamment l'évaluation des risques, les stratégies de prévention des défaillances et les normes applicables. Les analyses de disponibilité montrent que la configuration en parallèle offre la meilleure fiabilité, avec une disponibilité de 90%, soulignant l'importance d'une évaluation continue pour assurer le fonctionnement optimal et sécurisé de cette pompe dans divers environnements industriels.

المخلص

هذه المذكرة متمحورة حول التقييم الشامل لآمان مضخة ليستيريز الفارقة المتعددة المراحل من سلسلة ل4 ، التي تعد تقنية اساسية في القطاعات الصناعية لنقل خلائط الغاز و السائل و السوائل التي تحتوي على جسيمات صلبة بكفاءة. تنقسم المذكرة الى ثلاث وحدات ، حيث يتناول الجزء الاول مبادئ عمل المضخات المتعددة المراحل، و

Table des matières

I. Remerciement

II. Dédicas

III. Résumé

IV. Liste des figures

XI. Liste des tableau

I.1 Introduction générale 1

Chapitre I : Généralité sur les pompes multiphasique

I.1 Introduction..... 2

I.2 Historique des pompes multiphasiques 2

I.3 Définition de pompe multiphasique..... 3

I.4 Types de pompe multiphasique 4

I.5.1 Pompe multiphasique roto-dynamique 4

I.5.2 Pompe à déplacement positive 6

I.5.2.1 Pompe à cavité progressive (PCP) 6

I.6 Les avantages des pompes multiphasiques..... 10

I.7 Les applications de la pompe multiphasique..... 10

I.8 Les pompes à vis et systèmes Leistritz..... 10

I.9 Les composants du système multiphasique Leistritz (MGS) 11

I.10 Les comparaison entre les pompes à vis et système Leistritz..... 13

Chapitre II : La pompe multiphasique à double vis Liestritz série L4

II.1 Introduction 18

II.2 Description de pompe 18

II.3 Le principe de fonctionnement 23

II.4 La technologie de pompe multiphasique à double vis Liestritz..... 23

II.4.1 Technologie supérieure et conception intelligente 24

II.5.1 Le corps ou carcasse de pompe (Pump Casing) 27

II.5.2 Le chemise de pompe 27

II.5.3 Le rotor (vis) de pompe (Spindles) 28

II.5.4 L'engrenage de distribution (Timing Gears) 29

II.5.5 La garniture mécanique (<i>Mechanical Seal</i>)	29
II.5.6 Les roulements	30
II.5.7 Le système de Lubrifications	30
II.5.8 Le système gestion de liquide.....	32
II.6 Les avantages de la pompe Leistritz L4	33
II.7 Les applications de la pompe Leistritz L4.....	33
II.8 La maintenance de pompe multiphasique à double vis L4.....	34
II.8.1 Entretien et inspection	35
II.8.2 Précautions générales	35
Chapitre III : Évaluation de la sûreté de fonctionnement de pompe multiphasique	
Liestritz L4	
III.1 Introduction.....	40
III.2 Modèle de Weibull.....	40
III.2.1 Loi de fiabilité (Weibull).....	40
III.2.1.1 Signification des paramètres de wiebull	41
III.2.2 Étude de fiabilité de pompe multiphasique L4.....	43
III.4 Evaluation de la disponibilité de la pompe L4 par la Chaîne de Markov	52
III.4.1 Disponibilité élémentaire de la pompe L4.....	52
III.4.2 Disponibilité de système en série de la pompe L4.....	55
III.4.3 Disponibilité de système en parallèle de la pompe L4	56
III.5 Application numérique.....	57
III.6 Les résultats	58
III.7 Conclusion	59
Conclusion générale.....	60
Liste des références.....	61

Liste des figures

Figures I.1: de la pompe multiphasique dans le monde	3
Figure I.2: Les types des pompes multiphasiques	4
Figure I.3: Pompe multiphasique hélico centrifuge.....	5
Figure I.4: Pompe multicellulaire	6
Figure I.5: Pompe à cavité progressive (PCP)	7
Figure I.6: Pompe à double vis (Twin Screw)	8
Figure I.7: Système de pompe multiphasique.....	12
Figure II.1 : Pression de décharge et débit	23
Figure II.2: Technologie supérieure	24
Figure II.3: Compositions de pompe multiphasique L4.....	25
Figure II.4: Le corps et le chemise de pompe	28
Figure II.5: le rotor de pompe	28
Figure II.6: L'engrenage de distribution	29
Figure II.7: La garniture mécanique	30
Figure II.8: Les roulements	30
Figure II.9: système de Lubrifications	32
Figure II.10: Système gestion de liquide	33
Figure II.11: Utilisation de pompe L4 dans l'Algérie en onshore.....	34
Figure III.010 schéma de système en série	55
Figure III.13 : schéma de Markov de trois états.....	56

Liste des tableaux

Tableau I.1: Comparaison de deux types de pompe multiphasique	8
Tableau I.2 : Comparaison entre les pompes à vis et système Leistritz.....	13
Tableau II.1: Les performances de pompe L4.....	18
Tableau II.2 : Typographie, Code ; DESIG.....	18
Tableau II.3: Typographie, Code & Design de pompe L4NG/L4MG/L4HG	20
Tableau II.4: Typographie, Code & Design de pompe L4NC.....	21
Tableau II.5: Typographie, Code & Design de pompe L4NG/L4MG/L4HG	21
Tableau II.6: Typographie, Code & Design de pompe L4NT	22
Tableau II.7 : Les composants de pompe.....	25
Tableau II.8 : Le tableau de dépannage du paragraphe	35
Tableau III.1 : l'historique des pannes de la pompe	43
Tableau III.2 : temps de bon fonctionnement entre les pannes consécutives d'usure	44
Tableau III.3 : Valeurs nécessaires à l'ajustement graphique de Weibull	45
Tableau III.4 distribution de Wei bull : valeurs de coefficient a et b en fonction de forme	46
Tableau III.5 TEST DE KOLMOGOROV SMIRNOV	47
Tableau III.6 : Modèle de Weibull	48

Liste des symboles

$R(t)$: La fonction de fiabilité

$F(t)$: La fonction de défaillance

$f(t)$: La densité de probabilité

$\lambda(t)$: Le taux de défaillance

γ : Le paramètre de position

β : Le paramètre de forme

η : Le paramètre d'échelle

MTBF : Moyen de temp de bon fonctionnement (Means time between failures)

MTTR : : Moyen de temp de réparation (Mean time to repair)

MPP : Pompe multiphasique

GVF : Volume de gaz de fraction

D : La disponibilité

A (t) : La disponibilité de système

σ : L'écart type

μ : Le taux de défaillance

P_0 : Etat 0 représente une absence de panne de système

P_1 : Etat 1 représente une défaillance totale de système

P_2 : L'état d'un aucun composant ne fonctionne.

Introduction générale

Introduction générale

La pompe à vis Leistritz de la série L4 est une pompe volumétrique auto-amorçante à double vis et à double volute, conçue pour le transport de fluides complexes dans des environnements industriels exigeants. Cette technologie de pompage multiphasique est largement utilisée dans les secteurs pétrolier, chimique et pétrochimique, en raison de ses performances robustes et de sa fiabilité. Le mémoire se concentre sur l'évaluation approfondie de la sécurité de cette pompe Leistritz L4, structuré en trois parties principales : le premier chapitre examine les principes de fonctionnement et les différents types de pompes multiphasiques disponibles sur le marché, le deuxième chapitre se penche spécifiquement sur la conception, les composants, les spécifications techniques et les avantages de la pompe Leistritz L4, tout en évaluant ses performances opérationnelles et ses applications courantes, et le troisième chapitre, qui constitue le cœur de l'étude, analyse en détail les méthodes d'évaluation de la sécurité de cette pompe, notamment l'évaluation des risques potentiels, les stratégies de prévention des défaillances, ainsi que les normes de sécurité et réglementations applicables, avec des études de cas et des simulations envisagées pour illustrer les scénarios de défaillance et recommander des actions correctives. En conclusion, ce travail vise à approfondir la compréhension de la sécurité des pompes multiphasiques Leistritz série L4, soulignant l'importance cruciale d'une évaluation continue pour assurer leur fonctionnement optimal et sécurisé dans divers environnements industriels

Chapitre I

**Généralité sur les pompes
multiphasiques**

I.1 Introduction :

Les pompes multiphasiques ont révolutionné cette approche en générant une pression sur le flux non traité, réduisant ainsi la pression en tête de puits en production et compensant l'augmentation de la pression d'entrée due à la friction. Cette technologie permet d'améliorer le taux de récupération, réduisant le gaspillage des ressources naturelles. Les pompes multiphasiques, qu'elles soient rotodynamiques ou à déplacement positif, offrent une solution efficace pour maintenir un écoulement continu sans pulsation ni surpression, adaptée aux environnements avec des viscosités élevées et des fractions de gaz importantes. En rendant les champs marginaux économiques, le pompage multiphasique prolonge leur durée de vie et améliore leur récupération. La décision d'adopter cette technologie nécessite une évaluation approfondie des coûts, de la maintenance et de l'énergie, offrant des avantages significatifs pour l'exploitation pétrolière, notamment en eaux profondes, en surmontant les défis du traitement sous-marin. A fluide multiphasique est un mélange de plusieurs phases, généralement gaz, liquide et solide, qui circulent ensemble dans un système.

I.2 Historique des pompes multiphasiques :

Les pompes multiphasiques ont une histoire qui s'étend sur plusieurs décennies, leur développement étant motivé par la nécessité de trouver des solutions efficaces pour le transport de fluides complexes, tels que les mélanges de liquide et de gaz, dans des industries telles que le pétrole et le gaz. Avec l'expansion des activités pétrolières et gazières, notamment dans les années 1960 et 1970, avec l'essor des champs offshore et des régions éloignées, le besoin de pompes capables de traiter efficacement ces mélanges est devenu critique.

Au fil du temps, des progrès significatifs ont été réalisés dans la conception et la technologie des pompes multiphasiques. Les premiers prototypes, datant des années 1980, ont souvent rencontré des défis liés à la fiabilité et à l'efficacité, mais des recherches continues et des innovations techniques ont permis d'améliorer considérablement leurs performances. Les pompes multiphasiques sont devenues des équipements essentiels dans l'industrie pétrolière et gazière, offrant une alternative précieuse aux méthodes traditionnelles de séparation des phases avant le transport.

L'adoption à grande échelle des pompes multiphasiques s'est accélérée dans les années 1990 et au début du XXIe siècle, en réponse à la nécessité d'optimiser l'extraction et le transport des ressources énergétiques de manière plus efficace et économique. Cela a conduit à leur intégration généralisée dans diverses applications industrielles.

En parallèle, des avancées significatives ont été réalisées dans des domaines spécifiques de la pompe, telles que l'amélioration des performances thermiques et acoustiques des pompes à chaleur géothermiques en 2015, ou encore l'amélioration et l'intégration de méthodes d'affichage des performances en temps réel des pompes à chaleur en 2017. Ces avancées témoignent de l'évolution constante des technologies de pompage pour répondre aux besoins variés des industries et des applications spécifiques, le figure (I.Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.-1) représentant l'utilisation de la pompe multiphasique dans le monde.[1]

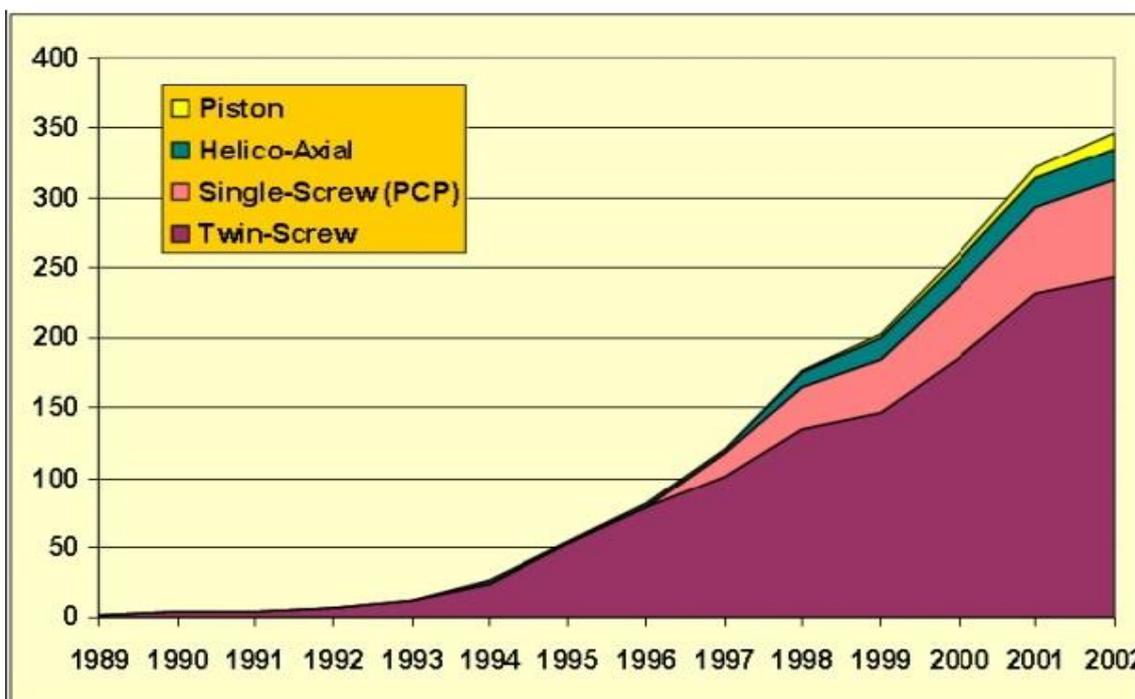


Figure I.1 : Graphique représentant l'utilisation de la pompe multiphasique dans le monde [2]

I.3 Définition de pompe multiphasique :

Une pompe multiphasique est un type de pompe utilisée pour transporter des fluides composés de plusieurs phases, comme un mélange de liquide et de gaz. Ce type de pompe est souvent utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière pour extraire et transporter le pétrole brut et le gaz naturel depuis les puits jusqu'aux installations de traitement. Les pompes multiphasiques sont conçues pour gérer efficacement les changements de composition et de propriétés du fluide en mouvement, ce qui les rend particulièrement adaptées aux applications où le fluide peut varier entre différentes phases au cours du processus de pompage. Elles permettent ainsi de transporter des mélanges complexes sans avoir à séparer les différentes phases au préalable, ce qui simplifie et optimise les opérations. [1]

I.4 Types de pompe multiphasique :

La pompe multiphasique manipule simultanément des fluides comportant plusieurs phases en utilisant différentes technologies. Les types de pompes suivants illustrent :

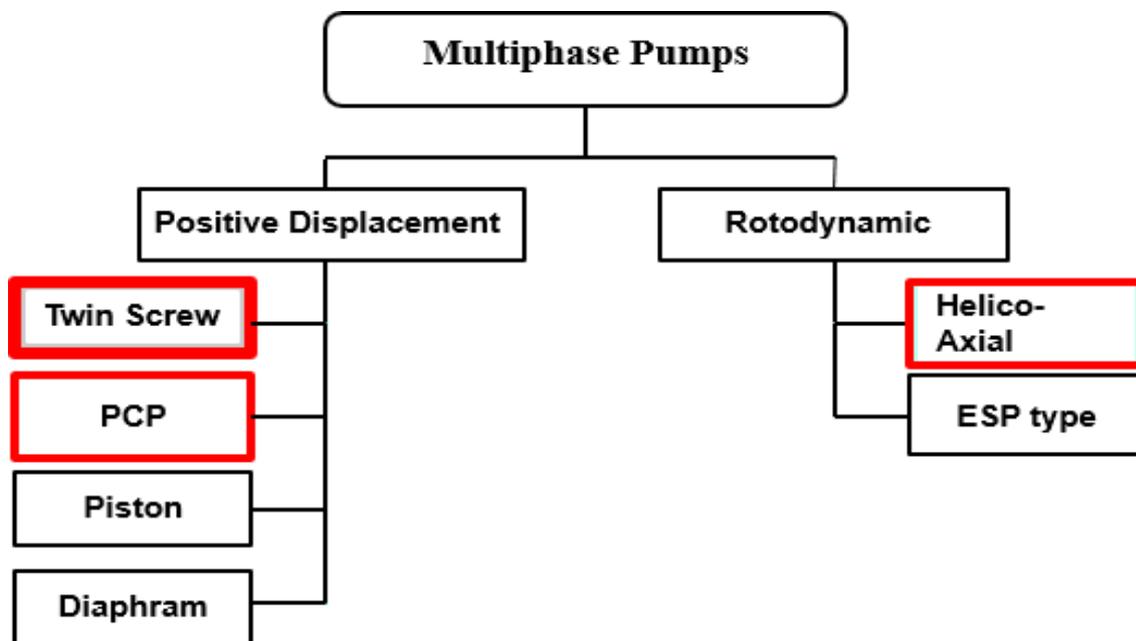


Figure I.2: Les types des pompes multiphasiques [3]

I.5.1 Pompe multiphasique roto-dynamique :

La pompe multiphasique roto dynamique est aspiré le fluide multiphasique axialement dans le rotor (la roue), le fluide est pousse radialement vers la périphérie de la roue en raison de la force centrifuge. Ce mouvement radial du fluide dans les canaux de la roue convertit l'énergie mécanique transmise par la roue en énergie de pression. Le fluide est ensuite évacué de manière radiale ou axiale dans la volute ou le diffuseur puit il est refoulé à haute pression. [4]

I.5.1.1. Pompe multiphasique hélico centrifuge :

La pompe multiphasique centrifuge se compose d'un certain nombre d'étages de surpression individuels, chacun étant constitué d'une roue montée sur un arbre de rotation unique, suivie d'un diffuseur fixe. La roue transmet de l'énergie cinétique au fluide, qui est convertie en pression dans le diffuseur.

