الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie mécanique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Mécanique

Option :

Energétique et thermique des systèmes

THEME

ETUDED'UN TURBO-EXPENDER ET SON APPLICATION DANS LES STATIONS DE TRAITEMENT DE GAZ NATUREL

Proposé et dirigé par,

Dr. Habib Achache

Dr.Monir.zirari

Préparé et présenté par,

ChahedMissoum

Nomenclature

-DPSL-1 : basse pression différentielle entre la pression d'huile à l'entrée desPaliers et la pression du ballon, alarme à 11bars.
- DPSLL-1 : très basse pression différentielle entre la pression d'huile a l'entreDes paliers et la pression dans le ballon, déclenchement a 9.7bars

- DPSL-2 : basse pression différentielle entre la pression du gaz d'étanchéité etLa pression du gaz au niveau de l'arrière de la roue expandeur, alarme à2,07bars.

- DPSH-1, DPSHH-1 : haute pression différentielle d'huile au niveau butéCote compresseur, alarme à 10,3bars et déclenchement a 13,8bars.
- DPSH-2, DPSHH-2 : haute pression différentielle d'huile au niveau butée coteexpandeur, alarme à 10,3bars et déclenchement a 13,8bars
- SSH-1, SSHH-1 : haute vitesse de rotation, alarme a 25000tr/min etDéclenchement a 26800tr /min.

VSH-1, VSHH-1 : haute vibration cote compresseur, alarme a 20µ et le déclenchement a 38µ
VSH-2, VSHH-2 : haute vibration cote expandeur, alarme à 20µ et le déclenchement à 38µ

C1 : Méthane.

C2 : Ethane.

C3 : Propène.

iC4 : Iso butane.

nC4 : Normo butane.

iC5 : Iso pentane.

nC5 : Normo pentane.

N2 : Nitrogène.

CO2 : Dioxyde de carbone

W : travail.

η **: Rendement.**

γ **: Exposant isentropique.**

n **: Exposant polytropique.**

C_p **: Chaleur spécifique d'un gaz.**

M **: Masse molaire.**

PM **: Poids molaire.**

T **: Température.**

H **: Enthalpie.**

S **: Entropie ou section.**

Z **: Facteur de compressibilité.**

R **: Constant spécifique.**

$\dot{Q}$ **: Débit**

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notreDieu,notre créateur, pour le courage et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.

Jeremercie mon professeur consultantMr M.ZIRARI et Mr B.RIDHA pour leurs orientations etconseils.

J'adresse mes vifs remerciements à tout le personnel de SONATRACH DP,Alrar-IN AMENAS.

Et tous lesgens qui mon aider de faire ce travail.

Jetiens aussi à exprimer mes profonds remerciements à mes enseignants deL'université de Médéa et toute ma gratitude aux membres de jury qui sont présent ici.

Chahedmissoum

Dedicace

A travers quelques expressions exprimant ma gratitude et ma profonde affection, dans ce petit espace à eux ; le jour est venu pour leur dire merci.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont la vie, l'espoir et l'amour, à ceux qu'ont veillé pour mon bien être, à ceux qui étaient présentes pendant les moments les plus difficiles durant ma vie.

A ma très chère mère et mon cher père.

A ma femme et mes enfants ibtissam, Abdeljalil, amira A mes frères et sœurs.

Atous les étudiants promotion 2017(ENERGITIQUE ET THERMIQUE DE SYSTHEME)

SOMMAIRE

Introduction générale

Résume de projet

Chapitre I : présentation de la région

-I. 1.1. La direction régionale STAH : Aperçu et historique figure I. …….01

-I.2 .Les champs d'exploitation des périmètres (champs) Suscités, sont :.-…2-3-4

-Champ stah

-Champ merksen

-I.3.1.-Organisation de la direction régionale de STAH ……..05

-I.3.2-Organigramme de la d12ivision maintenance ……06

-I.3.3LA SECURITE INDUSTRIELLE……08

- Organisation de la sécurité …….09-10

Présentation de l'usine d'alrar

Chapitre II description de procéder

-II.02- Description générale du processus de traitement de gaz naturel ……12

-1. Introduction

-II.2.2. Section de déshydratation de gaz : ……14

-II.2.3. Section de déshydratation des liquides :……16

-II.2.4. Section de refroidissement et de détente ……..17

-II.2.5. Section de fractionnement et stabilisation de condensat :……17

-II.2.5.1. Dééthaniseur

-II.2.5.2. Colonne de stabilisation du condensat……..18

-II.2.6. Compression et injection du gaz résiduel :

-II.2.7. Boucle du propane

-II.2.8. Système d'huile chaude

-II.2.9. Réinjection du gaz résiduel : Zone 15

-II.2.10. Les utilités :17

-II.2.10.1. Air service et air instrument ……..19

-II.2.10.2. Eau de refroidissement ……19

-II.2.10.3. Réseau du gaz combustible

-II.2.11 Le stockage des produits finis :

-II.2.11.1. Le stockage de GPL…….20

-II.2.11.2. Stockage du condensat…….20

-II.3. Procédé Traitement de Gaz :

-II.3.1. PRICHARD (sans turbo-expander) :……..21

-II.3.2. Procédé HUDSON (Avec Turbo-expander) :……..21

-II.3.3. Procédé MIXTE : Procédé de Traitement de gaz d'ALRAR

Chapitre III : description de turbo expender

-III.Définition des turbomachines …….23

- III .1Classification des turbomachines

-III. Généralités sur le Turbo Expander…….23

-III.2. Définition d'un Turbo-Expander

-III .2.1.Caractéristiques de la Machine 01 EC 141 :…….24

-III.2.2. Domaine d'utilisation du Turbo Expander……25

-III.2.3 Principaux caractéristiques d'un Turbo Expander …….25

-III.3.1. Parties composants la machine …….27

-III.4. Description circuit d'huile de lubrification et gaz d'étanchéité de la machine :…….32

-III. 5. Description de processus de démarrage du turbo expander ;…..34

-III.6. La Procédure d'arrêt du turbo expander ……35.

-III.7 ÉGALISATEUR AUTOMATIQUEDE POUSSÉE (A.T.E.)……..36

-III.7.1. Définition la poussée axial …….36

-III.8. Phénomène de pompage …….37

Chapitre IV : simulation

SIMULATION

IV .1 description de model

IV .2 RESULTAT ET DISCUSION……..47,53

IV.2.1 : profile de pression au niveau de compresseur…….

IV.2.2 : profile de pression au niveau de l'expender……..

Chapitre V : étude de la thermodynamique de turbo expender

-V.1. Définitions……54

- V.2. Notion sur la détente……..55

-V.3.Principes de la thermodynamique

V-.6.Travaux et rendements de compression……..57

V.14. Méthode de calcul du rendement de la Turbine EC141:59…

V.14.1. Calcul des enthalpies et entropie a l'entrée de l'expender H1 et S1 ..61
V.14.2. Calcul enthalpies, entropie de décharge à la sortie expender$\boldsymbol{H}$, $\boldsymbol{S2}$....61

V.15. Calcule thermodynamique d'un turbo-expender ……62

-coté compresseur

-coté expender

Chapitre V I : Turbo-expender a champ magnétique

Introduction……74

VI.1.2.3. Palier axial……75

VI .1.2.4. Paliers auxiliaires

VI.1.5 Amplificateur de puissance……..76

QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES PALIERS MAGNÉTIQUES …….ACTIFS

VI.3 Avantages des Turbines à paliers magnétiques ……77.

VI.07.Systheme de montage paliers Magnétiques Actifs …….80

Conclusion générale

Annexe : maintenance
-Généralité sur la maintenance
-but de la maintenance
- mode maintenance
-tableau d'alarme
-tableau cause et effet
Vanne de sécurité de la turbine

Bibliographe

ملخص:

هاذا الجهاز او هذه الالة "الضغط والتخفيض"- هي القلب في عملية استخراج السوائل من الغاز وله من الاهمية بمكان فيتبريد الغازالى اقصى درجة منهنايجب اتخاذ كل الاجراءات الممكنة بما في ذلك الصيانة الجيدة وفق متطلبات الجودة والانتاج ومن اجل جعل هذا الخيار جيد فان اختيار او تغير في الضغط ودرجة الحرارة يؤثرتأثيرمباشر على التوازن والمردودية الجهاز وفى نفس الوقت تنعكس على اداء الجهاز وجاهزيتة المقدمة من طرف الشركة المصنعة غير ممكن ا ولا يمكن ان تكون فعالة 100/100وهاذاراجع الى عوامل عدة منها ظروف التشغيل والعوامل المسيرة لها ومن اجل تقديم نتائج افضل وتحسين الخيار قمنا بمقترح استعمال جهاز " الضغط والتخفيض" يعمل بالطاقة الكهربائية يعمل بدون احتكاك وبدون تبريد ايضا بسرعة دوران هائلة وصيانة منخفضة.

Résumé :

-Le turbo Expender est influée considérablement par les paramètres de processus ،en amont tout variation de pression et température ،répercute directement sur le bilan énergétique de la machine et part conséquence le travail de détente développe par le machine . Dans ces condition larécupération des fractions condensable chutait considérablement et le rendement de la machine se dégradé.
On peut dire en ce qui concerne la performance du turbo-Expender, donner par le constructeur, quelles ne sont pas toujours réalisable et c'est du généralementà la condition d'exploitation du turbo –Expender, et aux paramètres du processus. Le turbo –Expender est le cœur de processus, donc il est nécessaire d'assurer la maintenance afin de répondreà l'exigence de production et de qualité selon les normes mondiales. Et afin de faire un bon choix dans ce type de machine, nous proposant uneétude sur l'utilisation d'un turbo-Expender de type magnétique quitourne a grand vitesse, sans frottement et sans contact et qui fonction a haute etbassetempérature, avec une évaluation de son couts de maintenance.

Abstract :

- This « turbo-Expender « of pressur and reductionis the heart of extraction of liquidsfromgasitissoimporantbecause of heatitshouldbetake all the actions like maintenance to coolinggasaccording to quality and production requirement and in order to makethiscoolinggasaccording to the requirement of quality and production in order to makethis, the change in pressure and temperaturedirectly affects the balance and the costof the machine whileat the same time reflected on the perfermance of the device.
This is due to severalfactors,includingopérating condition and factors in order to providebetterresultat and improve production itispreferable to use the pressure and redction devis ispowered by electric and without friction and withoutcooling.

I.PRESENTATION DE LA REGION STAH

I. 1 Situation géographique :

La région de Stah est située à 1800 Km au Sud Est d'Alger, à 800 Km au Sud –Est de Ouargla et à 400 Km au Nord-Est d'Illizi dont elle relève administrativement. Le climat de type désertique qui règne sur Stah se caractérise par de fortes amplitudes thermiques, mais les valeurs extrêmes des températures saisonnières sont néanmoins adoucies par l'altitude moyenne du relief qui avoisine 700m.

Les températures extrêmes oscillent autour de (+) 45°c en été et de (-) 5°c en hiver et les variations journalières atteignent jusqu'à 25°c

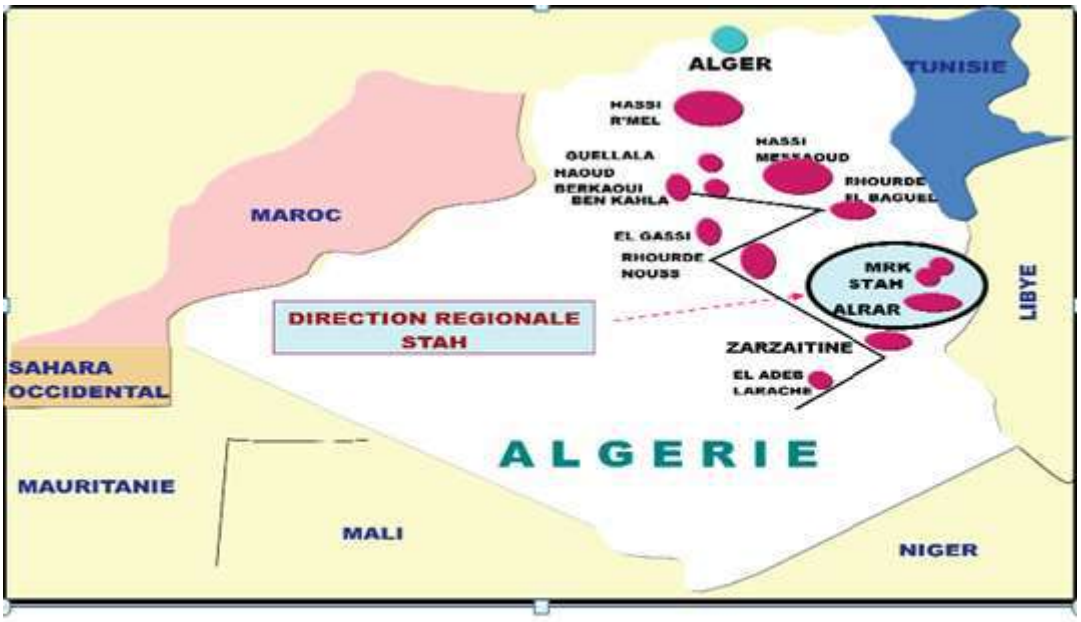


Fig. I.01 : situation géographique de champ d'ALRAR

Fig. 1.1 : Situation géographique de la région STAH

I 1.1. **La direction régionale STAH :Aperçuet historique figure I. 02**

Dépendant de la division production-Activité Amont de la CompagnienationaleSONATRACH, La direction régionale de STAH gère trois périmètres d'exploitation :

- Le périmètre pétrolier de STAH.
- Le périmètre pétrolier de MEREKSEN.
- Le périmètregazieretpétrolier d'ALRAR, ce dernier est devenule pôle principal des activités de la région.

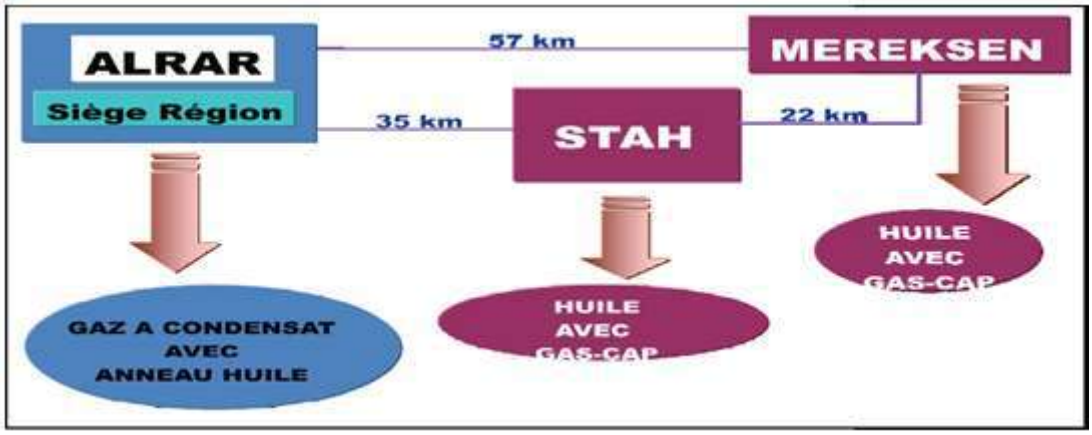
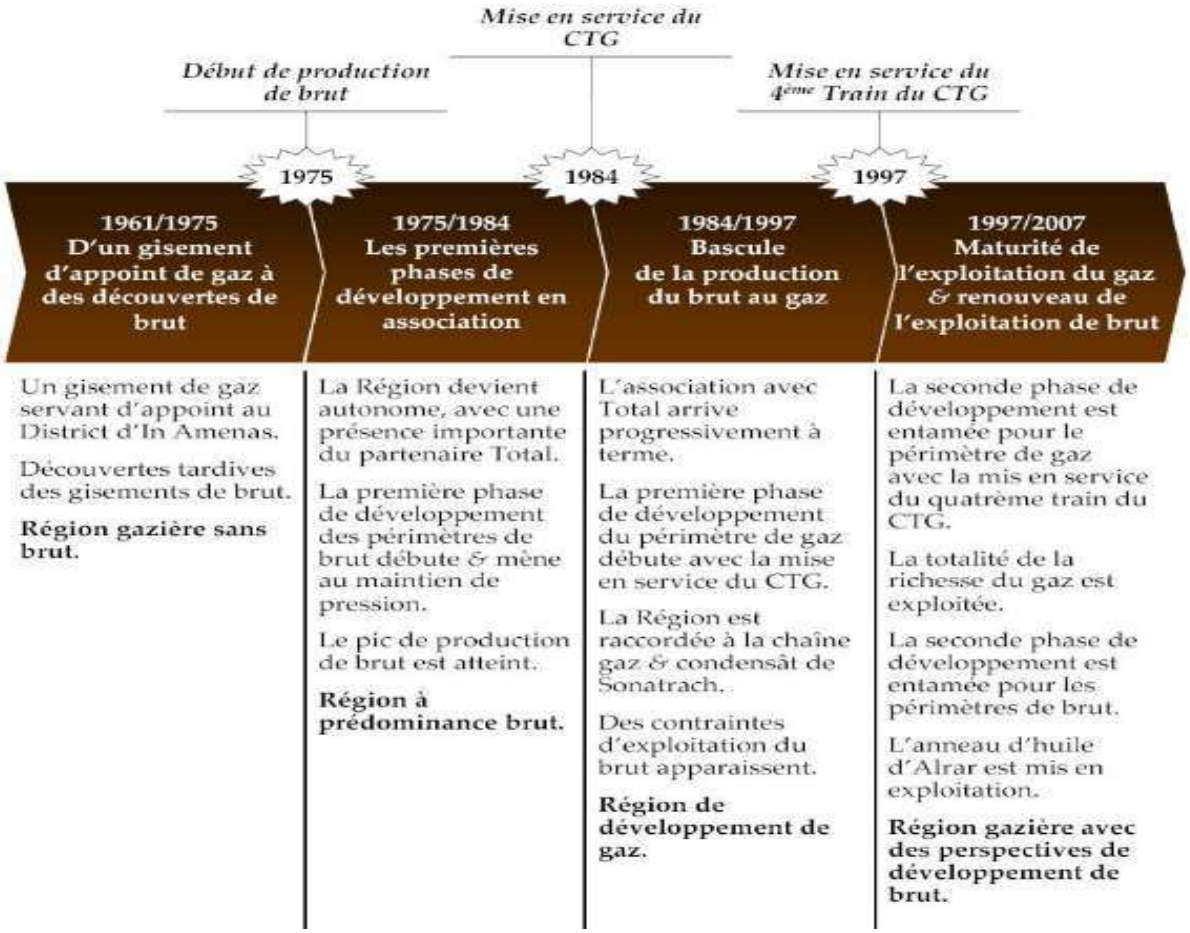


Figure I. 02

Schéma d'implantation des unités et champs d'exploitation à STAH.