Le diffuseur homogénéise le fluide et le redirige vers l'étage suivant de la roue. Ce mélange entre les étages empêche la séparation du mélange gaz-liquide, ce qui permet d'obtenir des caractéristiques pression-débit stables et une efficacité globale accrue.

Les pales de la roue ont une forme hélicoïdale typique, et le profil de la roue de type ouvert ainsi que la disposition des pales du diffuseur sont spécifiquement conçus pour empêcher la séparation du mélange multiphasique à l'intérieur de la pompe.

Les capacités de pompage de cette pompe dépendent du taux de gaz (GVF) à l'aspiration, de la pression d'aspiration, de la vitesse, du nombre d'étages de la roue et de la taille de la roue.[5]

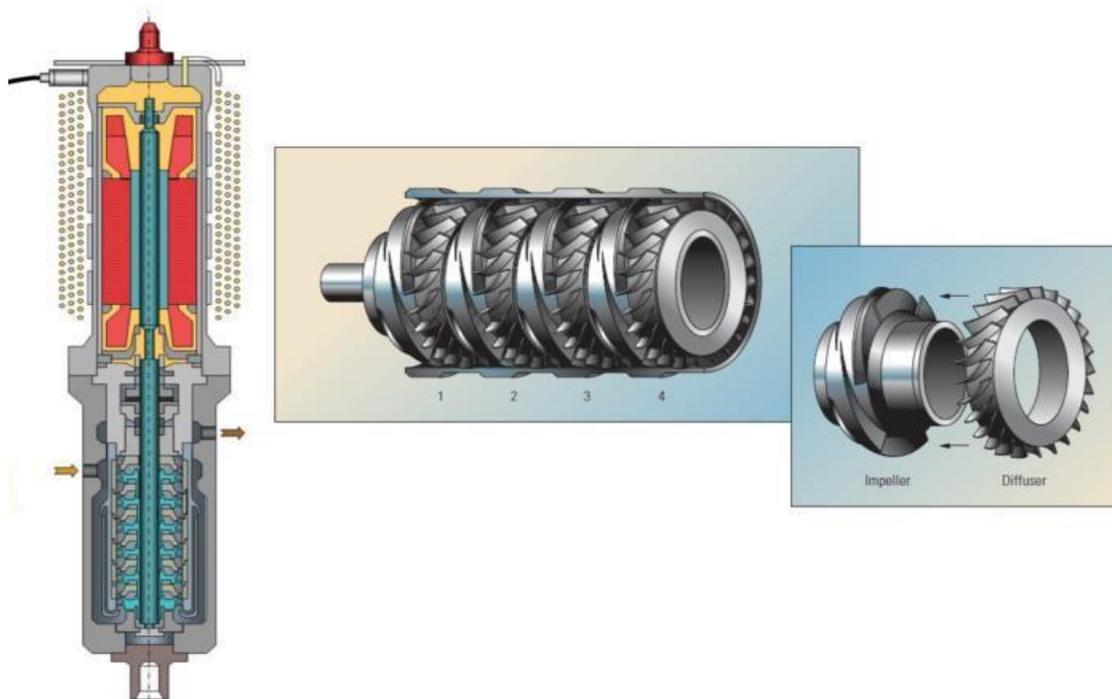


Figure I.3: Pompe multiphasique hélico centrifuge [6]

I.5.1.2. Pompe centrifuge multicellulaire :

La pompe hélico-axiale, développée par le Groupe Poséidon et actuellement produite par des entreprises telles que Framo (Leistritz) et Sulzer, est conçue pour un écoulement horizontal à travers plusieurs étages de pompe comprenant des impulsions hélicoïdales et des diffuseurs stationnaires. Cette pompe est particulièrement efficace pour le transport de gaz, démontrant de hautes performances dans le traitement d'écoulements multiphasiques. Sa conception permet un fonctionnement stable, même en présence de conditions variables telles que des transitoires ou des risques de colmatage. Les étages de flux axial spécifiquement adaptés initient le processus de pompage principal et dirigent le mélange gaz-liquide à travers les différents étages. Le système Poseidon assure une compression du volume de gaz pour optimiser le rendement de la pompe. [5]



Figure I.4: Pompe multicellulaire [7]

I.5.2 Pompe à déplacement positive :

Le volume de vide dans la chambre de pompage permet l'aspiration du fluide à l'intérieur de cette chambre en raison de la différence de pression. Le fluide est ensuite expulsé en réduisant le volume de la chambre. La différence de pression de la pompe dépend de la résistance rencontrée par le débit à sa sortie, ce qui influence les performances de ce type de pompe. [8]

I.5.2.1 Pompe à cavité progressive (PCP) :

Les pompes à vis excentrique, aussi appelées mono-vis, sont des pompes volumétriques constituées d'un rotor hélicoïdal en acier inoxydable couplé à un stator en caoutchouc vulcanisé. Elles fonctionnent sur le principe suivant :

Lorsque le rotor tourne à l'intérieur du stator, des chambres se forment et se remplissent de fluide. Ce fluide progresse alors du côté aspiration vers le côté refoulement de la pompe. La ligne d'étanchéité continue entre le filetage du rotor et celui du stator maintient un mouvement régulier du fluide, à un débit fixe proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe.[8]

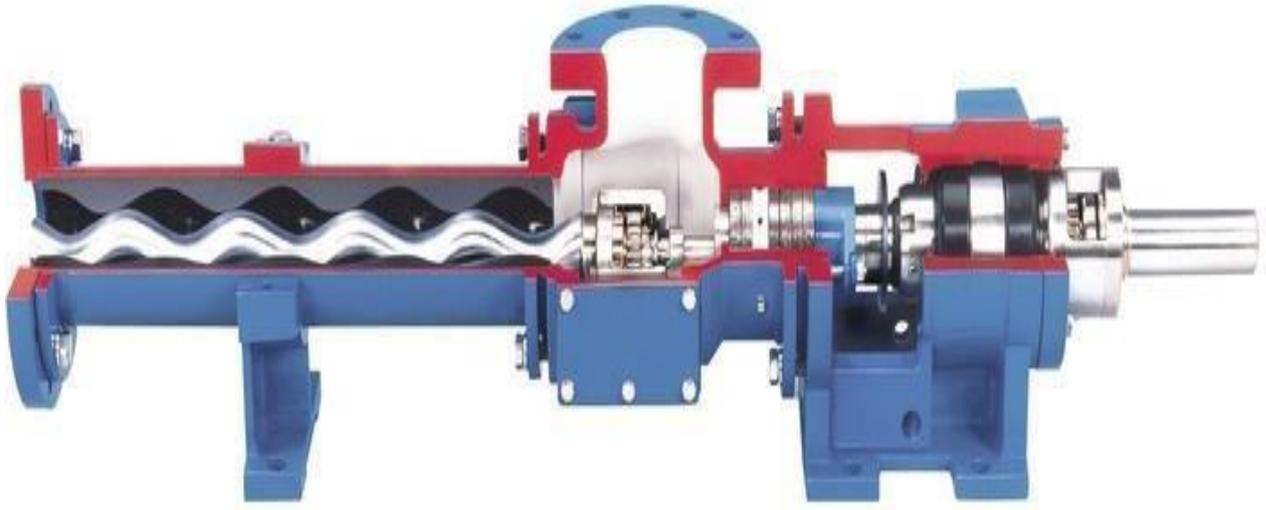


Figure I.5: Pompe à cavité progressive (PCP) [8]

Ces pompes sont utilisées pour transporter des produits liquides, visqueux, délicats, abrasifs ou contenant des matières solides en suspension. Elles délivrent un débit constant et peuvent atteindre des pressions maximales de 24 bars et des débits allant jusqu'à 160 m³/h.

Elles présentent l'avantage d'être auto-amorçantes, de fonctionner à bas régime et de maintenir de bons rendements sur une large plage de vitesses, pouvant atteindre 75-80% dans des conditions optimales d'installation.

I.5.2.2 Pompe à double vis (Twin Screw) :

Le fluide est divisé en deux entrées situées de part et d'autre de la pompe, ce qui permet d'équilibrer les contraintes liées à l'engorgement. Le fluide transporté traverse une chambre créée par les vis jumelées d'alimentation qui s'engrènent l'une dans l'autre et se déplace axialement sur la longueur des vis jusqu'à la sortie située en haut de la pompe. Le débit volumétrique pompé dépend du pas, du diamètre et de la vitesse de rotation des vis. [8]

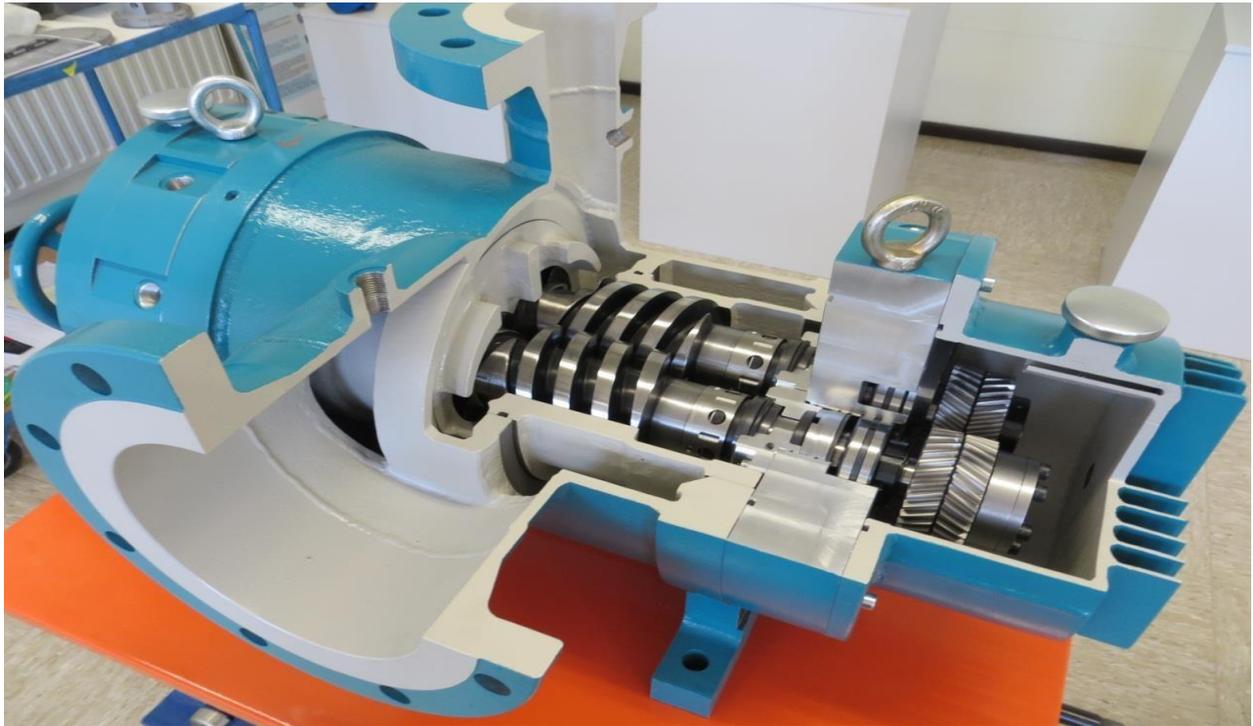


Figure I.6: Pompe à double vis (Twin Screw) [9]

Tableau I.1: Comparaison de deux types de pompe multiphasique [5], [10]

Caractéristique	Pompes à déplacement positif	Pompes roto-dynamiques
Exemple	Pompe à double vis	Pompe centrifuge multicellulaire
Principe de fonctionnement	Le principe de fonctionnement d'une pompe multiphasique à piston repose sur l'utilisation d'un piston pour déplacer un mélange de fluides et de gaz, générant ainsi une pression pour propulser le mélange à travers le système. L'action du piston est contrôlée par un moteur, modulant la pression	Le principe de fonctionnement d'une pompe multiphasique multicellulaire repose sur l'assemblage de plusieurs turbines centrifuges en série, où chaque étage augmente la pression du liquide, permettant de générer des pressions importantes pour des encombrements réduits. Le passage successif du fluide à

	de sortie en fonction de la pression d'air d'entraînement.	travers ces turbines accroît progressivement la vitesse et la pression du mélange multiphasique.
Débit	Proportionnel à la vitesse de rotation et au pas des vis	Dépend du GVF, de la pression d'aspiration, de la vitesse, du nombre d'étages et de la taille des roues
Pression	Jusqu'à 40 bar	Jusqu'à 150 m
Viscosité des fluides	Peuvent pomper des fluides très visqueux	Moins adaptées aux fluides très visqueux
Fraction de gaz (GVF)	Fonctionnent bien avec des GVF élevés	Fonctionnent mieux avec des GVF modérés
Vitesse de rotation	Plus basse que les pompes roto-dynamiques	Plus élevée que les pompes à déplacement positif
Entraînement	Couple constant requis	Vitesse variable possible
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Débit constant - Bon rendement sur une large plage de vitesses - Auto-amorçâtes 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélange entre les étages empêchant la séparation gaz-liquide - Conception spécifique pour éviter la séparation dans la pompe

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Usure des vis et du stator avec les fluides abrasifs - Sensibles aux particules solides 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement plus faible que les pompes à déplacement positif
---------------	--	--

I.6 Les avantages des pompes multiphasiques :

- Centralisation du traitement : La pompe permet de transférer le flux du puits vers un centre de traitement unique, éliminant ainsi le besoin d'installations multiples.
- Réduction des coûts : Cette centralisation entraîne une diminution significative des dépenses en capital et des coûts opérationnels
- Augmentation de la production : La pompe offre une pression d'écoulement fiable en tête de puits, accélérant ainsi la production et permettant un déblocage des débits
- Flexibilité et fiabilité : Sa conception robuste assure un fonctionnement souple et fiable, même dans des conditions variables
- Bénéfices environnementaux : L'utilisation de la pompe permet d'éliminer le torchage et le dégazage, réduisant ainsi considérablement les émissions de carbone
- Gestion des fluides complexes : La pompe est capable de transporter simultanément des fluides à haute viscosité, améliorant le débit global et l'écoulement
- Applications offshore : Cette technologie est adaptée aux installations en mer et aux puits en eau profonde, permettant une augmentation de la production depuis le fond marin. [11]

I.7 Les applications de la pompe multiphasique :

- Les pompes multiphasiques Leistritz sont spécialement conçues pour fonctionner dans divers environnements exigeants, tels que les installations offshore, onshore et sous-marines. Elles sont disponibles en versions haute pression et basse pression, offrant ainsi une grande polyvalence pour une variété d'applications.
- Ces pompes robustes sont particulièrement adaptées pour gérer une large gamme de viscosités d'huile et d'émulsions, ainsi que des écoulements présentant un ratio gaz-huile (GOR) élevé. Leur conception innovante leur permet de faire face à des conditions d'écoulement difficiles, comme les écoulements en bouchon, sans compromettre les opérations.
- Un avantage clé de ces pompes est leur capacité à gérer des fractions volumiques de gaz (GVF) élevées et des gaz humides grâce à un système de recirculation des liquides intégré. Ce système

permet d'éliminer efficacement la chaleur générée lors du pompage, éliminant ainsi le besoin de refroidisseurs de process dédiés. [12]

I.8 Les pompes à vis et systèmes Leistriz :

Leistriz Pumpen GmbH, dont le siège est à Nuremberg en Allemagne, produit des pompes à vis depuis 1924. La technologie la plus récente associée à une qualité strictement contrôlée constitue la base des produits Leistriz reconnus mondialement pour leur efficacité et leur fiabilité. Avec la gamme la plus large de pompes à vis, Leistriz dessert tous les types de marchés et d'applications. [13]

I.9 Les composants du système multiphasique Leistriz (MGS) :

Le système de collecte multiphasique Leistriz (MGS) est une version évolutive entièrement automatisée du MWS, conçue pour gérer la production de plusieurs puits et traiter des débits totaux allant jusqu'à 550 000 bpde ainsi que des pressions jusqu'à 1400 psi se compose de :

- Pompe multiphasique Leistriz
- Système d'huile de joint, plan API 53B (2 par pompe) ou 54 (selon la taille)
- Système d'huile de lubrification, API 614 (selon la taille)
- Moteur électrique à régime variable (1800 tr/min)
- Accouplement d'espacement et garde
- Plaque de base (Skid) en acier structurel avec rebord surélevé et drain commun (montage sur fondation)
- Tuyauterie d'aspiration avec crépine et vanne d'isolation manuelle
- Tuyauterie de refoulement avec botte d'élimination des liquides, clapet de non-retour, vanne d'isolation manuelle et soupape de décharge à flux total (raccordée à l'aspiration)
- Tuyauterie de dérivation avec clapet de non-retour
- Instrumentation (référence au PID applicable) et câblage sur skid jusqu'à la boîte de jonction
- Réservoir de collecte des drains de joint avec surveillance
- VFD et PLC (livrés séparément pour montage et câblage dans une enceinte climatisée par d'autre.