Quatregrandes périodes caractérisentla chronologie historique de la région :



2 .Les champs d'exploitation des périmètres (champs) Suscités, sont :

I.2.1. Le champ de Stah:C'est un champ pétrolier situé au milieude la région de Stah, entre le champ de Mereksen et d'Alrar. Son unité de production est conçue pour stabiliser, séparer le pétrole brut du champ de Stahà partir d'une alimentation mixte des puits producteurs, avant qu'il soit expédié versMerksen.

L'opération consiste à réduire la tension de vapeur de l'huile et éliminer l'eau salée De la formation (gisement) à trois niveaux de pression à l'aide des séparateurs horizontaux à trois phases. L'unité de production de Stah est composée detrois batteries de séparation en parallèles, trois bacs de stockage de capacité globale d'environ 500 m^3, et un manifold d'arrivée des puits. La capacité totale de traitement est de 2325 m3/j.

I.2.2. Le champ de Mereksen:

Le gisement a été découvert en Mars 1974 et mis en production en Mars 1975.

L'unité de production est conçue pour stabiliser et séparer le pétrole brut du champ à partir d'une alimentation mixte des puits producteurs avant qu'il soit expédié vers Skhira (Tunisie).

L'opération consiste à réduire la tension de vapeur de l'huile et d'éliminer l'eau salée de la formation à trois niveaux de pression à l'aide des séparateurs horizontaux à trois phases.D'une capacité de traitement globale de660m^3/h, l'unité de production de Mereksen est composée de trois batteries de séparation parallèle, un séparateur gazlift, quatre bacs de stockage, une installation de pompage d'expédition et trois manifolds d'arrivée des puits.

I.2.3. Le champ d'Alrar:

Lechampd'ALRARestcomposédedeux parties,estet Ouest.

Le gaz naturel du gisement d'Alrar est caractérisé par une importante accumulation de gaz àcondensât dans les conditions de réservoir (160 bars & 130°C), d'une richesse initiale d'environ220g/m3. Au début de son exploitation en 1965, le gaz d'Alrar était expédié vers Zarzaitine pour lesbesoins en gas-lift. Le périmètre faisait alors partiede l'ancien district d'In Amenas & sonexploitation était limitée, l'ancien CTG ne procédant qu'à ladéshydratation de la production de gazde 5 puits. A partir de 1983, le développement du gisement a été entamé, avec la mise en production

De 22 puits & la mise en service du complexe d'Alrar. Entre 1984 & 1997, plusieurs étapes se sontsuccédé.

•Miseen service de la Zone 4 en 1983 pour traiter le gaz associé des périmètres de Stah&Mereksen, expédié à partir des unités de compression.

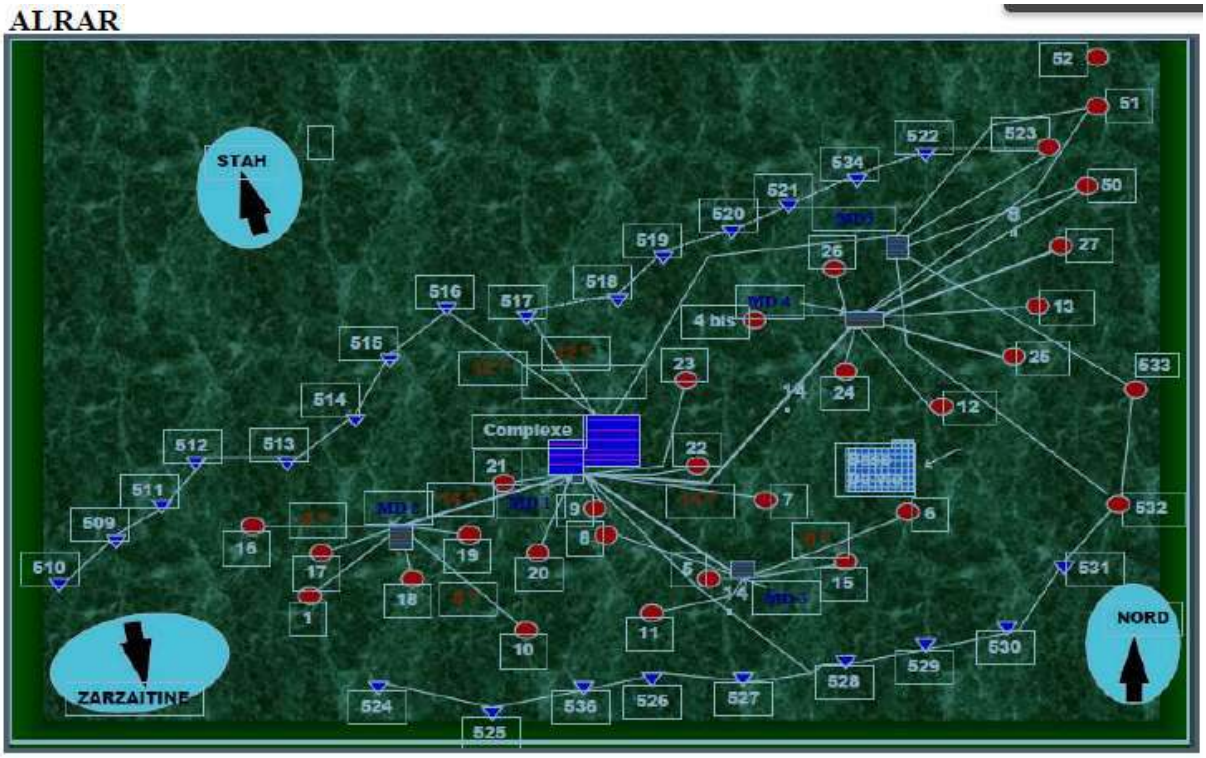
• Mise en service par Sonatrach des 3 trains de traitement de gaz du CTG, conçu par Fluor Texas,dont les travaux de construction ont débuté en 1978. La zone 15 du complexe permet le cyclagepar réinjection du gaz sec dans le gisement, tandis que le condensât est expédié vers HEH.

• Raccordement du complexe au GR1/GR2 en 1989 pour l'expédition du gaz

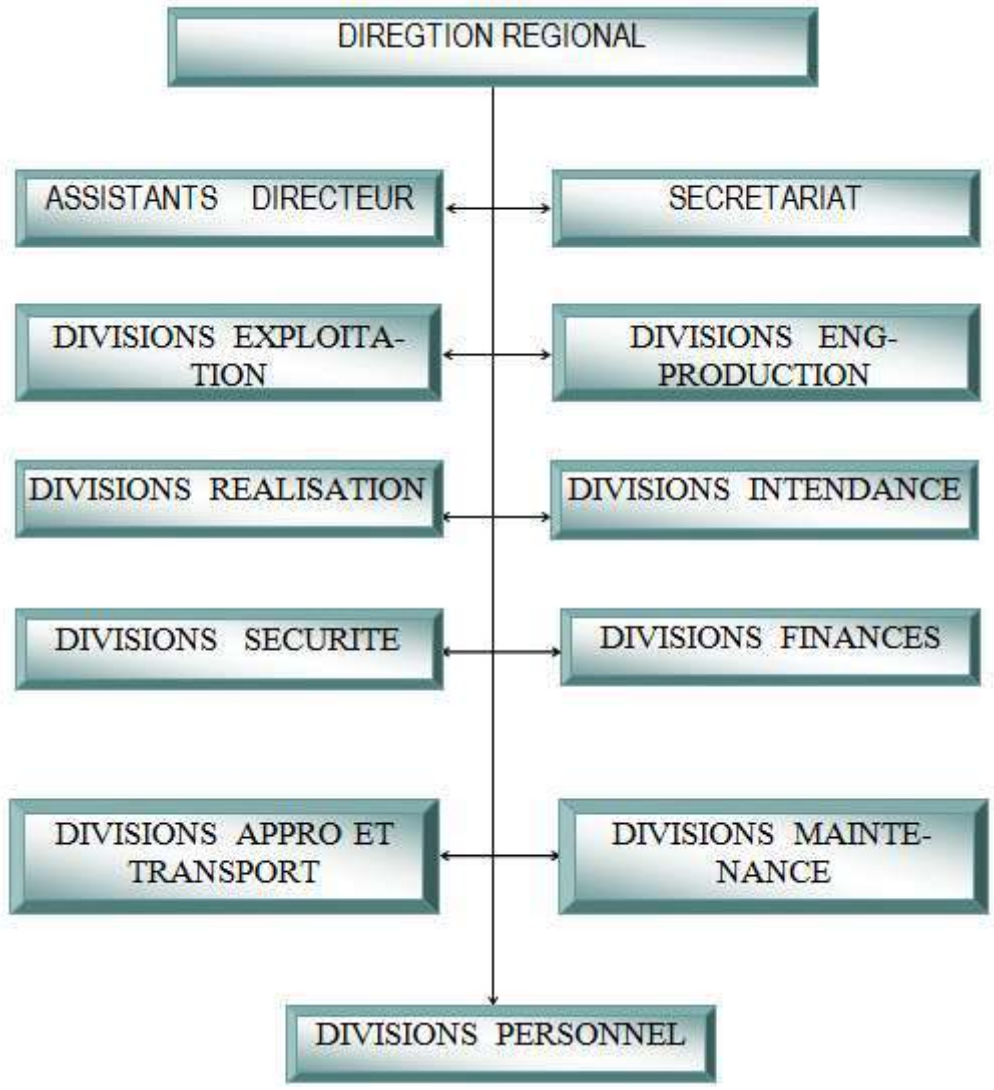
Sec.