[14]

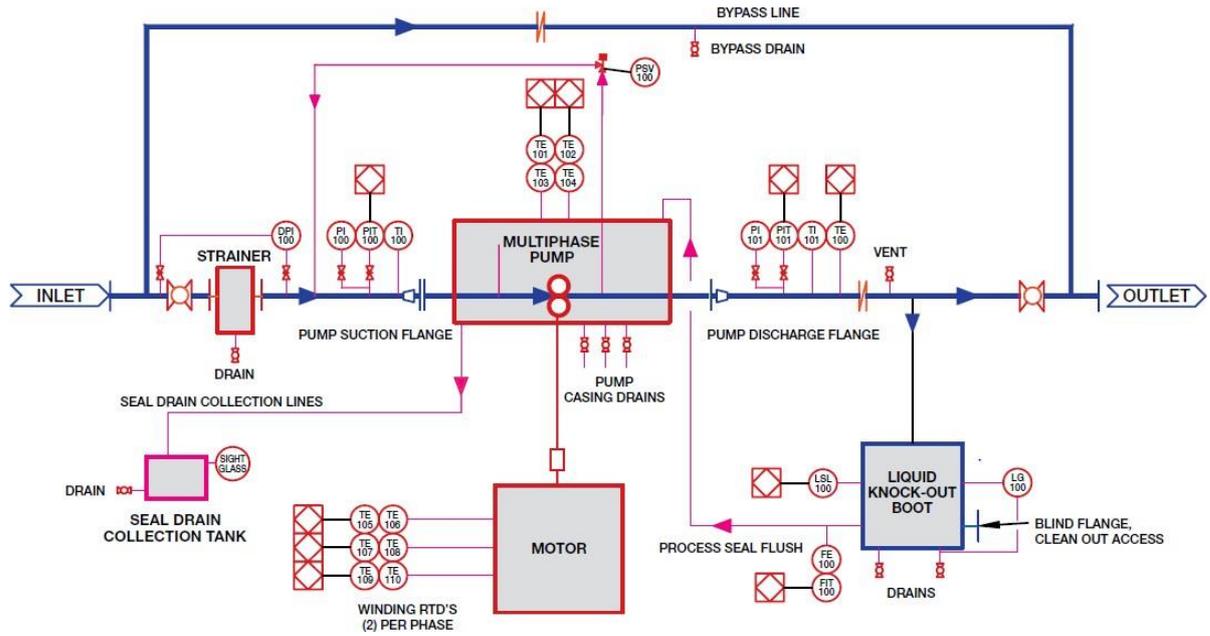
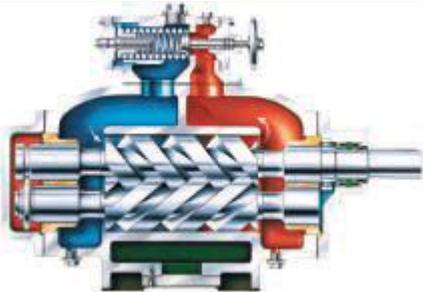
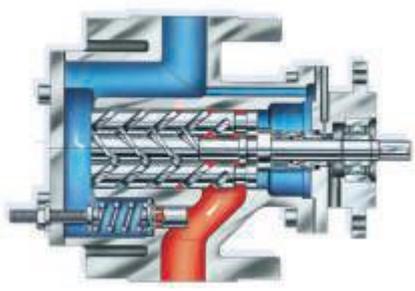
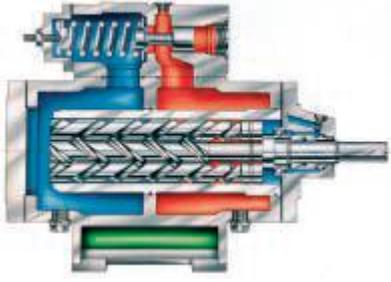
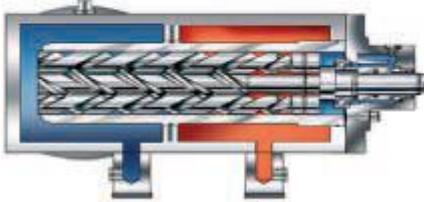
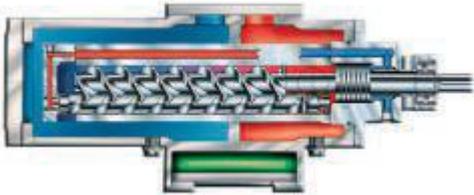


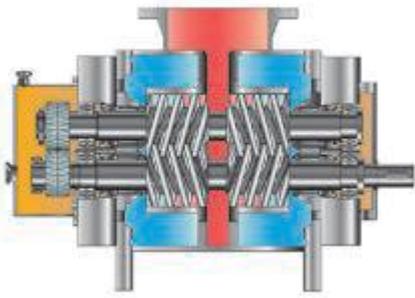
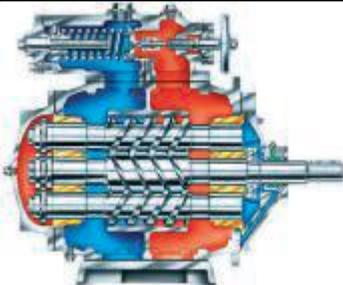
Figure I.7: Système de pompe multiphasique [15]

I.10 Les comparaison entre les pompes à vis et système Leistritz :

Tableau I.2 : Comparaison entre les pompes à vis et système Leistritz [16]

Série	Utilisation pour	Pompe à vis Leistritz	Données de performance maximale			
			Capacité	Pression différentielle	Viscosité	Température de pompage
L2	Devoir à basse pression, adapté au transport de fluides légèrement abrasifs et corrosifs, de fluides à haute ou basse viscosité avec une lubrification faible ou bonne		900 m ³ /h [3.960gpm]	16 bar [232psi]	100.000cSt	280°C [536°F]
L3M	Devoir à basse pression, adapté au transport de fluides lubrifiants non abrasifs		700 m ³ /h [3.100gpm]	16 bar [232psi]	15.000cSt	180°C [356°F]

<p>L3M</p>	<p>Devoir à pression moyenne, adapté au transport de fluides lubrifiants non abrasifs</p>		<p>300 m³/h [1.320gpm]</p>	<p>80 bar[1.160psi]</p>	<p>10.000cSt</p>	<p>280°C [536°F]</p>
<p>L3H</p>	<p>Devoir à haute pression, adapté au transport de fluides lubrifiants non abrasifs</p>		<p>200 m³/h [880gpm]</p>	<p>160 bar[2.320psi]</p>	<p>10.000cSt</p>	<p>280°C [536°F]</p>
<p>L3V/U</p>	<p>Devoir à ultra haute pression adapté au transport de fluides légèrement abrasifs et corrosifs, à viscosité élevée ou faible, avec une lubrification faible ou bonne</p>		<p>180m³/h [792gpm]</p>	<p>280 bar[4.060psi]</p>	<p>1.000cSt</p>	<p>280°C [536°F]</p>

<p>L4</p>	<p>Faible, moyenne et haute pression de service, adapté au transport de fluides abrasifs/non abrasifs, corrosifs/non corrosifs, lubrifiants/non lubrifiants, à viscosité élevée ou faible</p>		<p>5.000m³/h [22.000gpm]</p>	<p>150bar[2.175psi]</p>	<p>150.000cSt</p>	<p>350°C [662°F]</p>
<p>L5</p>	<p>Faible pression de service, adapté au transport de fluides légèrement abrasifs et corrosifs, à viscosité élevée ou faible, avec une faible ou bonne lubrification</p>		<p>1.700m³/h [75.00gpm]</p>	<p>10 bar[145psi]</p>	<p>100.000cSt</p>	<p>280°C [536°F]</p>

Chapitre II

Les pompes multiphasiques à double vis Liestritz série

L4

II.1 Introduction :

Les pompes multiphasiques à double vis Liestritz sont des équipements spécialisés conçus pour traiter simultanément le pétrole, le gaz et l'eau dans leur état mixte naturel. Contrairement aux pompes monophasées traditionnelles, ces pompes peuvent gérer les proportions variables d'huile, de gaz et d'eau dans l'écoulement multiphasique. Elles jouent un rôle crucial dans l'optimisation des coûts opérationnels et la préservation de l'intégrité des infrastructures pétrolières en éliminant le besoin de séparateurs individuels pour chaque groupe de têtes de puits. Les pompes Liestritz sont adaptées pour pomper des fluides gazeux, visqueux et sablonneux, offrant des performances stables malgré les variations de viscosité et de pression. Grâce à la technologie brevetée de pompe à cavité progressive à régulation hydraulique, ces pompes peuvent traiter des teneurs en gaz libre allant jusqu'à 99% à l'entrée, tout en conservant les avantages des pompes à vis excentrées.

II.2 Description de pompe :

Les pompes à vis Liestritz de la série L4 : sont des pompes à double spirale à double vis, auto-amorçâtes et à déplacement positif, adaptées aux charges à basse, moyenne et haute pression. Elles conviennent au transport de fluides abrasifs/non abrasifs, corrosifs/non corrosifs, lubrifiants/non lubrifiants, à haute ou basse viscosité. [17]

Tableau II.1: Les performances de pompe L4 [17]

Les performances	
La capacité	Max. 5,000 m³/h (22,000GPM)
Pression différentielle	Max. 150 bar (2,175 psi)
La viscosité	Max. 150,000 cSt
La température de la pompe	Max. 350°C (662°F)

Tableau II.2 : Typographie, Code ; DESIG [18]

Type de pompe															
		Nombre de broche			Pression plages				Conception						
Leistritz		Jeu de 4 broches			Basse pression	Pression moyen	Haute pression		Corp de pompe		Conception compacte	Sans insert		Semi submersible	
L		4			N	M	H		G	C	O		T		
Taille de pompe															
Vis d'entraînement OD															
Options de conception de code															
P a l i e r	Montage			Chauffage			Sur bride montage		Entrée – Sortie				Soupape de décharge		
	Roulement à rouleaux	Pied de montage	Montage sur bride	Socle de montage	Sans chauffage	Chambre de chauffage	Veste chauffante	Bride de montage : Petites	Bride de montage : Grande	Tube plongeur	En ligne	Décalé	Côté de haute en bas	Sans vanne	Vanne montée sur le dessus - à bride
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	I
Joint d'étanchéité															

Etanchéité de l'arbre : garniture mécanique	Etanchéité de l'arbre : trempe à la vapeur	Emballage
G	Q	S

Tableau II.3: Typographie, Code & Design de pompe L4NG/L4MG/L4HG [18]

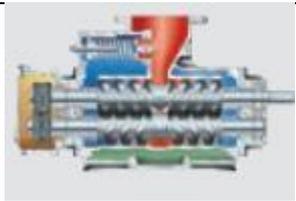
Type de pompe : L4NG/L4MG/L4HG															
		Nombre de Broche			Pression plages			Conception							
L	4			N	M	H	G	C	T						
L	4			N	M	H	G	C	T						
L	4			N	M	H	G	C	T						
Vis d'entraînement OD															
116	135	150	176	220	260	310	345	405	450						
106	126	140	164	200	240	280	330	365	410						
100	116	128	128	186	220	256	295	330	365						
Options de conception de code															
Palier		Montage		Chauffage			Sur bride montage		Entrée – Sortie			Soupape de décharge			
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	I
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	I
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	I
Joint d'étanchéité															
G				Q				S							
G				Q				S							

G	Q	S
---	---	---

Tableau II.4: Typographie, Code & Design de pompe L4NC [18]

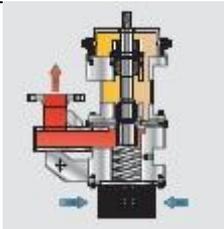
 <p>Type de pompe : L4NC</p>														
	Nombre de Broche			Pression plages			Conception							
L	4			N	M	H	G	C	T					
Vis d'entraînement OD														
135	172	230	295	345	395	455								
Options de conception de code														
Palier	Montage			Chauffage			Sur bride montage		Entrée – Sortie			Soupape de décharge		
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A
Joint d'étanchéité														
G				Q				S						

Tableau II.5: Typographie, Code & Design de pompe L4NG/L4MG/L4HG [18]

 <p>Type de pompe : L4NO</p>													
	Nombre de Broche			Pression plages			Conception						
L	4			N	M	H	G	C	T				
Vis d'entraînement OD													
126	164	230	212	256									

Options de conception de code															
Palier	Montage			Chauffage			Sur bride montage		Entrée – Sortie				Soupape de décharge		
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	I
Joint d'étanchéité															
G				Q				S							

Tableau II.6: Typographie, Code & Design de pompe L4NT [18]

Type de pompe L4NT 															
L	Nombre de Broche			Pression plages			Conception								
	4			N	M	H	G	C	T						
Vis d'entraînement OD															
96			140			186			240						
Options de conception de code															
Palier	Montage			Chauffage			Sur bride montage		Entrée – Sortie			Soupape de décharge			
A	H	F	S	O	H	M	K	G	T	I	V	R	O	A	
Joint d'étanchéité															
G				Q				S							

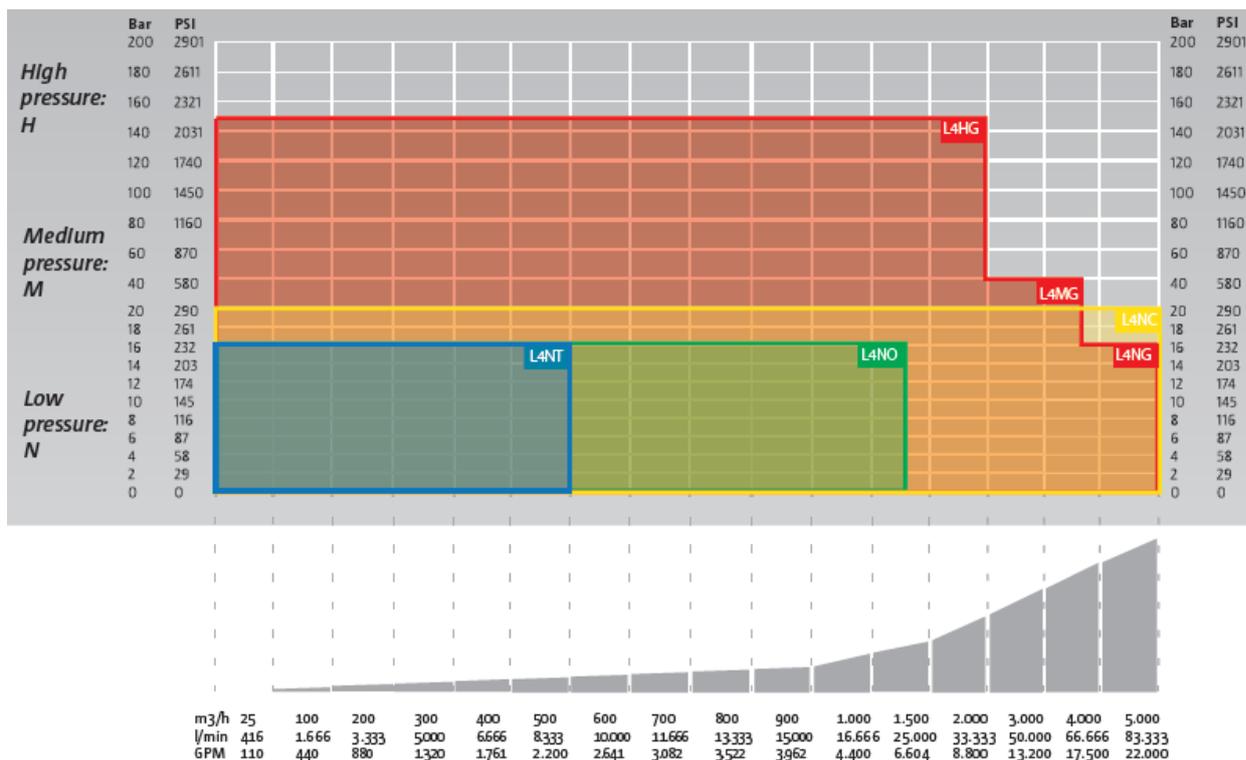


Figure II.1 : Pression de décharge et débit [18]

II.3 Le principe de fonctionnement :

Pompe à vis auto-amorçant avec deux vis dans une double volute et un design équilibré hydrauliquement. Le couple d'entraînement est transmis de la vis d'entraînement à double hélice à la vis d'entraînement également en double hélice via des engrenages en chevron. Les vis tournent en étroite synchronisation mais sans contact dans le trou de broche de l'insert de carter de pompe interchangeable. En raison de la géométrie spéciale du profil, des cavités étanches sont formées, ce qui transporte le liquide pompé de manière continue avec peu de cisaillement et sans turbulences des deux chambres d'aspiration axialement vers la chambre de refoulement. Pour une résistance optimale et une faible déviation de l'arbre, la vis d'entraînement et la vis de renvoi sont fabriquées à partir d'une seule pièce de barre métallique. [12]

II.4 La technologie de pompe multiphasique à double vis Liestritz :

La technologie de la pompe multiphasique à double vis Liestritz :

- Conception hydrauliquement équilibrée pour réduire les vibrations et le bruit
- Double vis en double volute permettant une répartition uniforme des forces hydrodynamiques
- Débit axial uniforme, idéal pour les fluides sensibles au cisaillement

- Capacité d'aspiration élevée avec des valeurs NPSH très faibles, permettant un fonctionnement efficace avec une hauteur d'aspiration réduite
- Polyvalence pour pomper une variété de fluides, y compris des liquides à viscosité élevée ou faible
- Capable de fonctionner avec des fractions volumiques de gaz (GVF) allant jusqu'à 100%
- Débit allant jusqu'à 5000 m³/h et différentiels de pression jusqu'à 150 bar. [19]

II.4.1 Technologie supérieure et conception intelligente :