• Mise en service du 4ème train du CTG en 1997, réalisé par MHI, ainsi que le raccordement auLR1 pour l'expédition du GPL.

La production de gaz du CTG est expédiée d'une part vers les périmètres de Stah&Mereksen pourles besoins en réinjection & vers Zarzaitine comme appoint au FGL & d'autre part vers GR1/GR2. Lecyclage du gaz par réinjection dans la partie Est du gisementd'Alrar a étéarrête.



I.3Organisationdela direction régionale de STAH :réf DP STAH SONATRACH



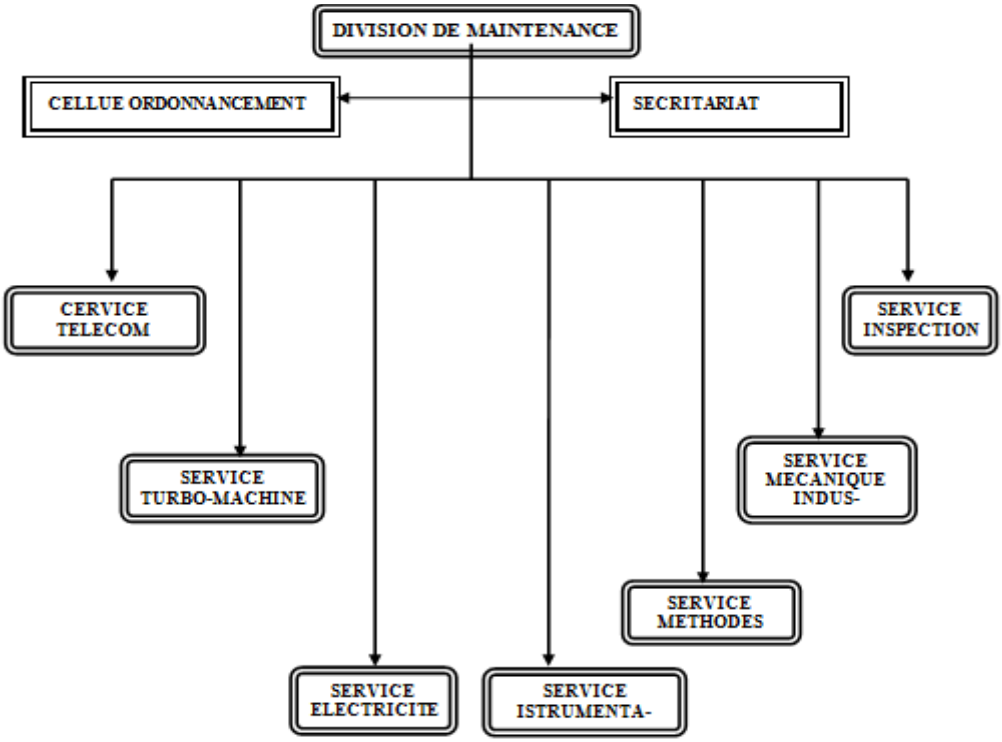
Partie maintenance :

Introduction :

Les installations est les équipements ont tendance a ce détériorer dans le temps sans l'action de causer multiples (usure, déformations, corrosions ….). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt définitif ou momentané qui influera sur les capacités de production et mettre en toute évidence la sécurité du personnel en danger.

Pour améliorer la production et la bonne conduite des différentiels équipements, les ingénieurs ont met en place une maintenance dont ils ne peuvent s'empasser, car elle est devenue indispensable pour les entreprises.

I.3.1 Organigramme de la division maintenance : réf .DP STAH SONATRACH



..

Les différentes taches de la division sont partagées par ses différents services qui sont les suivants :

- **Service méthodes et planifications :**
- Le service méthode comprend les filières suivantes :
- filière instrumentation.
- filière turbo compresseur.
- filière pompe et statique.
- filière électricité.
- filière fabrication mécanique et dessin.
- Il intervient au niveau de chaque service pour effectuer les activités suivantes :
  - Établissement des programmes de maintenance des différentes installations et équipements (électrique, mécanique, pneumatique….)
  - Planification des programmes de maintenance en fonction de la production et de l'état des équipements.

- Approvisionnement en pièces de rechange en fonction des programmes d'intervention (graissage, vidange, inspection, permutation, révision …)
- Gestion et suivi des équipements et de la pièce de rechange.
- Suivi des commandes lancées et la réception de la pièce de rechange.
- Planification et supervision des travaux lors des arrêts de programmés.

Préconisation des solutions technique de réparation

Préconisation des solutions technique de réparation

Section instrumentation puits :

Travail en collaboration des agents de la division engineering et production (instrumentation de surface des puits, telle que vanne, électrovanne…)

. Donc le service a pour but :

- La mise en œuvre des actions nécessaires pour le bon fonctionnement des équipements.
  - L'entretien des équipements (graissage, lubrification, révisions ….) et le suivi des actions programmées.
  - La collecte et l'analyse des informations sur les équipements soumis à la maintenance conditionnelle.
  - L'établissement et le commentaire des rapports d'inspection, de révision et la participation aux commentaires des offres technique.
  - La contribution à la préconisation et à la bonne utilisation des pièces de rechange et la proposition des équipements à la réforme.

Service mécanique industrielle :

Se compose de trois sections qui sont :

- **section intervention** chargée des travaux d'intervention au niveau des équipements statiques (ballon, échangeur, deéthaniseur, de butaniseur….) ainsi que des équipements tournants.
- **section prévention** chargée du suivi technique des équipements en se basant sur des mesures horaire.
- **section usinage** chargée de la réparation de pièces mécanique.

Service électricité industrielle :

Le service assure la mise en œuvre des actions nécessaires pour l'exploitation de la centrale électrique et le bon fonctionnement des équipements électrique.

Il se divise en deux sections qui sont les suivantes :

-section centrale électrique qui assure l'alimentation en énergie électrique de la base de vie Alrar(11.5KV),stah(66. KV),Zerzaitine(66KV),Mereksen(66KV) et ohanet(66KV).

-section intervention qui assure la durabilité et le bon fonctionnement des équipements par la maintenance préventive et curative de ces équipements.

Service Inspection :

Il est chargé de :

♦L'inspection industrielle pour la prévention et la sauvegarde des installations.

♦L'inspection réglementaires triennale et décennale des appareils à pression de gaz (APG) et/ou des équipements électrique (APE).

♦La réalisation et le suivi des inspections avec les organismes agrées.

- ♦ La tenue à jour d'un dossier réglementaire pour chaque équipement.

♦ L'établissement des fiches d'action pour les réparations nécessaires relevées après chaqueinspection.

♦ Le suivi et l'analyse de l'évolution de l'état des pipes.

Service Télécommunication :

Il a pour but de garantir le bon fonctionnement de l'ensemble du réseaux de télécommunication des trois champs de la région telle que : lignes téléphoniques interne , lignes téléphoniques automatiques, radio, talkies walkies, poste téléphoniques , les faisceaux hertziens , les autocommutateurs , les émetteurs , interphones , les réseaux radio VHF mobile , semi fixe , portable et l'ensemble des équipements de paraboles .

♦La mise à jour des dossiers techniques.

♦La veille au bon fonctionnement des équipements des projets LR1/LR2, GR1/GR2 aux installations PTT.

♦La prise en charge des radios de télémétrie des puits.

Service turbomachine :

Ce service est chargé de la maintenance de 17 turbines, 20compresseurs et 04 turbo expandeurs des trois champs (Alrar, Stah et Mereksen)

Ce service se compose de deux cellules qui sont :

Cellule intervention : qui intervient au niveau de l'usine pour assurer la maintenance et l'entretient des turbines et des compresseurs selon un programme et une procédure de travail tracé par la filière turbo machine

Cellule prévention : Assuré la tenue des registres des travaux quotidiens et la mise a jour des dossiers technique des équipements, ainsi que la bonne utilisation de la pièce de rechange.

I.3.2 LA SECURITE INDUSTRIELLE

1. Introduction :

L'acheminement du gaz brut des puits d'ALRAR, ainsi que son traitement à travers les différends trainsnécessite un ensemble de traitement ou de règles de sécurité.

Comme son nom l'indique, la sécurité est la protection des vies humaines et des besoins matériels. Elle lutte contre tout danger et prévoit les conditions nécessaires à l'exploitation des équipements.

La sécurité a pour but aussi de formuler des consignes préventives en informent les sujets exposes aux dangers des risques aux –quels ils seront confrontés, l'affichage est le moyen le plus utilise.

2. Organisation de la sécurité :

2.1. Service de surveillance :

Sa tâche est de surveiller plus près l'ensemble de moyens humains et matériels entrant ou sortant des installations, base de vie...etc.

2.2. Service intervention :

Ce servicea pour tâche principale l'intervention rapide en cas d'accidents ou d'incendies, il possède un ensemble de moyens humains et matériels mobiles et opère avec trois équipes sur 24 heures.

2.3. Service prévention :

Le service prévention a pour fonction principale :

*Prévenir les accidents et les incidents.

*Suivre les travaux d'intervention sur site et veiller sur l'application des consignes de sécurité.

*Etudier les dangers industriels et les accidents de la vie professionnelle.

*Etudier les statistiques des accidents et des maladies professionnelles.

*Etablir les rapports des accidents et mener des enquêtes sur les raisons de celui-ci.

3. Règles de sécurité :

Les règles de sécurité peuvent être générales ou particulières, Elles sont générales lorsqu'elles sont valables à toute personne se trouvant dans l'usine et particulières si elles concernent seulement un poste de travail bien défini.

Les règles générales de sécurité sont souvent développées et prescrites par le service prévention. Elles comportent des consignes d'hygiènes, de protection individuelle.