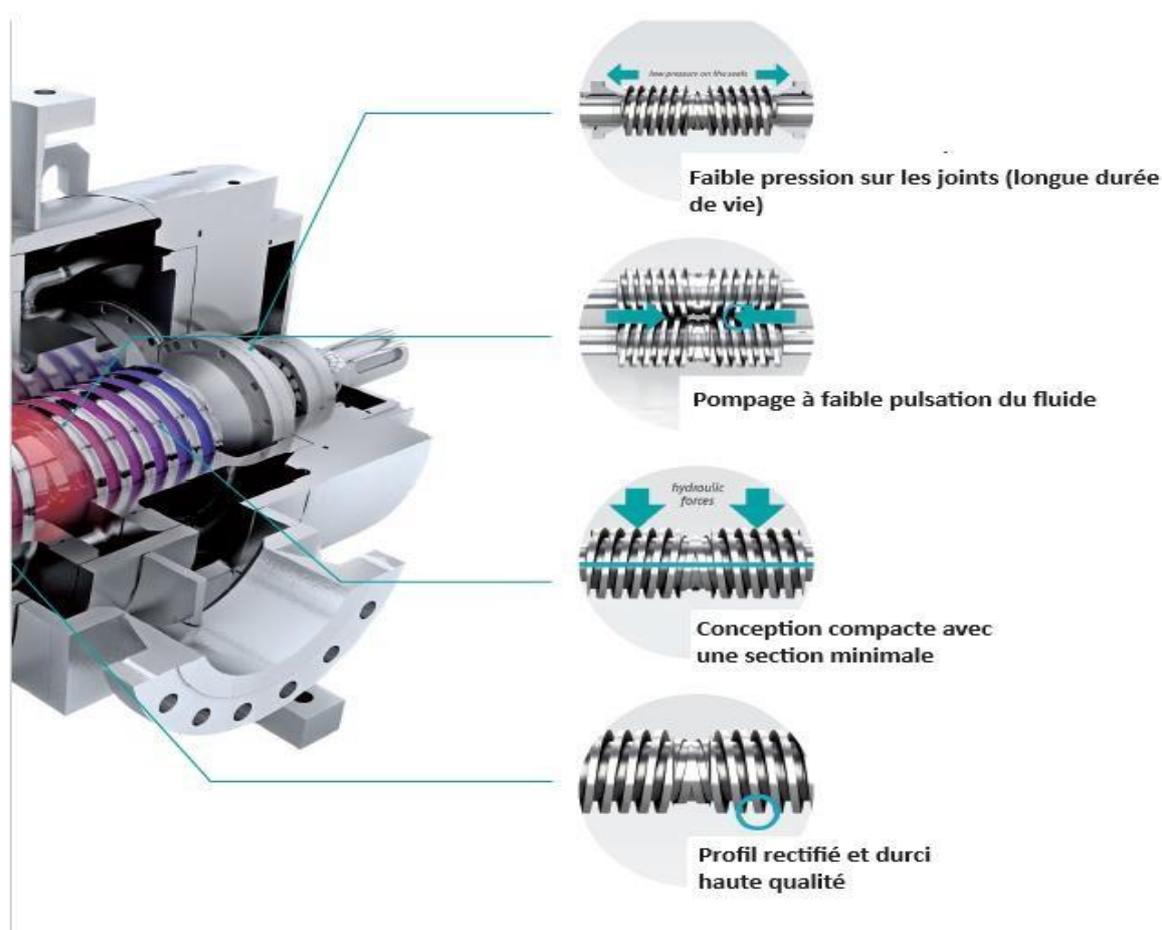


Figure II.2: Technologie supérieure [18]

II.5 Les composants de la pompe :

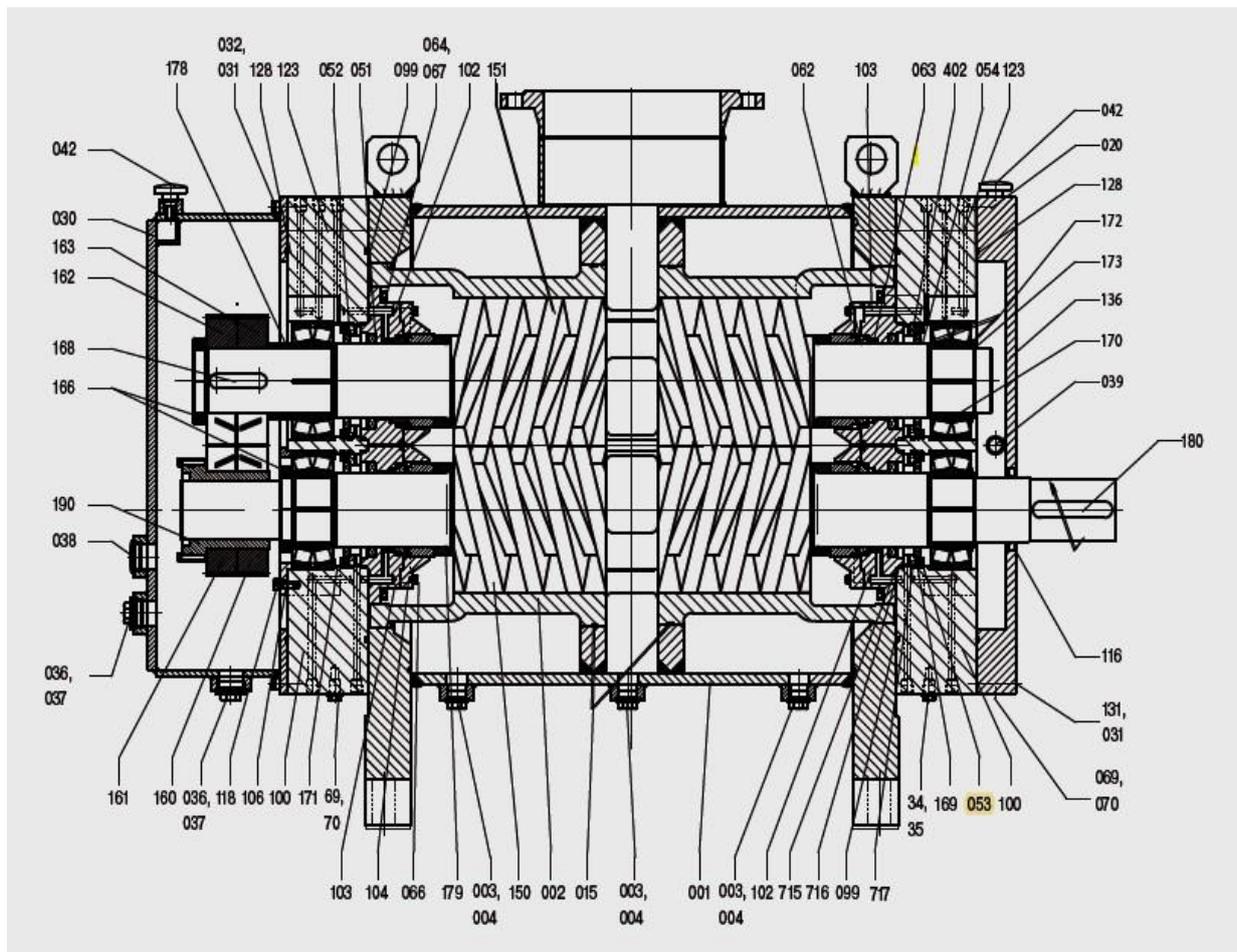


Figure II.3: Compositions de pompe multiphasique L4 [20]

Tableau II.7 : Les composants de pompe [20]

Pos	Désignation	Pos	Désignation
1	Boîte de pompe	106	Bague de serrage
2	Insert de boîtier	116	Joint d'arbre (étanchéité)
3	Vis	118	Vis de fixation
4	Bague d'étanchéité	123	Vis de fixation
15	Joint torique	128	Joint torique
20	Goupille cylindrique	131	Vis de fixation
30	Couvercle de boîte de vitesse	136	Couvercle de roulement, côté entraînement

31	Goupille cylindrique	150	Broche d'entraînement
32	Vis de fixation	151	Broche en marche
36	Vis	160	Roue dentée, broche mobile, droite
37	Bague d'étanchéité	161	Roue dentée, broche mobile, gauche
38	Regarde d'huile	162	Roue dentée, broche mobile, droite
39	Regarde d'huile	163	Roue dentée, broche mobile, gauche
42	Filtre à air	166	Écrou couronne (écrou de château)
51	Joint d'arbre (Bague d'étanchéité d'arbre)	168	Clé
52	Joint d'arbre (Bague d'étanchéité d'arbre)	169	Goupille cylindrique
53	Circlips	170	Roulement à rouleaux
54	Circlips	171	Disque de support
61	Passe-Fédération	172	Disque de support
62	Garniture mécanique	173	Circlip
64	Goupille cylindrique	178	Bague d'espacement
66	Vis de fixation	179	Bague d'espacement

67	Vis de fixation	180	Clé
69	Bague d'étanchéité	190	Dispositif de serrage
70	Vis	402	Boîtier de joint(étanchéité)
71	Vis	438	Regard d'huile
99	Joint torique	715	Joint torique
100	Logement de palier	716	Joint torique
102	Boîtiers joint (d'étanchéité)	717	Joint torique
103	Boîtiers joint (d'étanchéité)		

II.5.1 Le corps ou carcasse de pompe (Pump Casing) :

La carcasse de pompe multiphasique à double vis est un élément essentiel des systèmes de pompage utilisés dans les industries pétrolières. Fabriquée principalement en acier inoxydable ou en acier duplex, cette pièce est d'assurer une robustesse exceptionnelle et une résistance aux pressions et aux contraintes mécaniques élevées. Sa conception est souvent personnalisée selon les besoins spécifiques de chaque application, réalisée par moulage ou soudage de pièces individuelles. La carcasse abrite les composants critiques de la pompe, tels que les vis, les roulements et les joints d'étanchéité, assurant ainsi une performance sans fuite. Un aspect crucial de sa conception est son accessibilité et sa facilité de maintenance. Elle est équipée de connexions permettant un nettoyage efficace et des réparations rapides. De plus, elle est généralement équipée de brides conformes aux normes ANSI et DIN, facilitant son intégration avec d'autres composants du système de pompage. [21]

II.5.2 Le chemise de pompe :

Les chemises de la Pompe Multiphasique à Double Vis Liestritz Série L4 sont remplaçables, ce qui facilite l'entretien et la maintenance de la pompe. Elles sont coulées. De plus, les chemises peuvent être facultativement revêtues d'un matériau résistant à l'usure, tel que du chrome haute densité ou un

revêtement en Stellite. Ceci augmente la durée de vie de la pompe, notamment lorsqu'elle est utilisée pour pomper des fluides abrasifs ou corrosifs. [21]



Figure II.4: Le corps et le chemise de pompe [22]

II.5.3 Le rotor (vis) de pompe (Spindles) :

Les rotors, également appelés vis hélicoïdales, sont essentiels au fonctionnement des pompes multiphasiques à double vis. Les rotors sont résistants à l'usure et un fonctionnement en douceur. Fabriqués en acier traité, trempé ou nitruré pour une dureté maximale, ils peuvent également être revêtus de carbure de tungstène ou de stellite pour une durée de vie prolongée. Leur conception monobloc assure une rigidité optimale, nécessaire pour maintenir des tolérances serrées entre les rotors et le stator de la pompe. La disposition côte à côte des rotors favorise une excellente lubrification des roulements et des joints, réduisant ainsi l'usure et les frottements pour un fonctionnement fluide et silencieux de la pompe. Les rotors des pompes multiphasiques à double vis sont cruciaux pour le pompage de fluides complexes et leur conception soignée garantit fiabilité, efficacité et durabilité élevées. [21]



Figure II.5: le rotor de pompe [22]

II.5.4 L'engrenage de distribution (Timing Gears) :

Les engrenages de distribution dans une pompe multiphasique à double vis jouent un rôle crucial dans la transmission efficace de la puissance. Ils assurent une distribution uniforme du fluide à l'intérieur de la pompe, contribuant à son fonctionnement fluide et efficace. Ces engrenages garantissent un transfert de puissance optimal entre les vis hélicoïdales de la pompe, permettant un déplacement précis et efficace des fluides multiphasiques. Leur synchronisation précise maintient un débit constant et une pression stable lors du pompage. De plus, ils peuvent faciliter la lubrification du système et intégrer un système de refroidissement à l'huile pour maintenir une température optimale dans des conditions de fonctionnement exigeantes. [21]

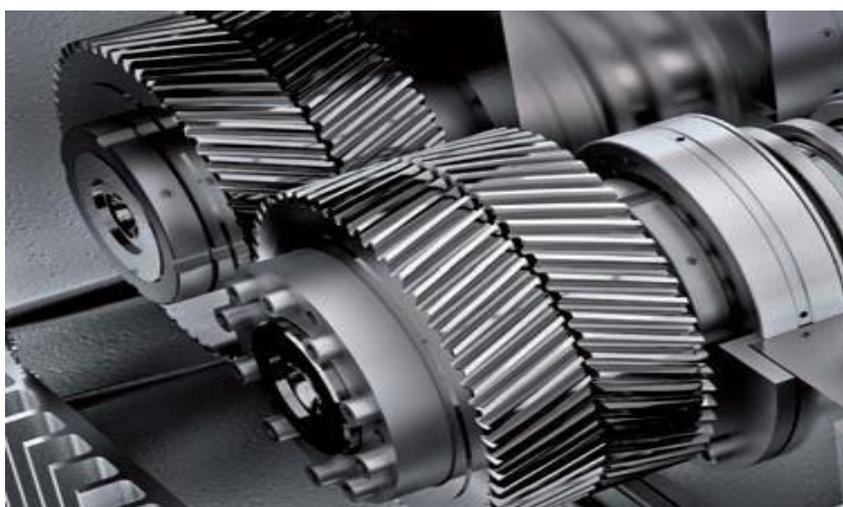


Figure II.6: L'engrenage de distribution [21]

II.5.5 La garniture mécanique (*Mechanical Seal*) :

La garniture mécanique dans une pompe multiphasique à double vis est essentielle pour maintenir l'étanchéité du système et éviter les fuites de fluide. Son rôle est crucial pour assurer un fonctionnement fluide et efficace de la pompe, en empêchant les pertes de fluide entre l'arbre et le boîtier. Composée de joints d'étanchéité et de surfaces de frottement, elle maintient une pression appropriée à l'intérieur de la pompe. La lubrification à l'huile peut réduire les frottements et garantir un fonctionnement optimal, et un système de refroidissement peut être intégré pour maintenir une température idéale. [21]

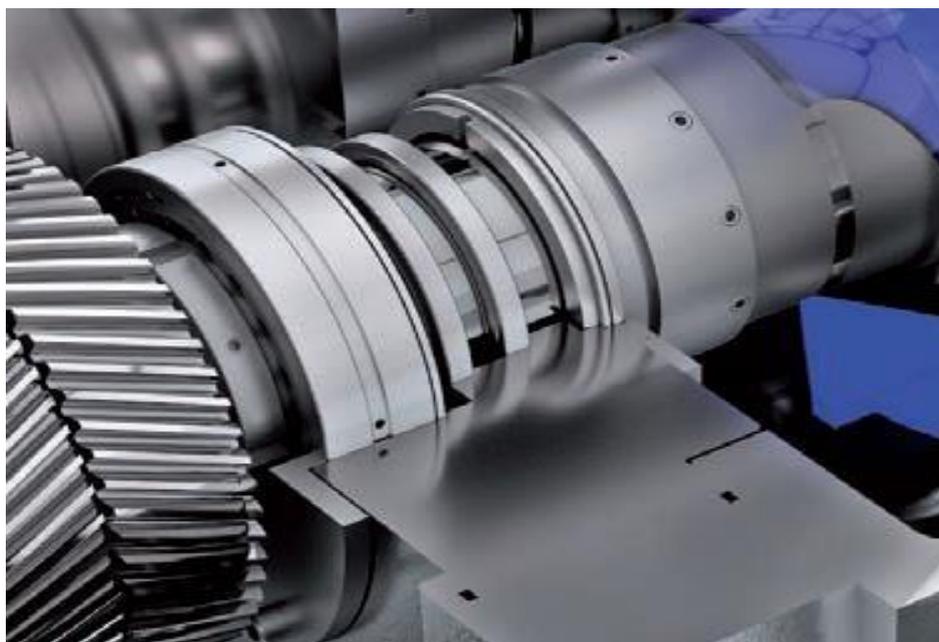


Figure II.7: La garniture mécanique [21]

II.5.6 Les roulements :

Les roulements dans une pompe multiphasique à double vis sont essentiels pour assurer un fonctionnement fluide et efficace en soutenant les éléments rotatifs. Les roulements supportent les charges axiales et radiales, ils permettent un mouvement sans à-coups des vis hélicoïdales et des engrenages de transmission. Une lubrification adéquate des roulements, conforme aux normes de l'API, réduit les frottements et l'usure des composants. [21]

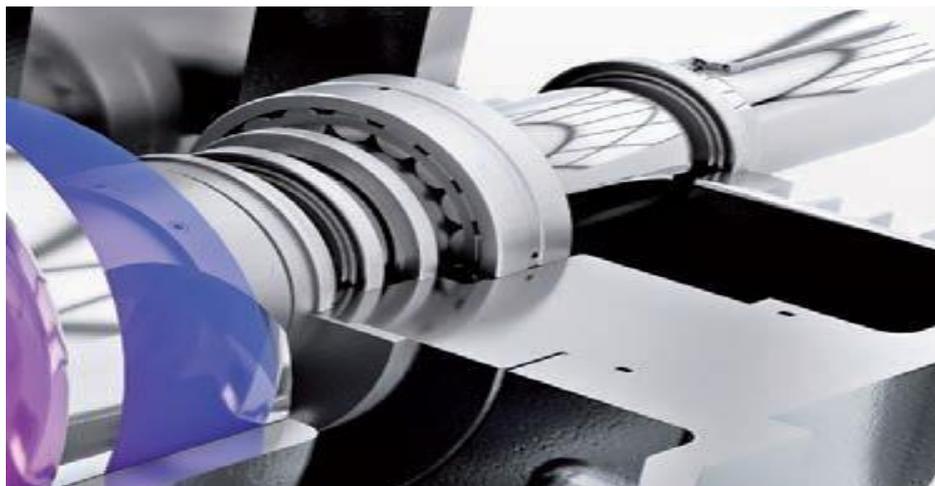


Figure II.8: Les roulements [21]