4. Protection contre l'incendie

- 1 Réseau anti-incendie

♦ Moyens matériels fixes

- 1 système automatique fixe de détection et extinction automatiques

♦ Moyens matériels mobiles

- Camions incendie eau émulseur & poudre
- Motopompe remorquable
- Camion-citerne ravitailleur
- Camion incendie eau
- Extincteurs

Moyens matériels fixes (complexe ALRAR)

❖ Réseau anti-incendie

Tableau n° 01 :

Lieu	Reserve d'eau m^3	Poteaux incendie	Dévidoirs	Lance monitor	Lances canons	Pompes
Complexe ALRAR	14750	125	91	31	04	06
Base de vie	1677	64	38			05

❖ Systèmes fixes

Tableau n° 02

Lieu	Equipement	Moyens de protection
Complexe ALRAR	Bacs de stockage de condensat	❖ Chambre à mousser ❖ Couronnes d'eau de refroidissement ❖ Protection de la cuvette
	Sphère de GPL	❖ Couronnes d'eau de Refroidissement
	Cigare de propane/butane	❖ Couronnes d'eau de Refroidissement

Tableau n 01 et 02 : d'après l'organisation de la division sécurité au niveau complexe alrar in amenas

*** Systèmes automatiques fixes :**

Tous les sous stations électriques, salles de contrôles, pompière GPL, rampe dechargement GPL et turbines sont dotés de systèmes de détection et extinctionautomatique.

*** Moyens matériels mobiles (complexe ALRAR**)

•camions incendie eau émulseur & poudre.

•ambulance.

•groupe électrogène.

•motopompe remorquable.

•camion-citerne ravitailleur.

•camion incendie eau

Extincteurs :

•poudre : 6 kg ,9 kg, 50kg ,250kg.

•co2 : 09kg, 06kg, 02kg.

•eau pulvérisée : 09 l.

Extincteurs :

•poudre : 6 kg ,9 kg, 50kg ,250kg.

•co2 : 09kg, 06kg, 02kg.

•eau pulvérisée : 09 l.

Accident / Incident

•Alerter et Déclarer tout accident ou incident quel que soit sa gravité (pour chercher les causes Profondes)

•Apres chaque accident :

- Etablissement d'une déclaration remplie par le médecin.
- Etablissement d'un compte rendu d'accident par le chef direct de l'accident.

II.1 DESCRIPTION DU PROCEDE

II.02- Description générale du processus de traitement de gaz naturel

II.2.1-Matière première :

Les installations de traitement de gaz d'Alrar sont alimentées par :

-22 puits producteurs d'Alrar Est.

-13 puits producteurs d'Alrar Ouest.

-Les liquides récupérés des gaz de Stah/Mereksen.

Le gaz brut en provenance des puits producteurs est collecté totalement au manifold de production. Une partie alimente le train04 : 6.2 millions de M³/jour ; l'autre partie est envoyée au diffuseur d'entrée V-403 pour alimenter les autres trains.

Composition du gaz d'alimentation :

Tableau n °01 et 02 :d'après analyse de laboratoire de division production sonatrachstah(inamenas)

N_2	C1	C_2	CO_2	C_3	Cc_4	Nc_4	Cc_5	Nc_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12+}
0.32	75.37	9.23	4.39	4.25	0.81	1.45	0.58	0.51	0.76	0.56	0.51	0.38	0.28	0.18	0.42

Composition des liquides de STAH/MEREKSEN:

N_2	C1	C_2	CO_2	C_3	Cc_4	Nc_4	Cc_5	Nc_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
0.02	15.14	16.63	0.81	26.86	5.63	18.19	5.23	6.03	3.45	1.45	0.46	0.11	0.01

II.2.2-Puits Producteurs :

La pression au niveau de la tête du puits est de 135.5 bars effectifs.

Chaque puits comporte l'équipement suivant :

-Vanne d'arrêt XV-801 à chaque tête de puits.

-Indicateurs de pression et de température en amont et en aval de la dusse de production HCV-803.

-Une duse de production HCV-803 pour contrôler le débit à partir du puits.

-Un indicateur/totalisateur de débit pour contrôler la production ; FI-802.

-Une vanne à dusse HCV-804 pour mise à l'atmosphère des gaz produits à partir du puits.

-Une vanne de détente PSV-801 pour protéger le réseau collecteur contre la surpression.

-Une pompe d'injection de produits chimiques en tête de puits, P-801, pour la fourniture de 0.0007 m³/H d'inhibiteur de corrosion au gaz de la tête de puits en amont de HCV-803.

-Un ballon de stockage de produits chimiques (V-801) pour stockage d'un mètre cube **d'inhibiteur de corrosion à la pression atmosphérique.**

1. Introduction :

- Le complexe de traitement du gaz d'Alrar a une capacité de traitement actuelle de 24 MSTDm3/j, répartie sur 4 trains identiques de même capacité. Il a comme but de récupérer le maximum de GPL et de condensât par un procès mixte de détente : isentropique par turbo expender ou isenthalpique par une vanne Joule-Thompson et de refroidissement par une boucle de propane. Cela permet de maintenir un certain niveau de récupération des hydrocarbures liquides en cas d'arrêt d'équipements névralgiques.

La production journalière actuelle de condensât est de l'ordre de2800Tonnes/j, celle du GPL est de 2400 Tonnes/j, ces deux produits s'écoulent vers les installations de stockage et de transfert, tandis que le gaz sec produit (de l'ordre de 22M Sm^3/j) est expédié par gazoduc vers HassiR'mel. Une partie de ce gaz sec peut être éventuellement réinjectée par ne station composée de 03 groupes Turbo compresseurs (Zone 15). Les gaz associés provenant des champs d'huile de Stah et de Mereksen, sont traités dans une section à part au niveau du complexe (Zone 4).

II.2. Description du procédé :

II.2.1. Section de séparation :

Le gaz d'alimentation entre dans le séparateur d'entrée (V101) à une pression de 67,4barseffectifset une température de 70°c.

Les hydrocarbures liquides provenant du V101 sont refroidis par l'aéroréfrigérant des liquides du séparateur d'entrée E105 et l'échangeur d'alimentation liquide/propane E104 jusqu'à une température de 27°C et les hydrocarbures sont expédiés au ballon de flash des liquidesV103.

Le gaz en provenantde V101 est refroidi successivement par l'aéroréfrigérantde gaz d'alimentation E101,l'échangeurgaz d'alimentation/gaz résiduel, et l'échangeur gaz d'alimentation/propaneE103 jusqu'àune température de27°Cpuis passe dans les séparateur HP V-102.Le gaz provenant du V102 est envoyé aux sécheurs de gaz d'alimentationV121 A/B dans la section de déshydratation du gaz.

Les hydrocarbures liquides provenantde V-102 sont mélangés aux hydrocarbures liquides provenant du V101 et ensuite passent dansV-103.

Le gaz provenant du V103 est envoyé au scrubber de gaz d'alimentation HP V430 dans le systèmede gaz combustible.

Les hydrocarbures liquides provenant du V103 sont expédiés aux sécheurs des liquidesV131 A ou B après enlèvement de l'eau libre dans le coalesceur ME 131.

Les eaux séparées des ballons V101, V102, V103 et ME131 sont envoyées vers le bourbier existant.

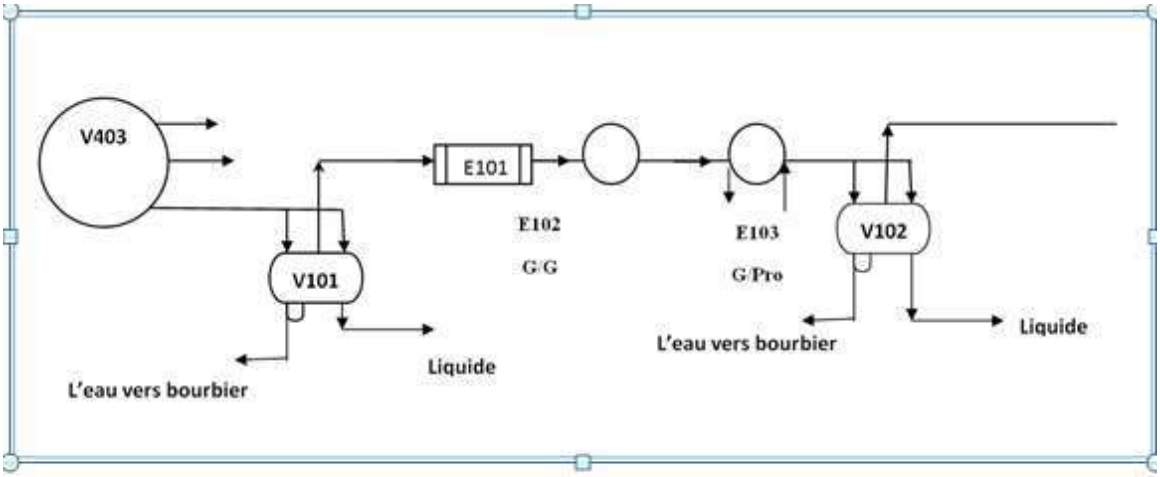


Fig. I.03 : circuit séparation tri-phasique.

Fig .I.03 : schéma de procès de la division exploitation sonatrach DP STAH (in amenass)©

II.2.2. Section de déshydratation de gaz :

Le gaz d'alimentation est séché pour prévenir les problèmes du bouchage du au givrage à basse température dans la section de refroidissement et de détente en aval.