II.5.7 Le système de Lubrifications :

Le système d'huile de lubrification a pour objectif de fournir aux quatre (4) paliers et aux engrenages de la pompe multiphasique de l'huile de lubrification. Le flux du système d'huile de lubrification a trois (3) principales fonctions : fournir de la lubrification aux paliers et aux engrenages de la MPP avec les effets suivants. Réduire le frottement et l'usure des roulements à rouleaux et des engrenages, éliminer l'accumulation de chaleur aux paliers et aux engrenages, éliminer toute chaleur résiduelle qui peut être générée par le fluide pompé. Le système d'huile de lubrification comprend les composants suivants : réservoir d'huile de lubrification, chauffe-huile de lubrification, pompe et moteur d'huile de lubrification, filtration d'huile de lubrification, refroidisseur d'huile de lubrification (100 %) et tous les instruments nécessaires. Les débits d'huile de lubrification sont pré-réglés en usine par Liestritz. Les détails des points de consigne peuvent être trouvés dans les fiches techniques des systèmes d'huile de lubrification. Le système d'huile de lubrification est utilisé pour la lubrification des paliers et des engrenages, l'élimination de la chaleur, la filtration et le stockage de l'huile de lubrification. Le système d'huile de lubrification est équipé d'instruments spécifiés pour assurer le bon fonctionnement et la protection du système. Les débits de chaque ligne sont fournis par des indicateurs de débit individuels avec interrupteur (FIS-1201 à FIS-1205) qui peuvent être ajustés manuellement avec des vannes de débit manuelles (HV-1201 à HV-1205). Normalement, les débits sont pré-réglés et seront ajustés une fois pendant la mise en service. Un réajustement n'est généralement pas nécessaire. La pression est ajustée avec une vanne de régulation de pression (PCV-1201) de retour au réservoir. La pression est surveillée avec PIT-1207. Les débits et les pressions sont pré-réglés en usine. De plus, le niveau d'huile de lubrification dans le réservoir est surveillé avec LIT-1202. La température du réservoir est surveillée avec TIT-1206. Les moteurs de ventilateur sont

contrôlés via un dispositif de commande de température marche/arrêt. Pour des raisons de sécurité, le système d'huile de lubrification dispose de valeurs d'alarme et de déclenchement. Si les valeurs de déclenchement sont atteintes, le système est arrêté et la MPP est arrêtée. Des interrupteurs de débit FS-1201-1205 pour chaque ligne (1 pour l'engrenage et quatre pour chaque palier) sont installés pour protéger la pompe en cas de faible alimentation en huile de lubrification. [23]

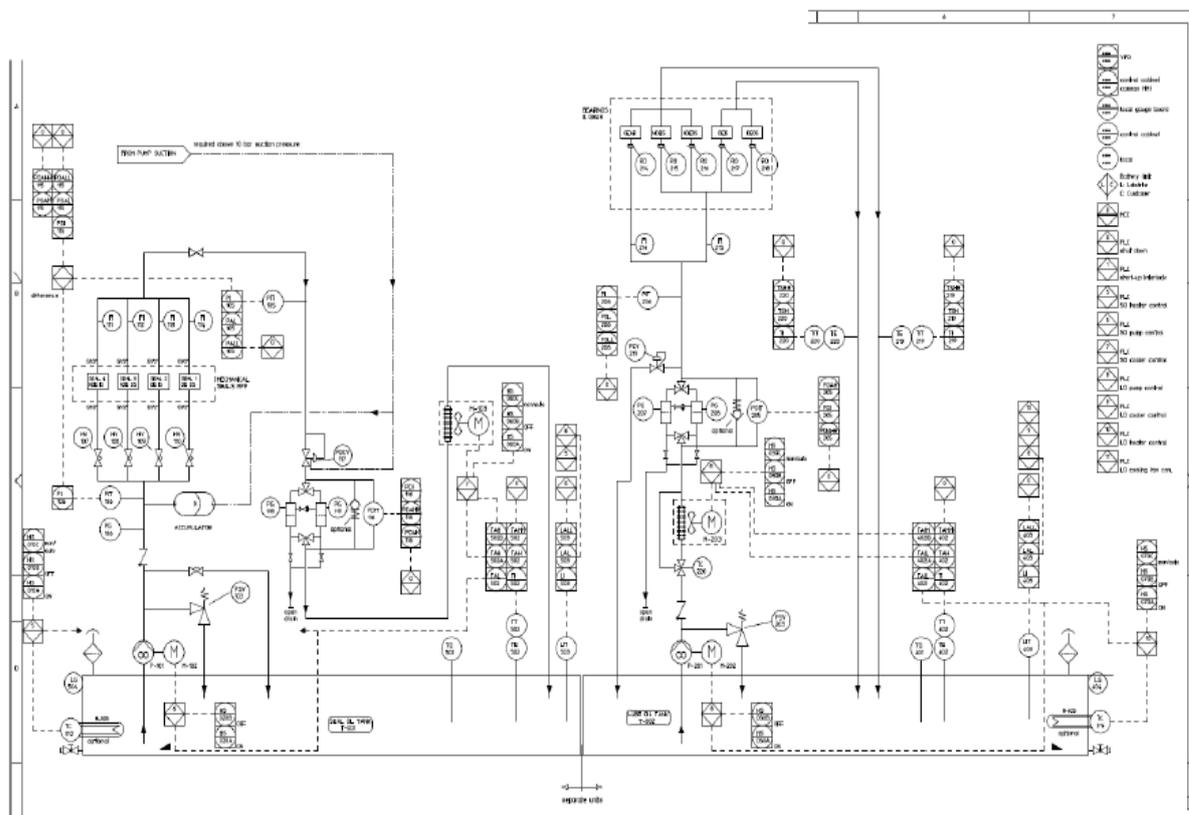


Figure II.9: système de Lubrifications

II.5.8 Le système gestion de liquide :

Le système de gestion des liquides est un réservoir qui stocke le fluide pour le recirculer. Son objectif est de séparer le fluide du flux de processus et de le conserver en cas de formation de bouchons de gaz pour garantir la disponibilité de la pompe multiphasique, où, en raison de la compression du gaz, le flux serait chauffé. Pour le démarrage initial, le LMS doit être rempli de liquide. Le niveau est indiqué par le LIT-1203 et est interconnecté au démarrage. Cet interverrouillage de démarrage vise à éviter un démarrage à sec, qui entraînerait un arrêt inattendu rapide en raison de la température élevée. Pour éliminer la chaleur de compression et pour sceller les profils de la pompe, le flux recirculé provenant du système de gestion des liquides est requis. Intégré à la ligne de recirculation, il existe des connexions pour des refroidisseurs de processus séparés, si nécessaire. Comme mentionné, le réservoir LMS est responsable du stockage des liquides. La recirculation est obligatoire pour sceller

les jeux dans la pompe. Le débit préajusté du fluide recirculé est effectué avec la vanne sphérique VG-1211. Le débit supplémentaire, qui est contrôlé par la température de sortie de la pompe TIT-1204 et régulé par CV-1201. En incluant des refroidisseurs connectés, les conditions de processus individuelles pourraient être gérées. [23]

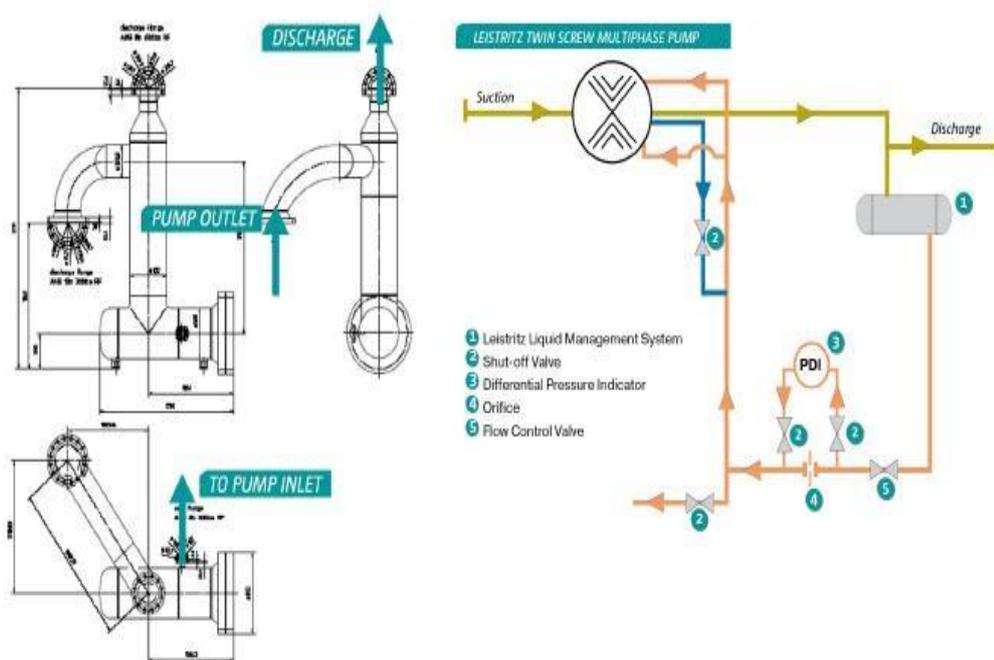


Figure II.10: Système gestion de liquide [21]

II.6 Les avantages de la pompe Leistritz L4 :

- Fabrication des rotors (vis et arbres) à partir d'une seule pièce de barre métallique, limitant la déflexion de l'arbre et les charges sur les paliers
- Limite la déflexion maximale du rotor à 50% de la clairance radiale, assurant une plus grande sécurité du processus
- Engrenages à dents hélicoïdales réduisant le bruit et facilitant l'entretien
- Doublure interchangeable permettant un entretien facile et des coûts réduits
- Conception spéciale du rotor minimisant les pulsations et optimisant le NPSH
- Faible vitesse d'écoulement axial assurant un amorçage excellent
- Rotors équilibrés axialement évitant les forces axiales sur les paliers
- Convient au fonctionnement à sec maximisant la sécurité du processus. [21]

II.7 Les applications de la pompe Leistritz L4 :

- Utilisation comme pompes de démarrage de pipelines, de déchargement, de nettoyage de réservoirs, de déshuilage, de transfert et de surpresseur, de circulation, de mélange et d'exportation pour une grande variété de fluides multiphasiques dans l'industrie pétrolière et gazière
- Utilisation comme pompes de chargement et de déchargement des navires dans l'industrie navale
- Utilisation comme pompes de déchargement, de nettoyage de réservoirs, de déshuilage, de transfert, de circulation, de mélange et d'exportation pour une grande variété de fluides chimiques dans l'industrie chimique
- Utilisation comme pompes de déchargement, de transfert et de chargement pour le transport d'huiles lourdes et légères dans la production d'énergie et les systèmes de combustibles. [21]

GSA – Algeria

- Pumps: 4x L4MG164/5x L4MG200
- Capacity: 12 to 155 m³/h 85 to 606 m³/h
- GVF: up to 95,6%
- dp: up to 40 bar/up to 20 bar
- Power: up to 290 kW/ up to 420 kW
- Speed: up to 3600 rpm

Installed 2013/14

Commissioned
2014/15

Availability > 96%



Figure II.11: Utilisation de pompe L4 dans l'Algérie en onshore [21]

II.8 La maintenance de pompe multiphasique à double vis L4 :

En général, les travaux d'entretien incluent la vérification de l'usure et des dégâts des éléments de la pompe.

Il est peu ou pas nécessaire d'entretenir les pompes à vis Leistritz de type L4NG ou L4NO, à condition que les données de fonctionnement respectives ne soient pas dépassées et que le fluide transporté ne contienne pas de particules abrasives. La durée de vie utile de la pompe est grandement influencée par le degré de pureté et le facteur de lubrification du fluide véhiculé. Cependant, si une plus grande

sécurité de fonctionnement est nécessaire, nous suggérons de suivre les périodes d'entretien et d'inspection mentionnées au paragraphe [23]

II.8.1 Entretien et inspection :

- Une inspection de la pompe est nécessaire après 800 à 1000 heures de fonctionnement. Découvrez tout bruit anormal en écoutant la pompe, vérifiez le niveau d'huile dans le carter de la boîte de vitesses et le graissage des roulements à rouleaux côté entraînement, et effectuez l'amélioration si besoin.
- Résumé des concentrations d'huile et de graisse et des intervalles de dégraissage adéquats
- La fuite des extrémités des arbres ne doit pas dépasser quelques gouttes par heure.
- Après avoir installé une garniture mécanique double effet, il est nécessaire de vérifier son bon fonctionnement, le niveau de liquide dans le système de fluide barrière, ainsi que la température de l'huile et la pression différentielle, et de les ajuster si besoin.
- Après une période d'environ deux ans, il est nécessaire de démonter la pompe et d'examiner toutes les pièces internes afin de repérer tout dommage ou usure.
- Vérifier l'état impeccable de la surface des roulements à rouleaux et des surfaces de frottement de l'arbre en examinant attentivement la piste de roulement et les surfaces de frottement, ainsi que les roues dentées du carter de la boîte de vitesses pour détecter toute usure.

Il est toujours nécessaire de remplacer les pièces usées.

- Les stries mineures sur les surfaces de roulement des axes et dans la zone des joints d'arbre peuvent être polies avec un outil de polissage adéquat, mais de telles stries signalent une contamination du fluide de la pompe.
- Il est nécessaire de rechercher les dépôts de saleté dans les carters, par exemple sur les parties inférieures ou dans la zone de retour de la soupape de limitation de pression, et de les éliminer si besoin. [23]

II.8.2 Précautions générales :

Avec une surveillance attentive de la pompe, les interruptions de fonctionnement qui nécessiteraient un démontage sont rares. Toutefois, si des défauts surviennent, il convient d'en localiser la cause, si

possible, avant de démonter la pompe. Le tableau II.8 représente Le tableau de dépannage du paragraphe.

Tableau II.8 : Le tableau de dépannage du paragraphe [23]

Vibration de l'unité de pompe	<p>- La pompe et le couplage ne sont pas correctement alignés et montés. Réalignez l'unité. Vérifiez les données des fabricants pour l'accouplement.</p> <p>- Les lignes de pression et de vide sont sous tension.</p> <p>-Les boucles de fondation ne sont pas serrées de façon égale, les serrer de manière égale sans stresser l'unité -Les roulements de boules sont défectueux, démanteler et remplacer</p> <p>- Composants d'accouplement défectueux. Démanteler l'unité et remplacer.</p>
La pompe est surchargée	<p>Vitesse de rotation trop basse. Vérifier le moteur pour la vitesse et la puissance de sortie. Comparer la vitesse du moteur, la tension d'alimentation et la fréquence à la plaque signalétique.</p> <p>-Pression de refoulement trop élevée. Vérifier les données de fonctionnement de la pompe, la viscosité du fluide. Comparer les données de fonctionnement. Chauffer le fluide si nécessaire</p>
La pompe a été saisie (La pompe s'est grippée)	<p>La pompe et l'accouplement ne sont pas correctement alignés et montés. Réalignez l'unité. Vérifiez les données du fabricant pour l'accouplement.</p> <p>Les lignes de pression et de vide sont sous</p> <p>Les boulons de fondation ne sont pas serrés de manière égale, serrez-les de façon égale sans stresser l'unité.</p> <p>Les roulements à billes sont défectueux, démontez et remplacez-les.</p>
La pompe produit un bruit inhabituel	<p>Vérifiez la ligne d'entrée et les raccords pour une bonne étanchéité, vérifiez le réglage du clapet Aspiration d'entrée vacuum étriquée trop élevée, raccourcissez la ligne d'entrée, placez la pompe plus bas</p> <p>Améliorez le débit volumétrique, augmentez la largeur nominale de la ligne d'entrée Réduisez la turbulence de l'écoulement, posez la ligne d'entrée en lignes droites</p>

	<p>Pression de décharge trop élevée. Vérifiez les données de fonctionnement de la pompe, la viscosité du fluide. Comparez les données de fonctionnement. Chauffez le fluide si nécessaire.</p> <p>Air dans le système d'admission et de distribution, purgez l'air de la pompe au point le plus élevé, sélectionnez un réservoir de fluide plus grand avec une meilleure séparation de l'air et des gaz, faites fonctionner les lignes de retour d'écoulement en dessous du niveau du fluide</p> <p>Pompe endommagée par surcharge. Les pièces internes de la pompe sont considérablement usées. Réparez la pompe avec des pièces de rechange</p> <p>La pompe et l'accouplement ne sont pas correctement alignés et montés. Réalignez l'unité. Vérifiez les données du fabricant pour l'accouplement</p> <p>Les lignes de pression et de vide sont sous tension</p> <p>Les boulons de fondation ne sont pas serrés de manière égale, serrez-les de manière égale sans stresser l'unité.</p> <p>Roulements à billes défectueux, démontez et remplacez.</p> <p>Composants de l'accouplement défectueux. Démontez l'unité et remplacez</p>
<p>La pompe est en fuite ou aspire de l'air</p>	<p>Endommagement du système d'étanchéité dû au fonctionnement à sec de la pompe. Si le système d'étanchéité ne prévoit pas de rinçage externe ou s'il n'est pas adapté, le joint mécanique peut être endommagé pendant un fonctionnement à sec prolongé. Ils peuvent être lavés dans le système de broche et se gripper. Éliminez le dysfonctionnement en réparant la pompe.</p> <p>Le joint mécanique a été endommagé par des impuretés dans le flux de fluide. Surfaces du joint mécanique usées. Les surfaces mécaniques ont surchauffé en raison d'un fonctionnement à sec. Remplacez le joint mécanique complet.</p> <p>Le presse-étoupe doit être vérifié éventuellement comme décrit dans l'article "réglage" au chapitre 4.3.8, les boîtes à garniture doivent être Réajustées</p>
<p>Flux fluctuant des Médias</p>	<p>Vérifiez la ligne d'entrée et les raccords pour une étanchéité correcte, vérifiez le réglage de la vanne. L'aspiration d'entrée vacuum étriquée est</p>