Le gaz provenant du V102 est déshydraté dans l'un des deux sécheurs de gaz V121 A ou Bmunis detamis moléculaires. Le gaz déshydraté est envoyé au filtre F121 et passe dans la section refroidissement et expansion. Le gaz de régénération est prélevé en aval du F121 et est chauffé jusqu'auune température de 274°C par le réchauffeur de gaz de régénération des sécheurs de gaz E122 et passe dans sécheur de gaza régénéré.

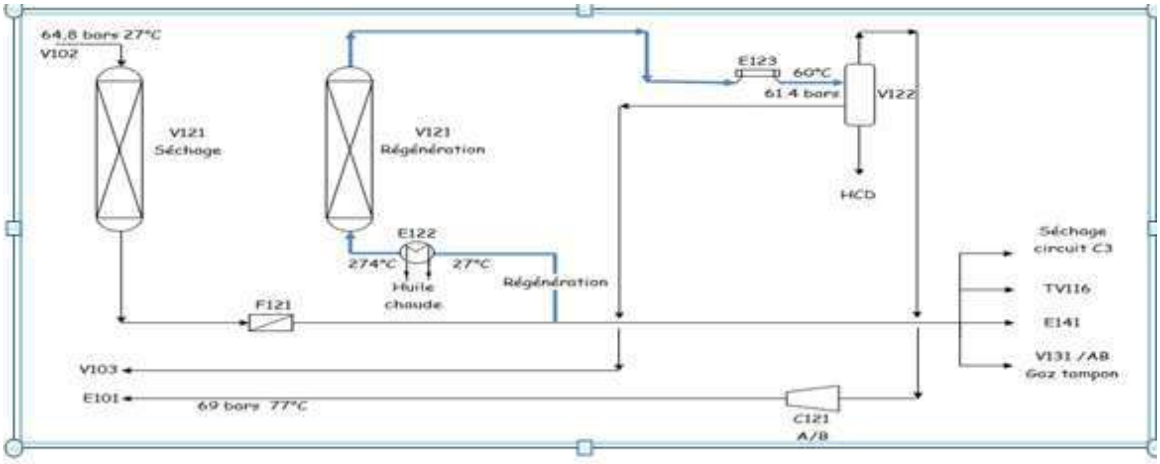
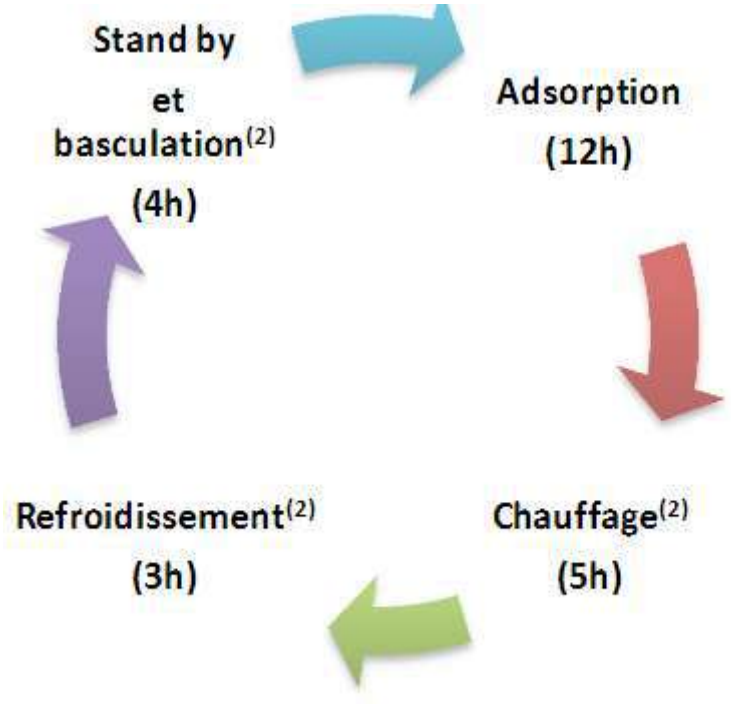


Fig. I.04 : Circuit séchage et filtration de gaz.

Fig .1.04 : schéma de procès de la division exploitation DP STAH sonatrach

Le gaz de régénération avec de l'eau strippée en provenance du sécheur de gaz est refroidi par l'aéroréfrigérant du gaz de régénération E123 et passe dans le séparateur de gaz de régénérationV122. L'eau strippée est décantée et le gaz de régénération est comprimé par le compresseur de recyclage du gaz de régénération C-121 A et B, puis envoyé vers la ligne d'entrée duE101.Les sécheurs de gaz d'alimentation sont séquentiellement basculés selon le cycle suivant

:



-

II.2.3. Section de déshydratation des liquides :

Les liquides d'alimentation sont séchés pour prévenir les problèmesdu bouchage du au givrageà basse température dans la section de déthaniseur en aval.

Les liquides provenant du coalesceur sont déshydratés dans l'undes deux sécheurs de liquides V131 A ou B munis des tamis moléculaires. Les liquides déshydratés sont envoyés au filtre

Des liquides secs F131 et réchauffés par le préchauffeur d'alimentation de dééthaniseurE166 A-D et ensuite passent dans le déthaniseur V161.

Le gaz de régénération est fourni à partir du circuit de gaz résiduel se ramifiant sur la ligne de sortie de E102 et réchauffer jusqu'à une température de 274°C par le préchauffeur du gaz de régénération des sécheurs liquide E132 et passe dans le sécheur de liquides à régénérer.

II.2.4. Section de refroidissement et de détente :

Le gaz d'alimentation séché pénètre dans les échangeurs de refroidissementE141, E142, E143 et E144, à 27°c et à 63,5 bars effectifs. L'élimination de la chaleur est accomplie par échange avec la réfrigérationdisponible dans le gaz résiduel basse pression et lesdeux niveaux de réfrigération au propane liquide à -21°c et à -40°c.Au fur et à mesure que la graduellementabaissée à -34°c, la liquéfactionse produit et offre un mélange à deux phases. Le liquide est séparé de la vapeur dans le ballon séparateur d'alimentation du turbo-expanderV141 et est introduit au niveau du 19ème plateaudans le Déthaniseur V161. Le rôlecritique du ballonV141 consiste à empêcher l'entrainement de tout liquide vers l'entrée du turbo-expander.

Les vapeurs en provenance de V141 sont détendus de 60,3 bars effectifs à 30 bars effectifsdans l'ensemble turbo-expendercompresseur EC141.Le refroidissement est produitau cours

Du procédé de détente, la température des vapeurs est abaissée de -34°c à -65°c.

A nouveau, les hydrocarburessont condensés et la séparation définitive des phasesest effectuée dans le ballon séparateur de refoulement du turbo-expanderV142.

L'énergierésultant de la détente du gaz d'alimentation dans le turbo-expanderest utilisé pour entrainer le compresseur de gaz résiduel directement accouplé. Le gaz résiduel est comprimé de 27,2 bars effectifsà environ 32,9 bars effectifs.

Le mode de fonctionnement sus détaillé fait appel à l'utilisation du turbo-expander comme élément principale dans le cas de l'exploitation normal, toutefois le train de traitement de gaz.

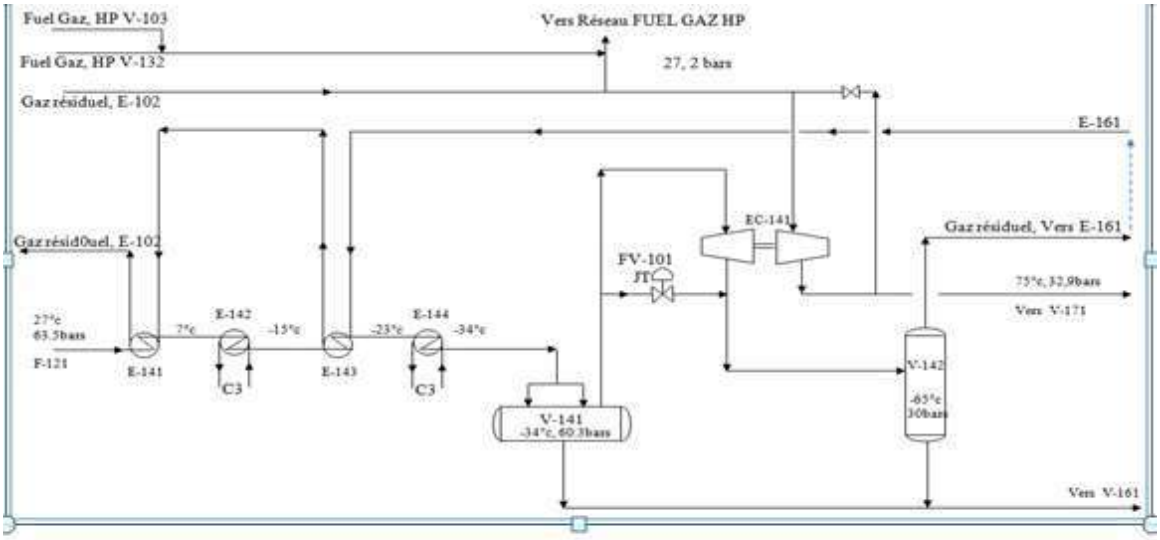


Fig. I.05 : Circuit refroidissement et détente du gaz.

Fig 1.05 : schéma de procès de la division exploitation sonatrach DP STAH (in amenas)

II.2.5. Section de fractionnement et stabilisation de condensat :

II.2.5.1. Déthaniseur :

Le déthaniseur est une colonne de reflux comportant 30 plateaux du type à clapets Fonctionnant à 26 bars. Elle est alimentée à partir des liquides en provenance de V141 Et V142 (source froide) qui sont introduits au niveau du 19ème plateau, et des liquides de flashen provenance de V131A ou V131B, des liquides de STAH/MEREKSEN, introduits au $6^{ème}$plateau (source chaude).