	<p>trop élevée, raccourcissez la ligne d'entrée, disposez la pompe plus bases.</p> <p>Améliorez le débit volumétrique, augmentez la largeur nominale de la ligne d'entrée.</p> <p>Réduisez la turbulence de l'écoulement, disposez la ligne d'entrée en lignes droites.</p> <p>La vitesse de rotation du moteur est trop faible. Vérifiez le moteur pour la vitesse et la puissance de sortie. Comparez la vitesse du moteur, la tension d'alimentation et la fréquence à la plaque signalétique.</p> <p>Présence d'air dans le système d'admission et de distribution, purger l'air de la pompe au point le plus élevé, choisir un réservoir de fluide plus grand avec une meilleure séparation de l'air et des gaz, faire passer les lignes de retour de flux en dessous du niveau du fluide.</p>
<p>La pression de livraison et la capacité de débit sont trop faibles</p>	<p>Vérifiez la ligne d'entrée et les raccords pour une étanchéité correcte, vérifiez le réglage de la vanne. L'aspiration d'entrée vacuum étriquée est trop élevée, raccourcissez la ligne d'entrée, disposez la pompe plus basse.</p> <p>Améliorez le débit volumétrique, augmentez la largeur nominale de la ligne d'entrée.</p> <p>Réduisez la turbulence de l'écoulement, disposez la ligne d'entrée en lignes droites.</p> <p>La vitesse de rotation du moteur est trop basse. Vérifiez la vitesse et la puissance de sortie du moteur. Comparez la vitesse du moteur, la tension d'alimentation et la fréquence à la plaque signalétique.</p> <p>Viscosité trop faible. Comparez les données de fonctionnement, augmentez la vitesse de rotation du moteur si nécessaire. Sélectionnez une pompe avec un pas de vis plus raide ou une taille de moteur immédiatement supérieure. Augmentez la viscosité du fluide en modifiant la température du fluide.</p> <p>Présence d'air dans le système d'admission et de distribution, purger l'air de la pompe au point le plus élevé, choisir un réservoir de fluide plus grand avec une meilleure séparation de l'air et des gaz, faire passer les lignes de retour de flux en dessous du niveau du fluide.</p>

	<p>Pompe endommagée par surcharge. Les broches sont bloquées ou tournent dans l'alésage du carter. Éliminez le dysfonctionnement avec des dommages légers : lissez les zones endommagées, remontez les pièces sur la pompe et contrôlez les points de fonctionnement.</p> <p>Pompe endommagée par surcharge. Les pièces internes de la pompe sont considérablement usées. Réparez la pompe avec des pièces de rechange.</p>
<p>Pas de pression d'aspiration ou de décharge</p>	<p>Comparez la flèche de direction de rotation sur la pompe avec la direction de rotation du moteur. Si nécessaire, inversez le moteur.</p> <p>Vérifiez la ligne d'entrée et les raccords pour une étanchéité correcte, vérifiez le réglage de la vanne. L'aspiration d'entrée vacuum étriquée est trop élevée, raccourcissez la ligne d'entrée, disposez la pompe plus basse. Améliorez le débit volumétrique, augmentez la largeur nominale de la ligne d'entrée. Réduisez la turbulence de l'écoulement, disposez la ligne d'entrée en lignes droites.</p> <p>Le côté aspiration est vide. Arrêtez immédiatement la pompe.</p> <p>La vitesse de rotation du moteur est trop basse. Vérifiez la vitesse et la puissance de sortie du moteur. Comparez la vitesse du moteur, la tension d'alimentation et la fréquence à la plaque signalétique.</p>

Chapitre III

Évaluation de la sûreté de fonctionnement de pompe multiphasique Liestritz L4

III.1 Introduction :

La fiabilité et la disponibilité des systèmes sont des aspects critiques pour garantir leur fonctionnement optimal et prolonger leur durée de vie. Dans ce chapitre, nous allons utiliser les méthodes de Weibull et de chaîne de Markov pour évaluer la fiabilité et la disponibilité d'un système de pompage multiphasique Liestritz série L4.

III.2 Modèle de Weibull :

La loi de Weibull est un modèle flexible largement utilisé dans divers domaines, notamment dans l'évaluation de la fiabilité des équipements mécaniques. Cette loi, dotée de trois paramètres, offre une représentation nuancée des phénomènes aléatoires, tenant compte des variations du taux de défaillance au fil du temps, comme lors des phases de jeunesse et de vieillissement. Ses applications sont multiples : estimation de la durée moyenne entre les pannes (MTBF), modélisation des fonctions de fiabilité et des taux de survie, ainsi que la possibilité d'identifier certains modes de défaillance grâce au paramètre de forme. Les trois paramètres incluent le paramètre de position, qui exprime le décalage entre le début de l'observation et le début du processus étudié. Dans de nombreux cas, ce paramètre est fixé à zéro, simplifiant ainsi le modèle à deux paramètres. [24]

III.2.1 Loi de fiabilité (Weibull) :

En réalité, l'expression loi de Weibull englobe toute une série de lois, certaines d'entre elles étant observées en physique en raison de certaines hypothèses.

Fonction de fiabilité : La fiabilité d'un dispositif se réfère à sa capacité à remplir une fonction spécifiée pendant une durée donnée et dans des conditions définies. En d'autres termes, elle représente la probabilité de réussite de cette fonction dans ces circonstances, la fiabilité nommé $R(t)$. [25]

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (\text{III.1})$$

Et

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (\text{III.2})$$

Fonction de défaillance : elle représente la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps $[0 ; t]$. [25]

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (\text{III.3})$$

La densité de probabilité : elle représente la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps $[0 ; t]$ [25]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\text{III.4})$$

Taux de défaillance : Elle notée $\lambda(t)$ elle représente la probabilité de défaillance à $(t + \Delta t)$. [25]

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.5})$$

MTBF « Means time between failures »:

C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement. [25]

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{III.6})$$

MTTR « Mean time to repair »:

C'est la moyenne des temps de réparation. [25]

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Temp d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{III.7})$$

Taux de disponibilité : [25]

$$D = \frac{MTBF}{MTTR} \quad (\text{III.8})$$

Pour $t < \gamma$, β, γ, η sont des constantes avec $\beta < 0$; $\eta < 0$;

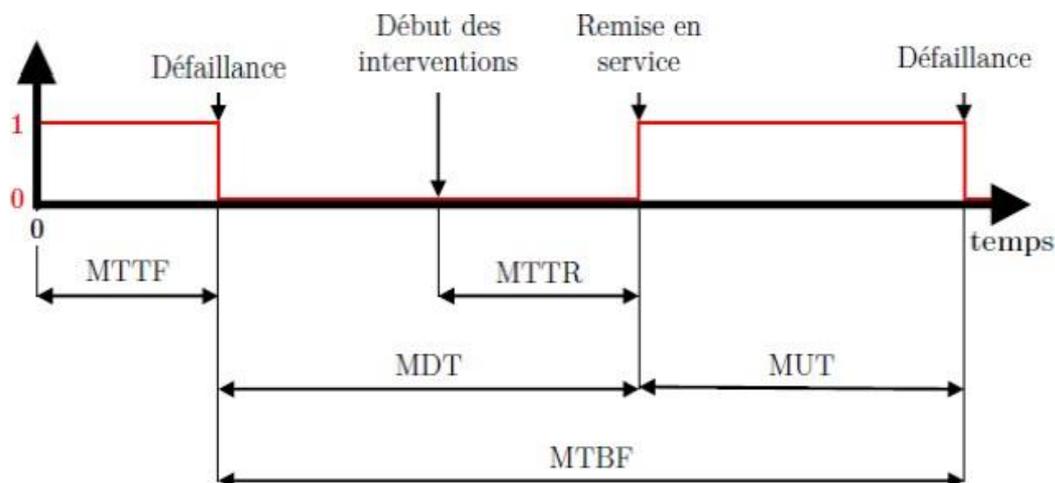


Figure III.01: Les temps de maintenance [26]

III.2.1.1 Signification des paramètres de weibull :

Le paramètre d'échelle, η (eta) : Ce paramètre est associé à la durée moyenne de bon fonctionnement et est couramment utilisé dans les travaux d'Allan Plait pour ajuster les échelles, indépendamment de la plage de valeurs de t . Sa signification est standardisée et ne nécessite pas d'interprétation spécifique. Son objectif est de rendre les résultats d'Allan Plait applicables à toutes les échelles de temps, sans nécessiter d'interprétation supplémentaire. [27]

Le paramètre de forme, β (beta) : est lié à la dynamique du processus observé, revêtant ainsi une importance capitale car il reflète les variations du taux de défaillance. Cela permet une modélisation précise des trois phases représentées par la courbe en forme de baignoire. En outre, il fournit des indications cruciales sur la répartition des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillance au fil du temps. Les graphiques associés offrent des représentations visuelles claires de l'évolution de la fiabilité, de la fonction de répartition et du taux de défaillance en fonction de ce paramètre. En somme, le paramètre β livre des informations essentielles sur la nature des défaillances et sur leur évolution temporelle, comme démontré dans les graphiques correspondants. [27]

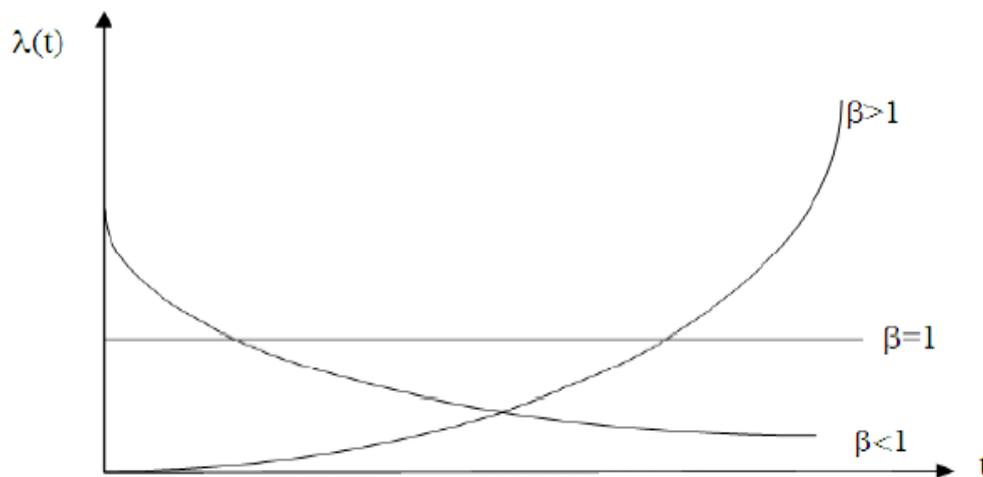


Figure III.02: Figure Le taux de défaillance [27]

D'après le graphe III.2 :

Pour $\beta < 0$, Le taux de défaillance décroît, ce qui représente la période de jeunesse d'un matériel

Pour $\beta = 0$, Le taux de défaillance est constant, ceci correspond à la période de vie utile

Pour $\beta > 0$, Le taux de défaillance croît en fonction du temps, ce qui correspond à la période de vieillesse ou d'usure

Le paramètre de position, γ : Le paramètre de position désigne essentiellement la différence temporelle entre le commencement de l'observation et le début du phénomène sous étude. Souvent, la valeur de ce paramètre est fixée à zéro, ce qui simplifie le modèle de la loi de Weibull à deux paramètres. [27]

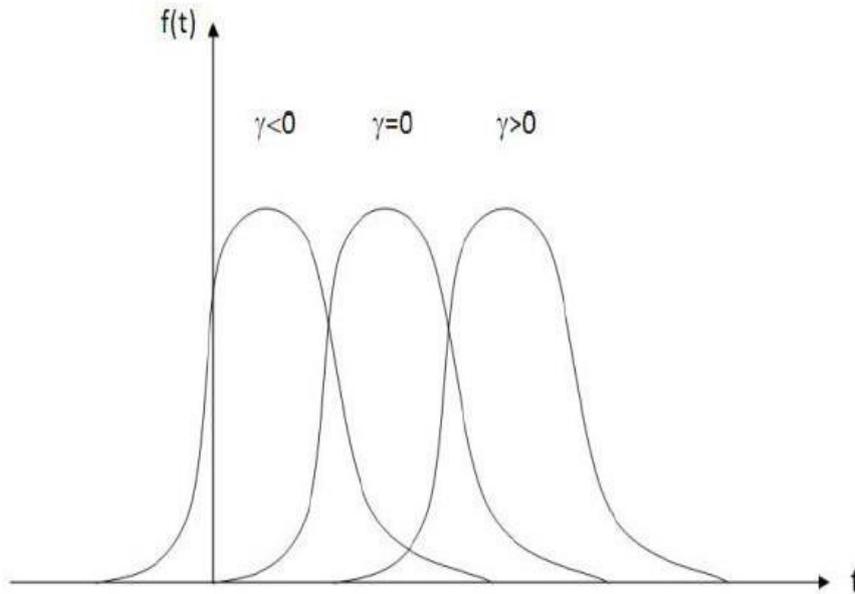


Figure III.03: Le paramètre de position (en unité de temps) [27]

D'après le graphe III.3 :

Pour $\gamma < 0$, Cela suggère que le matériel a subi une détérioration avant d'être mis en service industriellement, pouvant être due à l'usure pendant les essais ou le rodage, ou à des problèmes de montage.

Pour $\gamma > 0$, Cela implique que la détérioration du matériel n'a commencé qu'à une date ultérieure, à $t = \gamma$.

Certains chercheurs soutiennent que la notion de négativité n'est pas valide dans ce contexte, mais plutôt qu'il s'agit d'une combinaison de différentes populations. En raison d'un manque de données, il peut sembler que le paramètre soit négatif. Ainsi, le paramètre correspond à un ajustement simple de l'échelle de temps, ce qui réduit la loi de Weibull à un modèle à deux paramètres. [27]

III.2.2 Étude de fiabilité de pompe multiphasique L4 :

Historique de panne de pompe

Ce tableau suivant représente l'historique des pannes de la pompe :

Tableau III.1 : l'historique des pannes de la pompe

Ordre (i)	TBF (h)	TTR (h)
1	610	1400
2	1230	460
3	1515	1112
4	2481	541
5	3183	491
6	4420	1152
7	5583	694

On remarque les pannes de type A sont prédominantes, l'étude de fiabilité concernera uniquement ce type de pannes.

Calcule de la fiabilité d'éléments fragiles (par la loi de Weibull) :

Le tableau récapitulatif des temps de bon fonctionnement d'élément fragiles entre les pannes consécutives d'usure est le suivant :

Tableau III.2 : temps de bon fonctionnement entre les pannes consécutives d'usure

N (i)	TBF (heures)
1	610
2	1230
3	1515
4	2481
5	3183

6	4420
7	5583

Ainsi, N=7 correspond à la taille de l'échantillon.

Lorsque N est inférieur à 20, nous utilisons la formule d'approximation des rangs médians pour calculer les fréquences,

$$F(i) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (\text{III.9})$$

Cette formule est très proche de la fonction de répartition F(t).

Dans notre cas N= 7, on doit chercher l'expression de F (t).

Application le modèle de Weibull pour la répartition des pannes :

Tableau III.3 : Valeurs nécessaires à l'ajustement graphique de Weibull

Ordre (i)	TBF (heures)	F(i)	F(t) approximée en
1	610	0.094	9.4
2	1230	0.229	22.9
3	1515	0.364	36.4
4	2481	0.5	50
5	3183	0.635	63.5
6	4420	0.77	77
7	5583	0.905	90.5

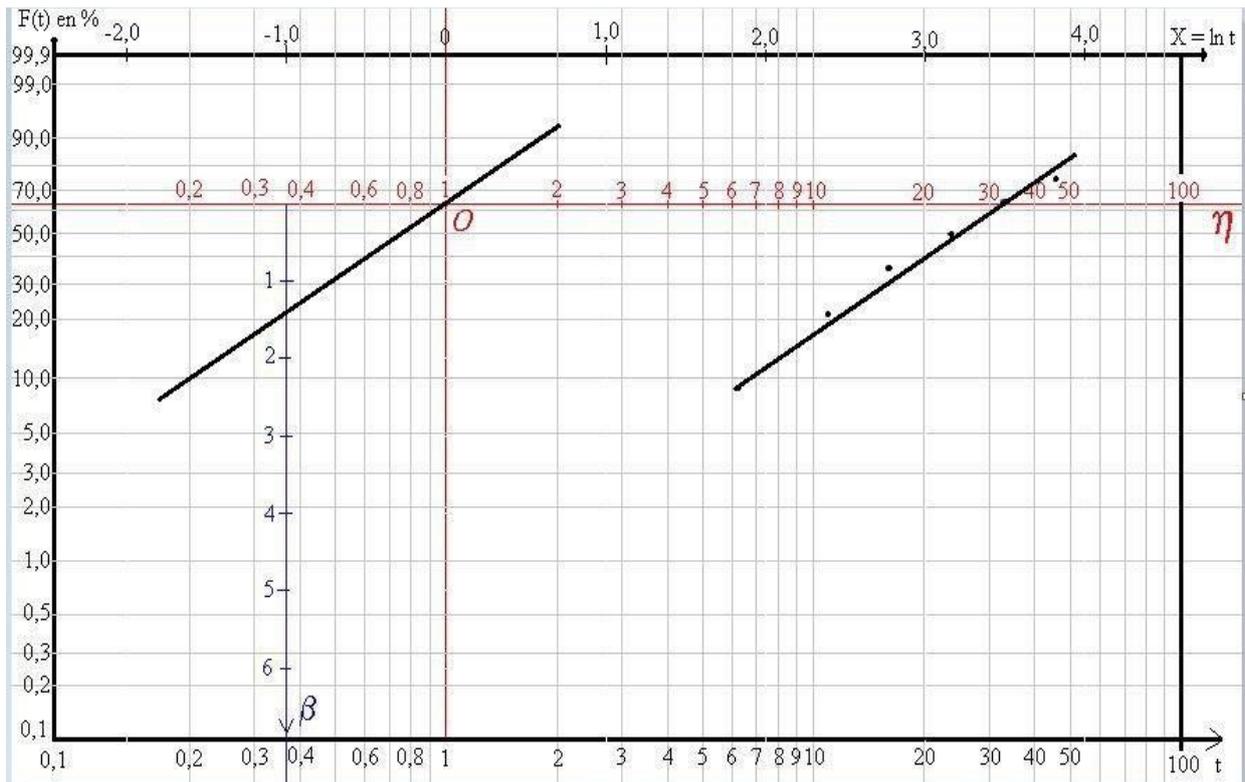


Figure III.04: Papier de Weibull

Tableau III.4 distribution de Weibull : valeurs de coefficient a et b en fonction de forme Q [29]

β	A	B
0,2	120	1901
0,25	24	199
0,3	9,26	52,6
0,4	3,3233	10,5
0,5	2,00	4,47
0,6	1,50	2,65
0,7	1,266	1,85
0,8	1,133	1,43
0,9	1,052	1,18
1,0	1,00	1,00
1,2	0,941	0,78
1,4	0,911	0,66
1,6	0,897	0,574
1,8	0,889	0,511

2,0	0,886	0,463
2,5	0,887	0,380
3,0	0,893	0,324
3,5	0,900	0,285
4,0	0,906	0,255
5,0	0,918	0,210

Détermination des paramètres de Weibull

a) Portons sur le papier fonctionnel de Weibull :

Sur l'axe A, les valeurs t de TBF.

Sur l'axe B, les valeurs F (t) associées.

b) Nous avons ajusté le nuage par une droite D1 donc $\gamma = 0$.

c) La droite coupe l'axe (t. η) en η , d'où $\eta = 32.10$ heurs.

d) Nous traçons la parallèle D1 et D2 passant le point 1 (X, Y)

Cette droite coupe l'axe (β , b) en β , d'où $\beta = 1,4$

Test de KOLMOGOROV SMIRNOV :

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique **F(t)théo** et la fonction réelle **F(t) réel** et prendre le maximum en valeur absolue **Dn.max**.

Cette valeur est comparée avec **Dn.alpha** Qui est donnée par la table de Kolmogorov

Si **Dn. Max > Dn. alpha**, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

Si **Dn. Max < Dn. alpha**, on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B :

La valeur de **Dn.alpha** est donnée par la table de **Kolmogorov-Smirnov**.

Ici on a : $\alpha = 0.05 = 5\%$

Tableau III.5 TEST DE KOLMOGOROV SMIRNOV

MTB	Ordre	$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$	F(t)	$\square\square = \square(i) - \square(i) $
1	610	0.094	0.093561171	0.001
2	1230	0.229	0.093561171	0.136

3	1515	0.364	0.2960507269	0.068
4	2481	0.5	0.5035503404	0.003
5	3183	0.635	0.6293771873	0.006
6	4420	0.77	0.7923168785	0.022
7	5583	0.905	0.8869290835	0.019

$$a = 0.05 = 5\%$$

$$Dn_{\max}(\text{Num}) = 0,48842, Dn_{\max}(\text{graph}) = 0,136$$

$$0.3516 < 0.4300 \text{ et } 0.3732 < 0.4300 \text{ P } Dn_{\max} < Dn_a \text{ (le modèle de Weibull est acceptable)}$$

Exploitation directe des paramètres :

Calcul du MTBF :

Utilisons le tableau 4 qui donne les valeurs de a et b tel que :

$$MTBF = a\eta + \gamma \text{ (III.10)}$$

$$L'écart \text{ type } : \sigma = b\eta \text{ ((III.11))}$$

D'après les tableaux :

$$\beta = 1,4 \rightarrow a = 0,911 \text{ et } b = 0,66$$

D'où

$$MTBF = 0,911 \cdot 3200 = 2915.2 \text{ heures}$$

$$\sigma = 0,66 \cdot 32 \cdot 102 = 2112 \text{ heures}$$

Calcul de R (t), f (t), λ(t) et F (t) lorsque t = MTBF

Le fiabilité R(MTBF)

$$R(t) = \exp^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t) = 0,417348$$

Il y a 41,173 % de chance pour que la pompe ne tombe pas en panne après 2915.2 heures de fonctionnement.

La fonction de réparation F(MTBF)

$$F(t) = 1 - \exp^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$F(t) = 0,582652$

On a 58,265% de chance pour que la pompe tombe en panne après 2915.2 heures

Le taux de défaillance λ (MTBF)

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{F(\text{MTBF})}{R(\text{MTBF})} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = 0,013960 \text{ panne/heure}$$

La fréquence de l'occurrence des pannes est de 0.01396 panne par heure de fonctionnement à la moyenne des temps de bon fonctionnement.

La probabilité $f(\text{MTBF})$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \exp - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta$$

$$f(t) = 0,000949$$

Étude de modèle de Weibull :

Tableau III.6 : Modèle de Weibull

Ordre (i)	TBF [heur]	F(i)	F(t)	f (t)	R(t)	λ (t)
1	610	0.094	0.093561171	0.0002043565	0.906438829	0.000225449
2	1230	0.229	0.2306542429	0.0002939449	0.7693457571	0.000298455
3	1515	0.364	0.2960507269	0.0002283623	0.7039492731	0.000324401
4	2481	0.5	0.5035503404	0.0001961752	0.4964496596	0.000395156
5	3183	0.635	0.6293771873	0.0001619734	0.3706228127	0.000436568
6	4420	0.77	0.7923168785	0.0001033923	0.2076831215	0.000497836
7	5583	0.905	0.8869290835	0.000618039	0.1130709165	0.000546594

Pour commencer, nous allons tracer les courbes des fonctions "Répartition" et "Taux de Défaillance", qui sont interdépendantes dans le concept de la fonction de Fiabilité. Ensuite, nous procéderons au tracé de la courbe de la fonction de Fiabilité elle-même.

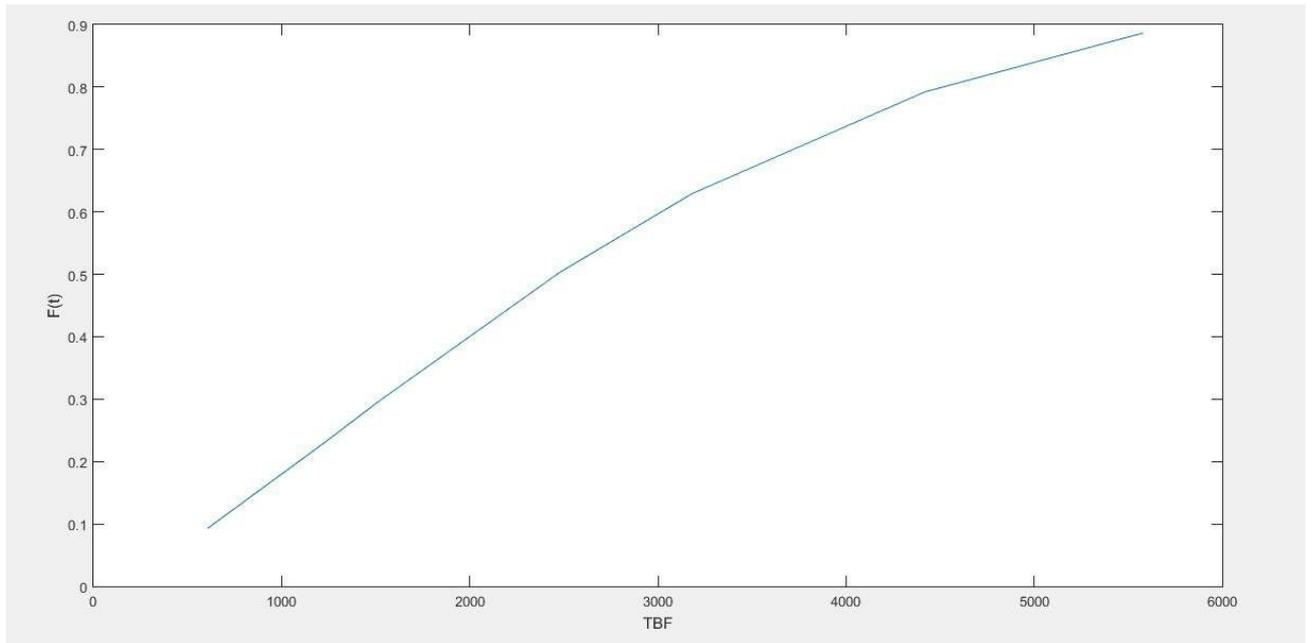


Figure III.05: La fonction de réparation en fonction de temps

Analyse de courbe : La fonction de répartition augmente avec le temps, indiquant que la probabilité de défaillance de la machine augmente à mesure que sa durée de bon fonctionnement s'allonge.

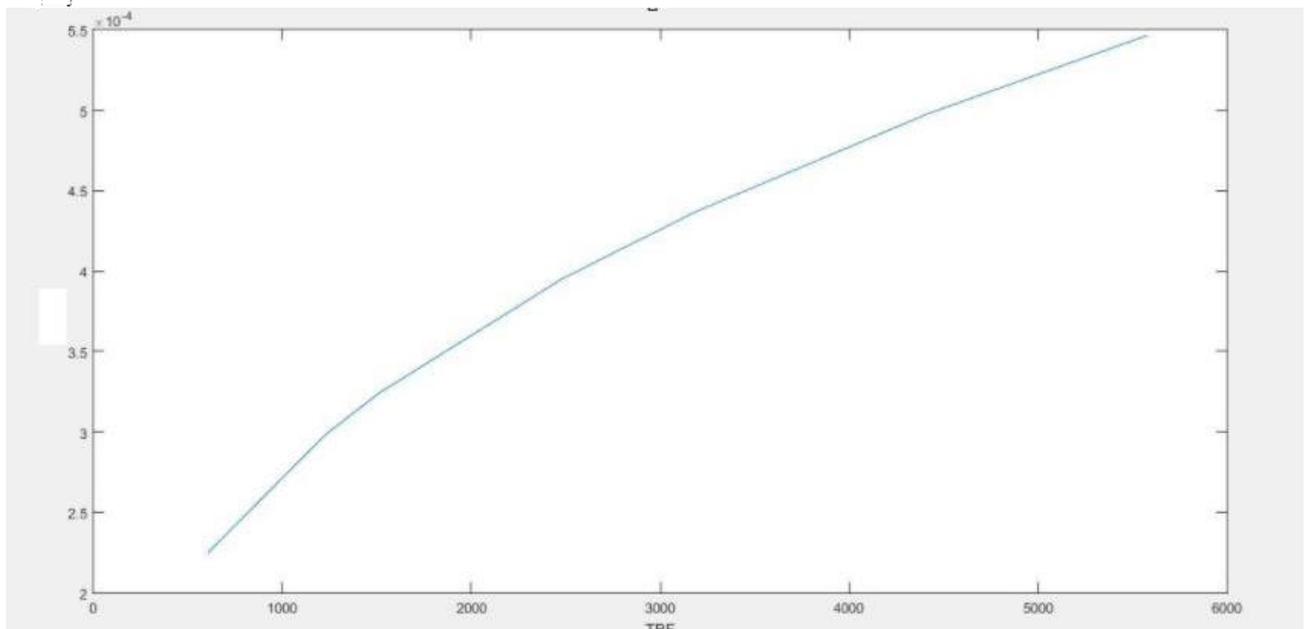


Figure III.06: Taux de défaillance en fonction de temps

Analyse de courbe : Le taux de défaillances augmente avec le temps. Ces défaillances sont attribuables à des anomalies lors du montage, à des imperfections ou à une méconnaissance de la manipulation du matériel par les opérateurs. Cette augmentation contribue à une réduction de la fiabilité de la machine.

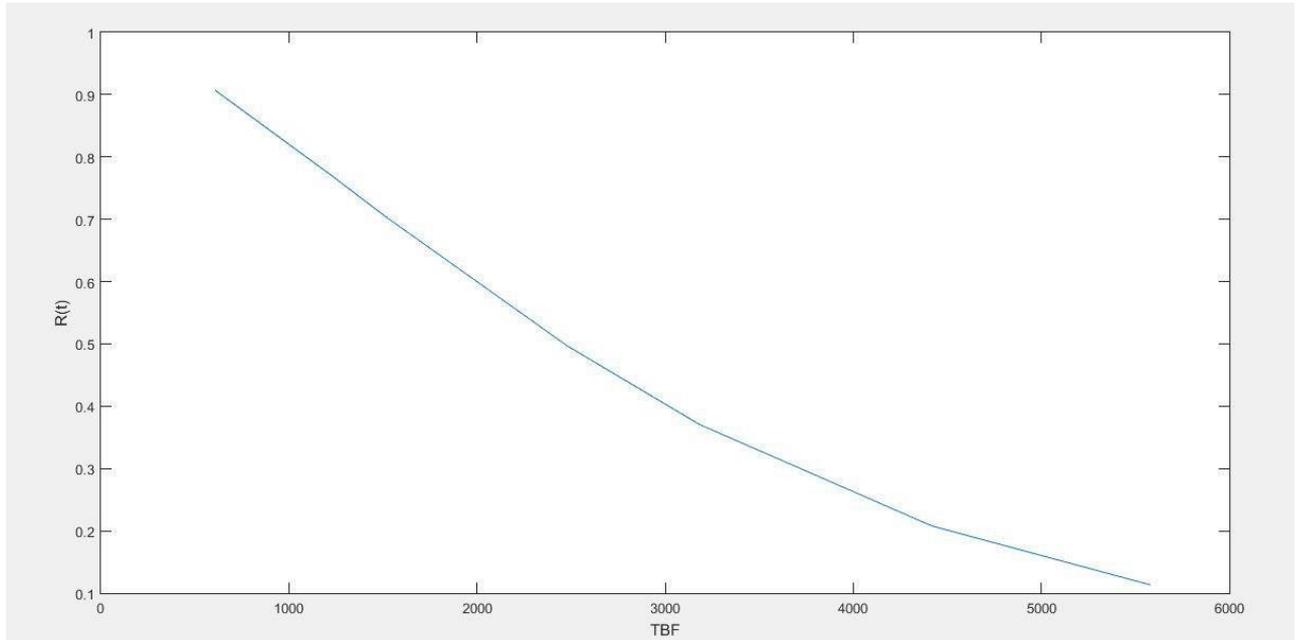


Figure III.07: La fiabilité en fonction de temps

Analyse de courbe : La courbe de fiabilité de la machine montre une tendance à la baisse, avec une moyenne de temps de bon fonctionnement de 2915.2 heures, ce qui peut être attribué à des facteurs de dégradation tels que l'usure. Pour améliorer la fiabilité, il est essentiel de mener une analyse approfondie des défaillances, en étudiant minutieusement leurs causes, leurs modes et leurs impacts.

III.4 Evaluation de la disponibilité de la pompe L4 par la Chaîne de Markov :

Les chaînes de Markov sont utilisées pour représenter des processus aléatoires où les transitions entre différents états dépendent uniquement de l'état actuel. Dans le domaine de la disponibilité des systèmes, ces chaînes permettent de modéliser les états possibles d'un système (comme fonctionnement normal, panne, réparation) et les transitions entre eux. En utilisant les caractéristiques du système et les probabilités de transition, les ingénieurs peuvent estimer la probabilité qu'un système se trouve dans un certain état à un moment donné. Cela aide à comprendre comment les différents facteurs influent sur la disponibilité globale du système, facilitant ainsi la prise de décisions pour améliorer cette disponibilité, comme la planification de la maintenance ou le renforcement des composants critiques.