La colonne est conçue pour rejeter l'éthane et le méthane en assurant un haut degré de Récupération du propane plus, l'alimentation de la section inférieure de V161 est chauffée Jusqu'à 140°C par échange de chaleur avec les produits de fond de la colonne de stabilisationdu condensât V-163 dans l'échangeur E-166.

Les vapeurs de tête sont partiellement condensées dans le condenseur E161 du dééthaniseurqui est refroidies par les vapeurs en provenance du V142. Les produits éthane et méthanesont recueillis sous forme de vapeurs et acheminés vers le compresseur de gaz résiduel du

Complexe. Les liquides condensés sont refoulés par les pompes P161 A/B et injectés au

Niveau du 30ème plateau comme produit de reflux de la colonneUne partie des liquides de 1er plateau du dééthaniseur, est vaporisée dans le rebouilleurthermosiphon E162 par circulation d'huile chaude côté tube, et ce afin d'assurer lavaporisation de l'éthane du produit de fond, ces produits de fond ne sont autres que deshydrocarbures propane plus qui sont acheminés vers la colonne de stabilisation du condensâtV163.

II.2.5.2. Colonne de stabilisation du condensat :

La colonne de stabilisation du condensât V-163 fonctionne à 16,1 bars, pression à laquelle sont ramenés les liquides propanes plus provenant du dééthaniseur et introduits au niveau du 16ème plateau après avoir été préchauffés dans E-163 avec les produits de fond de la colonne de stabilisation V163.

La vapeur de tête est condensée totalement par l'aérocondenseur E164 et recueillie dans le Ballon de reflux de la colonne de stabilisation du condensat V164 puis est acheminée

Partiellement par pompe P162 A ou B vers le plateau supérieur à titre de reflux. Ces pompes Servent également à acheminer les produits liquides vers le stockage de GPL et à alimenter la colonne de fractionnement de GPL

Les produits de fond sortant de la colonne à 212°C sont refroidis à 180°C par échange de chaleur avec les produits de fond du dééthaniseur dans E163, puis passe à travers l'échangeur E-166 et la réfrigération au propane dans E167 avant d'être acheminés vers les bacs de stockage T401 A/B/C (condensât on spec) et T-402 (condensât off spec).

II.2.6. Compression et injection du gaz résiduel :

Les vapeurs de tête du dééthaniseur après chauffage passent dans le ballon d'aspiration du compresseur de gaz résiduel V170. Le 1er étage du compresseur C-171 est alimenté à partir du ballon V170 à une pression de 21.9 bars effectifs et une température de 49°c. Le gaz refoulé par le 1ér étage du C-171 et après refroidissement est ensuite mélangé avec le gaz résiduel provenant de EC-141 à une pression de 32.9 bars effectifs et une température de 75°C. Le gaz résiduel combiné est introduit dans le ballon d'aspiration 2ème étage V171.

Le gaz résiduel combiné recueilli des 4 trains est refoulé par les compresseurs C-171 à 84.1 bars effectifs dans un collecteur commun est expédiée vers HassiR'mel comme gaz de Vente et vers Zarzaitine comme gaz lift.

II.2.7. Boucle du propane :

La boucle du propane a pour but d'assurer un apport de frigories nécessairesà une récupération optimale de condensat et de GPL contenus dans le gaz brut. Le principe

consiste à comprimer le propane et le refroidir afin de réaliser sa condensation, puis à faire bouillir le liquide condensé au contact du gaz à refroidir. L'évolution du propane s'effectue avec changement d'état, faisant intervenir la chaleur latente de vaporisation. La boucle est Constituée d'un turbo-compresseur et d'un ensemble de ballons et d'échangeurs. Le système de réfrigération fournit trois niveaux de réfrigérant : -40°c, -20°c et +21°c.

II.2.8. Système d'huile chaude :

L'apport de calories nécessaires au procédé mis en œuvre se fait par l'intermédiaire d'un four dans lequel les calories produites par la combustion sont transmises par le mécanisme de la radiation, de la conduction et de la convection au fluide à réchauffer (huile). L'huile chaude à une température de 205°C est pompée du ballon V181 au moyen despompes P-181 A/B/C/D vers le récupérateur H181 de la turbine GT171, où elle est chauffééà 216°c, ensuite à 288°C dans le four H182.

II.2.9. Réinjection du gaz résiduel : Zone 15

Cette zone comporte trois groupes de réinjection : A, B, C.

Le gaz résiduel est acheminé vers le ballon d'aspiration du 1er étage du compresseur de Réinjection V251 à une pression de 80.7 bars effectifs et une température de 60°C. Le compresseur C-251 porte la pression du gaz de 80.7 à 163 bars effectifs. Le gaz chaud refoulé par C251 est refroidi jusqu'à 60°C dans l'aéro-réfrigérant E251, ensuite il est introduit dans le second étage de C251 par l'intermédiaire du ballon V252 à une pression de 260 bars effectifs et une température de 60°C. Le gaz est comprimé à 321.3 bars effectifsLe gaz chaud refoulé est refroidi à 85°C dans l'aéro-réfrigérant E-252 avant d'être acheminévers le circuit de réinjection. Une partie est expédiée vers Stah / Mereksen pour les besoins engaz lift.

II.2.10. Les utilités :

II.2.10.1. Air service et air instrument :

L'air est fourni par quatre compresseurs (deux de marque Tide-Air et deux marque Sullair) et en cas de besoin par les compresseurs axiaux des GT171 des trains 1, 2 et 3 et des GT251 de la zone 15.

Les compresseurs envoient l'air vers le ballon V432 où une partie assure le besoin d'air service à 8,6 bars effectifs après être refroidi à 54°C dans l'aéroréfrigérant E431 A ou B. L'autre partie est séchée dans les sécheurs ME403, filtrée et introduite dans le ballon d'air instrument V-433 à 6,9 bars pour être acheminée vers les ballons V184 de chaque train.

II.2.10.2. Eau de refroidissement :

L'eau de refroidissement aspirée du ballon V440 à 0,35 bars et 63,6°C par les pompes P433 A/B est refoulée à 4,3 bars effectifs, puis refroidie jusqu'à 54,4°C dans l'aéroréfrigérant E432 A ou B pour l'envoyer aux pompes P-471, P-472, P-421 et P-181. Sur le chemin de retour vers le ballon tampon V-440 l'eau est filtrée dans le filtre F-403

II.2.10.3. Réseau du gaz combustible :

Les différentes sources de fuel-gaz sont les suivantes :

*V-103 à travers la PV-107,

*V-132 à travers la PV-129,

*V-470 à travers la PV-580,

*piquage pris de l'alimentation du compresseur EC-141 et commandé par la FV-124,

*piquage pris du gaz de sortie de V-162 après la PV-138 commandée par la FV-134.

Toutes ces sources alimentent le ballon séparateur du fuel-gaz haute pression V-430 à 26,5 bars et 54°C. Les gaz sortant du V430 sont préchauffés dans E430 par l'huile chaude avant d'alimenter le collecteur de fuel-gaz haute pression des turbines à gaz à une pression de 17,2 bars effectifs et à une température de 60°C; ainsi que le ballon V431 de fuel-gaz basse pression à 3,45 bars effectifs après une détente à travers la PV-581A. Le fuel-gaz basse pression alimente les pilotes et les brûleurs des fours, les pilotes des torches, du CRD et du HCD, les ballons tampons de l'huile chaude V181, les pots d'épuration, les cigares, les sphères, le T402 ainsi que les lignes des torches et les bouts de lignes pour le balayage.

II.2.11 Le stockage des produits finis :

II.2.11.1. Le stockage de GPL :

Le GPL conforme aux spécifications est stocké, dans les trois sphères T-403 A/B/C ayant une capacité individuelle de 3978 m3, à une pression de 3 bars effectifs et une température de 2°C. L'expédition du GPL vers Haoudh-El-Hamra à travers le LR1 se fait par les pompes P-408 A/B/C à 73 bars effectifs, alimentées par les P-407 A/B/C.

Le GPL hors spécifications est stocké dans la sphère T-404 d'une capacité de 949 m3.

Les pompes P-421 A/B servent à acheminer le GPL non conforme aux spécifications vers le E104 des quatre trains pour retraitement. Pour transférer le GPL entre les bacs les pompesP-411 A/B sont prévues.

II.2.11.2. Stockage du condensat :

Le condensât en provenance de E-167 à une pression de 3,4 bars effectifs et une température de 38°C est stocké dans les réservoirs à toit flottant T-401 A/B/C. La capacité de chaque tank

est de 7276 m3.

Le condensât conforme aux spécifications est expédié vers Ohanet à 45 bars au moyen des pompes P-404 A/B ou C alimentées par les P-403 A/B ou C. Le condensât qui ne répond pas aux normes est stocké dans le réservoir à toit fixe T-402, la capacité de ce dernier est de 7994m3. Pour retraiter le produit hors spécifications on l'envoie à l'aide des pompes P-405 A ou B vers le V-103 des quatre trains, et pour le transfert inter-bacs on utilise l'une des pompes P-406 A ou B.

II.3. Procédé Traitement de Gaz :

Les procédés de traitement de gaz naturel sont caractérisé par la méthode, et les moyens de réfrigération qu'il utilisant pour la fraction des particules hydrocarbures lourds de gaz (GPL ,CONDENSATS) qu'ils sont caractérisé par certaines Spécifications.