III.4.1 Disponibilité élémentaire de la pompe L4 :

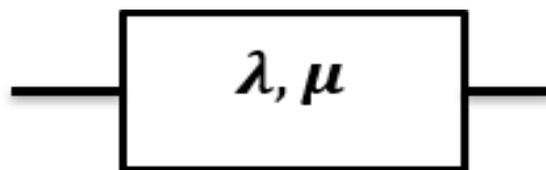


Figure III.08: schéma élémentaire

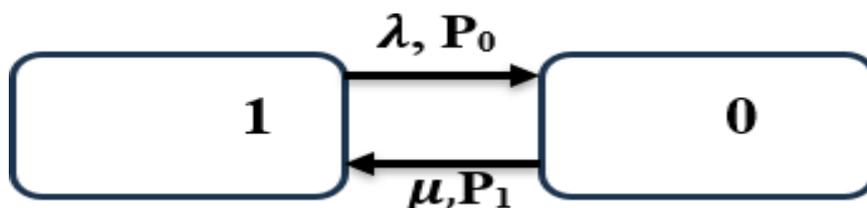


Figure III.09: schéma de chaîne de Markov d'un deux états

- P_0 : Etat 0 représente une absence de panne de système
- P_1 : Etat 1 représente une défaillance totale de système
- μ : taux de réparation
- λ : taux de défaillance $P_1(t)+P_0$

On écrit :

$$P'_1(t) = -P_1(t)\lambda + P_0(t)\mu \quad (\text{III.12})$$

$$P'_0(t) = -P_0(t)\lambda + P_1(t)\mu \quad (\text{III.13})$$

Avec, des conditions initiales :

$$P_0(0) = 0$$

$$P_1(0) = 1$$

Les transformées de Laplace, pour résoudre le système :

$$P f_1(P) - P_1(0) = -\lambda f_1(P) + \mu f_0(P) \quad (\text{III.14})$$

$$P f_0 - P_0(0) = +\lambda f_1(P) - \mu f_0(P) \quad (\text{III.15})$$

En tenant compte des condition initiales :

$$(P + \lambda)f(p) - \mu f_0(P) = 1$$

$$-\lambda f_1(P) + (\mu + P)f_0(P) = 0$$

Sous forme matricielle

$$\begin{pmatrix} (P + \lambda) & -\mu \\ -\lambda & (\mu + P) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Déterminant général

$$\begin{aligned} \Delta G &= \begin{vmatrix} (P + \lambda) & -\mu \\ -\lambda & (\mu + P) \end{vmatrix} = (P + \lambda)(\mu + P) - \lambda \mu \\ &= P(\mu + \lambda + P) \end{aligned}$$

Déterminant de f_1

$$\Delta 1 = \begin{vmatrix} 1 & -\mu \\ 0 & \mu + P \end{vmatrix} = \mu + P$$

On s'intéressé uniquement au calcul de la disponibilité. Par conséquent, l'état 0 n'est pas étudié ;

d'où :

$$f_1(p) = \frac{\Delta 1}{\Delta G}$$

$$f_1(p) = \frac{\mu + P}{P(\mu + \lambda + P)}$$

Pour opérer la transformation inverse $f^{-1}(P)$, il est nécessaire de simplifier ce résultat :

$$\frac{\mu + P}{P(\mu + \lambda + P)} = \frac{A}{P} + \frac{B}{P(\mu + \lambda)}$$

On trouve A et B en comparaison :

$$A = \frac{\mu}{(\mu + \lambda)}$$

De même, en multipliant par $(P + \mu + \lambda)$ et en faisant $P = -(\mu + \lambda)$, on obtient :

$$B = \frac{\lambda}{(\mu + \lambda)}$$

D'où

$$\frac{\mu + P}{P(P + \mu + \lambda)} = \frac{\mu}{(\mu + \lambda)} \cdot \frac{1}{P} + \frac{\lambda}{(\mu + \lambda)} \cdot \frac{1}{(P + \alpha)}$$

Avec :

$$\alpha = +(\mu + \lambda)$$

La transformée inverse f^{-1} nous donne la fonction disponibilité $D(t)$ qui est ici égale à $f_1(t)$:

$$D(t) = f_1(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot \exp^{-(\mu + \lambda)t} = A(t), \text{ (A(t) vient de Availability)}$$

$$\text{Avec } \mu = \frac{1}{MDT}$$

$$\text{Et } \lambda = \frac{1}{MUT}$$

Si $MDT = MTTR$ et $MUT = MTBF$

On constate que lorsque le temps devient grand ($t \rightarrow \infty$), la fonction $D(t)$ tend vers une valeur fixe, c'est la partie stationnaire de la disponibilité

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

On a:
$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (III.15)$$

III.4.2 Disponibilité de système en série de la pompe L4 :



Figure III.01 schéma de système en série

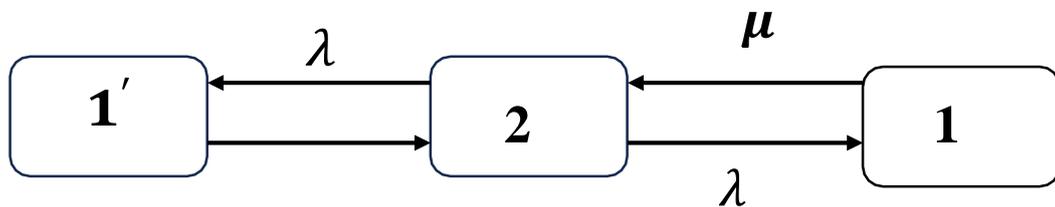


Figure III.011: schéma de chaîne de Markov de trois états

2 : L'état deux composants fonctionne.

1 : L'état d'un seul composant fonctionne.

1' : L'état d'un aucun composant ne fonctionne.

$$\begin{aligned} M_2'(t) &= \begin{pmatrix} -2\lambda & \lambda & \lambda \\ \mu & -P & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_2 \\ M_1 \end{pmatrix} \quad (III.16) \\ M_{1F}'(t) &= \begin{pmatrix} \mu & 0 & P \\ & & M_{1F} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$M_2'(t) = -2\lambda\Pi_2(T) + \mu\Pi_1(t) + \mu\Pi_1'(t)$$

$$M_1'(t) = \lambda\Pi_2(T) - \mu\Pi_1(t)$$

$$M_1'(t) = \lambda\Pi_2(T) - \mu\Pi_1'(t)$$

$$\Pi_2(t) + \Pi_1(t) + \Pi_1'(t) = 1$$

Les conditions initiales : $\Pi_2(0) = 1$ et $\Pi_1(0) = \Pi_1'(0) = 0$

$$\Pi_2 = \frac{\mu}{2\lambda + \mu}$$

$$\Pi_1 = \frac{\lambda}{2\lambda + \mu}$$

$$\Pi_{1^f} = \frac{\lambda}{2\lambda + \mu}$$

$$\Pi_2 = \frac{\mu}{2\lambda + \mu}$$

La disponibilité est :

$$A = \Pi_2 = \frac{\mu}{2\lambda + \mu} \text{ (III.17)}$$

III.4.3 Disponibilité de système en parallèle de la pompe L4 :

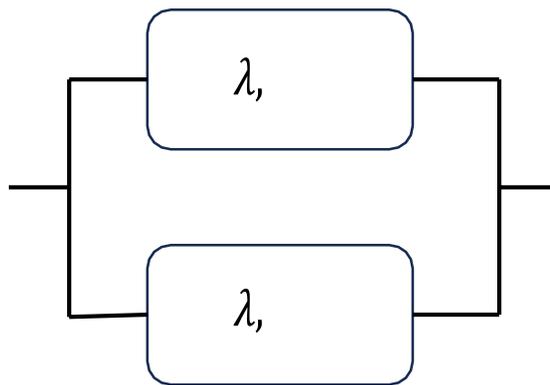


Figure III.012: schéma de system en parallèle

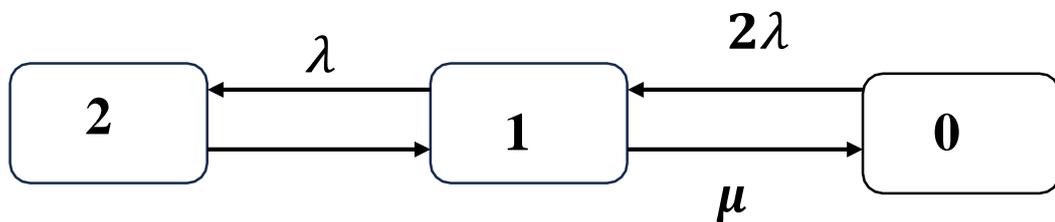


Figure III.2 : schéma de Markov de trois états

P_0 : L'état d'aucun composant en panne.

P_1 : L'état d'un seul composant fonctionne.

P₂: L'état d'un aucun composant ne fonctionne.

La matrice de taux de transition :

$$\begin{matrix} M'_0(t) = & -2\lambda & 2\lambda & 0 & M_0 \\ M'_1(t) = & \left(\begin{matrix} \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \end{matrix} \right) & (M_1) \\ M'_{2f}(t) = & 0 & \mu & -\mu & M_2 \end{matrix}$$

$$M'_2(t) = -2\lambda\Pi_0(t) + \mu\Pi_1(t)$$

$$M'_1(t) = \lambda\Pi_0(t) - (\lambda\mu)\Pi_1(t) + \mu\Pi_2(t)$$

$$M'_1(t) = \lambda\Pi_1(t) - \mu\Pi_1(t)$$

$$\Pi_0(t) + \Pi_1(t) + \Pi_2(t) = 1$$

Les conditions initiales : $\Pi_2(0) = 1$ et $\Pi_1(0) = \Pi_0(0) = 0$

$$\Pi_0 = \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2\lambda^2 + 2\lambda\mu}$$

$$\Pi_1 = \frac{2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda^2 + 2\lambda\mu}$$

$$\Pi_2 = \frac{2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda^2 + 2\lambda\mu}$$

$$\Pi_2 = \frac{2\lambda^2}{2\lambda + \mu}$$

La disponibilité est : $A = \Pi_0 + \Pi_1 = \frac{2\lambda\mu + \mu^2}{\mu^2 + 2\lambda^2 + 2\lambda\mu}$ (III.18)

III.5 Application numérique :

Calcule le moyen temps de réparation :

$$MTTR = \frac{1400 + 460 + 1112 + 541 + 491 + 1153 + 694}{7}$$

$$MTTR = 835,857 \text{ heur}$$

Calcule le taux de réparation et le taux de défaillance :

$$\mu = \frac{1}{835,857}$$

$$\mu = 0,0012$$

$$\lambda = \frac{1}{2915,2}$$

$$\lambda = 0,000343$$

La disponibilité élémentaire :

$$D(t) = \frac{0,0012}{0,0012 + 0,000343}$$

$$D(t) = 0,777705$$

La disponibilité de systèmes en série :

$$A = \frac{0,0012}{2 \times 0,000343 + 0,0012}$$

$$A = 0,63626$$

La disponibilité de systèmes en parallèle :

$$A = \frac{2 \times 0,000343 \times 0,0012 + 0,0012^2}{0,0012^2 + 2 \times 0,000343^2 + 2 \times 0,000343 \times 0,0012}$$

$$A = 0,905924$$

III.6 Les résultats :

Disponibilité élémentaire (D(t)) : La disponibilité élémentaire mesure la probabilité qu'un composant soit opérationnel lorsque nécessaire.

Pour le système donné, D(t) est calculée comme

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

Le résultat obtenu est D(t) = 0,777705, soit environ 77,77%. Cela indique que chaque composant individuel a une disponibilité assez élevée, approchant les 78%.

Disponibilité de systèmes en série (A) : La disponibilité en série est déterminée par

$$A = \frac{\mu}{2\lambda + \mu}$$

Le calcul donne $A = 0,63626$, ce qui correspond à environ 63,63%. Cette disponibilité est inférieure en raison de la nature cumulative des défaillances dans une configuration en série.

Disponibilité de systèmes en parallèle (A) : La disponibilité en parallèle est calculée par

$$A = \frac{2\lambda\mu + \mu^2}{\mu^2 + 2\lambda^2 + 2\lambda\mu}$$

Le résultat obtenu est $A = 0,9$ ce qui représente 90%. Cette disponibilité est la plus élevée parmi les configurations examinées, ce qui est typique des systèmes en parallèle où la défaillance d'un seul composant n'entraîne pas l'indisponibilité du système entier.

Analyse des résultats :

La disponibilité élémentaire de chaque composant est relativement élevée, ce qui est favorable.

La disponibilité en série est réduite par rapport à la disponibilité élémentaire, ce qui reflète le risque accru de défaillance cumulative dans cette configuration.

La disponibilité en parallèle est la plus élevée, indiquant une robustesse accrue contre les défaillances individuelles.

Le système en parallèle se distingue comme le plus fiable en raison de sa disponibilité élevée de 90%. Cela signifie qu'il est capable de maintenir des niveaux élevés de fonctionnement opérationnel malgré les défaillances potentielles de certains composants.

En termes d'efficacité, le système en parallèle est également préférable car il minimise les temps d'arrêt globaux. La capacité à maintenir une disponibilité élevée est cruciale dans les environnements où la continuité de l'opération est critique.

Comparativement, bien que la disponibilité en série soit significativement inférieure à celle en parallèle, elle peut être envisagée dans des configurations où les contraintes d'espace ou de coût limitent l'option du parallélisme. Cependant, elle expose à un risque accru de pannes systématiques en raison de la dépendance séquentielle des composants.

III.7 Conclusion :

Le choix du système le plus fiable et efficace dépend largement des exigences spécifiques de l'application. Pour une fiabilité maximale et une efficacité opérationnelle élevée, le système en parallèle est généralement préféré en raison de sa capacité à maintenir une disponibilité élevée et à minimiser l'impact des défaillances individuelles.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, cette recherche met en évidence l'importance stratégique des pompes multiphasiques Leistritz série L4 dans différents secteurs industriels. Ces équipements sont reconnus pour leur efficacité dans le transport de mélanges gaz-liquide et de fluides contenant des particules solides, offrant ainsi des solutions innovantes.

L'étude approfondie de la sécurité de la pompe L4 a permis une analyse détaillée des méthodes d'évaluation des risques potentiels, des stratégies de prévention des défaillances, ainsi que des normes de sécurité et des réglementations applicables.

Les analyses de disponibilité montrent que la pompe Leistritz L4 affiche une disponibilité de base élevée, atteignant environ 77,77%. Toutefois, lorsque le système est configuré en série, la disponibilité globale diminue à 63,63%, ce qui reflète un risque accru de défaillances cumulatives.

En revanche, le système en parallèle présente une disponibilité élevée de 90%, illustrant une résistance supérieure aux défaillances individuelles. Cette configuration se distingue donc comme la plus fiable et la plus efficace, garantissant des niveaux élevés de fonctionnement opérationnel même en cas de défaillance de certains composants.

Cette étude souligne l'importance cruciale d'une évaluation continue de la sécurité des pompes Leistritz série L4 pour assurer leur fonctionnement optimal et sécurisé dans divers environnements industriels. Le choix de la configuration la plus fiable dépend des exigences spécifiques de chaque application, bien que le système en parallèle semble être la meilleure solution pour assurer la continuité des opérations.

Références bibliographiques

Liste des références

- [1] : PDF Étude et amélioration de la maintenance (FMD) de la pompe à boue (IDECO), 6/6/2018
- [2] : Flow assurance and multiphase pumping 15/05/2009
- [3] : PPT Workshop MPP, Milan, 29th juin 2010.
- [4] : Catalogue de constructeur, PIPESIM, help, PIPESIM Help, Rechercher « multiphase booster».
- [5] : Nazim Tahar CHABANE CHAOUCH « Pompe multiphasique comme alternative à la séparation conventionnelle combinée au pompage et à la compression » Ecole Nationale Polytechnique Département d'hydraulique
- [6] : Catalogue de constructeur, PIPESIM, help, PIPESIM Help, Rechercher : multiphase booster.
- [7] : Catalogue de constructeur, Weatherford « Electric Submersible Pumping Systems »
- [8] : PIPESIM, help, PIPESIM Help, Rechercher « multiphase booster».
- [9] : Catalogue de constructeur, PUMPEN GMBH TECHNICAL INFORMATION TWINS CREW PUMPS – L4 15/12/2022
- [10] : HEMAM NASSIRA -THEME - DAIKH IMANE « Aménagement sur le réseau de collecte pour améliorer la production (Cas de manifold OMP73) »
- [11] : Catalogue de constructeur, MPP Leistritz _PRESENTATION, January 2015, A.I.F.G.
- [12] : Catalogue de constructeur, Leistritz Schraubenspindelpumpen & Systeme Leistritz Screw Pumps & Systems 05/12
- [13] : Catalogue de constructeur, Leistritz Screw Pumps & Systems
- [14] : Catalogue de constructeur, Leistritz advanced technologies corporation multiphase production systems, 2014
- [15] : Catalogue de constructeur, MULTIPHASE PRODUCTION SYSTEMS 2019 in U.S.A
- [16] : Catalogue de constructeur, Leistritz Screw Pumps & Systems « Dei neue L3MA Pumpen reihe entspricht API 6763rd 04/15
- [17] : Catalogue de constructeur, Leistritz Screw Pumps & Systems 08/2013
- [18] : Catalogue de constructeur, L4 SCREW PUMP SERIES Screw Pumps & Systems 08/16
- [19] : Catalogue de constructeur, Liestritz Pumpen Gmbh- directionindustry.fr
- [20] : Catalogue de constructeur, LEISTRITZ PUMPEN GMBH « Leistritz Schraubenspindelpumpen & Systeme Leistritz Screw Pumps & Systems » 05/2012
- [21] : Catalogue de constructeur, Leistritz TECH pwered.FUTURE inspired « Expro training-First session» 17/01/2023
- [22] : Catalogue de constructeur, Dokumen.tips_leistritz-multiphase-pumping-system PowerPoint

[23] : Manuel de pompe multiphasique à double vis leistriz L4

[24] : H. Benaïcha, livre de Weibull mélange pour l'analyse de la fiabilité

[25] : Marc THOMAS livre « fiabilité, maintenance prédictive et vibrations des machines »

[26] : Mr. HASSINI BRAHIM « étude qualitative et quantitative des scénarios de défaillance de pompe 2000 D de l'entreprise certaf » mémoire fin étude université de Tlemcen 1/10/2014

[27] : IDDER Samira « Fiabilité des systèmes : Modèles de Markov et Weibull-Markov » mémoire fin étude université de Bejaia faculté des sciences exact