Il existe 3 procédés de traitement sont comme suite :

II.3.1. PRICHARD (sans turbo-expander) :

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par détente avec utilisation d'une boucle de propane comme système réfrigérant, pour atteindre en fin du cycle. Des températures voisines de -23°C.

II.3.2. Procédé HUDSON (Avec Turbo-expander) :

Il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par une série de détentes complétées d'une détente à travers une machine appelée **TURBO EXPANDER**, qui permet d'atteindre un niveau de température de moins de- 40 °C.

II.3.3. Procédé MIXTE : Procédé de Traitement de gaz d'ALRAR *:*

C'est le procédé utilisé dans le complexe de traitement de gaz d'ALRAR. Est le plus performant, car il utilise le turbo-expander, la vanne joule Thomson et le boucle de propane, ou on atteint à -65°C.

Les procédés mixtes sont plus performants, car ils permettent une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

Les gaz en provenance des puits producteurs est un mélange (gaz et hydrocarbures liquides), contenant une faible proportion d'eau du gisement.

III.Définition des turbomachines :

Les turbomachines forment une famille importante d'appareils qui utilisent un fluide pour effectuer une transformation d'énergie.

De manière générale, une turbomachine est définie comme un dispositif qui permet de donner ou de retirer de l'énergie à un fluide par l'action dynamique d'un élément rotatif appelé le rotor. Le préfixe turbo provient de latin «turbinis»qui signifie«qui tourne».

III .1Classification des turbomachines

Il existe plusieurs façons de classifier les turbomachines, la première concerne le sens du transfert d'énergie. On distingue alors les turbomachines en deux catégories principales :

♣Les turbomachines qui fournissent de l'énergie au fluide, dans ce groupe on trouve les compresseurs, les ventilateurs, les pompes...

♣Les turbomachines desquelles on retire de l'énergie du fluide pour l'utiliser comme un travail mécanique, dans ce cas on parle alors de turbine.

On trouve une seconde classification des turbomachines en fonction de la direction principale de l'écoulement par rapport à l'axe de rotation de la machine, selon ce critère on a :

♣Les turbomachines axiales dans lesquelles la direction de l'écoulement est parallèle à l'axe de rotation de la machine.

♣Les turbomachines radiales ou centrifuges dans lesquelles une partie importante de l'écoulement à l'entrée ou à la sortie est dans la direction normale à l'axe de rotation.

III. Généralités sur le Turbo Expander

III.2. Définition d'un Turbo-Expander

Un Turbo-Expender ou turbine à expansion est une machine qui convertit l'énergie d'un gaz ou de la vapeur d'eau en un travail mécanique lors de son expansion dans la turbine. Cette expansion se faisant très rapidement, cela réduit énormément la quantité de chaleur cédée ou reçue par le système, en conséquence et en accord avec le1èrprincipede la thermodynamique : l'énergie interne d'un gaz décroît lorsque le travail est cédée qui pour résultat une grande baisse de température. Ceci fait que leTurbo-ExpanderFonctionne soit comme producteur du froid (dans un circuit de réfrigération) ou comme producteur de travail mécanique dans les circuits de puissance .D'où la grande utilisation des Turbo-Expander

Domaine de la cryogénie pour la production du froid (figure 01).

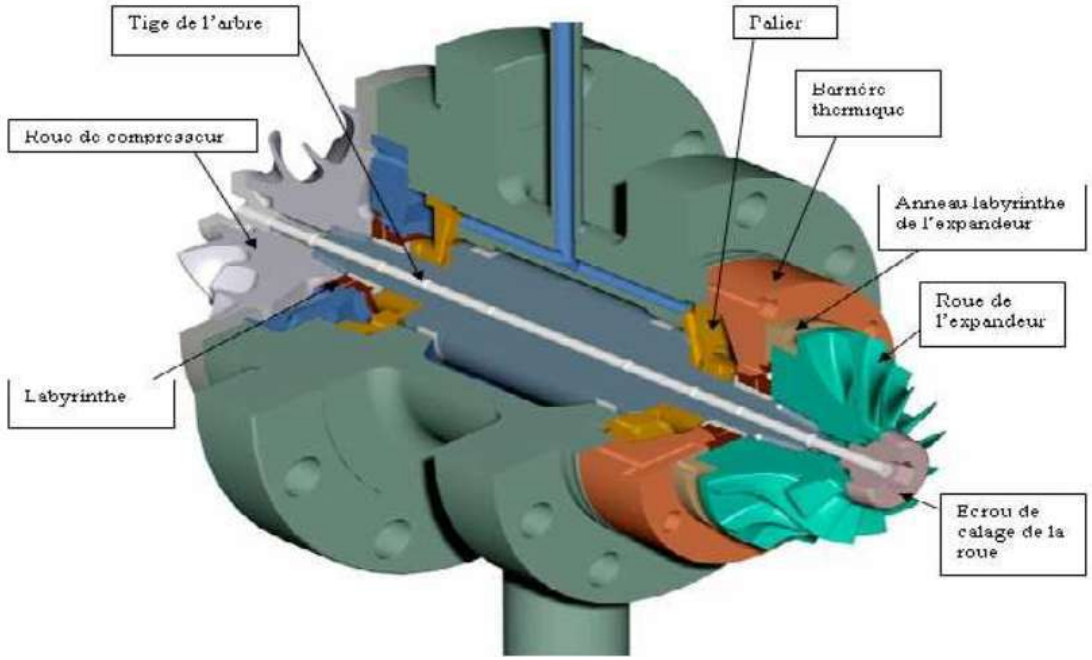


FIGURE III .02

III .2.1.Caractéristiques de la Machine 01 EC 141 :

Tableau n 01 :

	EXPANDER	COMPRESSEUR
Capacité sec (Nm^3/J)	$4{,}471.\ 10^6$	$4{,}136.\ 10^6$
Débit massique (Kg/min)	2450	2168
Pression (bar)	61,2	28 ,1
Température asp (°C)	-34	54
Pression (bar)	31	34,9
Température ref (°C)	-65	75
Rendement isentropique	85	75
Vitesse de Rotation	23000	23000
Wheel diamètre (mm)	177,5	217

Figure III.02 : d'après manuel de constructeur turbo-expender (mafi-trench)

Tableau n °01 :documentation de constructeur de turbo-expender (mafi-trench)

III.2.2. Domaine d'utilisation du Turbo Expander

•Cryogénie (refroidissement par détente d'un gaz) : Les turbo-expender sont vastement utilises dans le domaine cryogénique, grâce à leur capacité importante de produire le froid, et atteindre des températures très basse, qui conduit à une meilleur séparation, (récupération) des différents produits.

•Récupération d'énergie sur champs pétroliers (réduction de la pression) : On le conçoit plus certain type d'installations sans turbo-expander, il est largement utilisé dans le domaine de traitement du gaz.Le succès de son application, dans différents procèdes de traitement, de séparation et de liquéfaction de gaz, est dû principalement à son rendement élevé et sa grande fiabilité de fonctionnement..

•Liquéfaction de l'air et Séparation de O2et N2.

•Purification des gaz : H2 et He.

•Récupération d'éthane et GPL à partir du gaz naturel.

•Liquéfaction dugaz naturel.

III.2.3 Principaux caractéristiques d'un Turbo Expander :

•Turbine à réaction (admission radiale, échappement axiale).

•Récupération généralement réalisée en un seul étage de détente.

•Large gamme de puissance pour les utilisations pétrolières de50à 8000KW.

•Bon rendement isentropique : 80à 86%.

•Conservation du rendement à charge variable par utilisation d'aubages directeurs mobiles à l'admission (Possibilité de variation de charge de50à 120% du débit nominal.

•Bonne tolérance à la présence de condensat et de particules solides.

•Récupération d'énergie favorisée par de basses températures d'admission.

III.2.3 Principaux caractéristiques d'un Turbo Expander Les procédés de traitement de gaz naturel sont caractérisés par les moyens deréfrigération qu'ils utilisent. Parmi ces moyens nous citons :

•La vanne Joule Thompson,

•La boucle de propane,

•Le Turbo-Expander.

L'utilisation de ce dernier, très répondue, est justifiée par son efficacité pour atteindre des températures très basses qui favorisent la récupération des produits lourds.Le Turbo-Expander a pour fonction de récupérer l'énergie qui se produit lorsqu'un gaz à haute pression passe à travers la turbine pour réduire sa pression (détente isentropique).

La détente du gaz permet d'abaisser la température au-dessous de celle obtenue par l'effet JouleThompson (PRCV 108).Donc permet de récupérer une grande quantité deliquide. Cette énergie est destinée pour entraîner le compresseur en vue d'augmenter la pression du gaz avant d'être envoyé comme gaz de vente.

III.3.1. Parties composants la machine

Le Turbo-Expander est conçu par MAFI-TRENCH corporation, monté sur un châssis et équipé de son propre système de lubrification et de gaz d'étanchéité. Le gaz à traiter passe à travers le carter de l'Expander et du compresseur, dont la géométrie détermine le régime d'écoulement du gaz, en assurant une circulation aisée du gaz vers les roues à aubes, sans pertes de charge. Les composantes du système sont disposées de façon à faciliter l'exploitation et l'entretien.

Les composantes sont trois éléments principaux (Figure 02).

•La section turbine avec bride d'aspiration et refoulement.

•La partie centrale (intermédiaire) avec le mobile.

•le compresseur avec bride d'aspiration et refoulement.

La conception de cet ensemble, exige une très haute précision dans les tolérances de fonctionnement, et de qualité des matériaux de fabrication, pour répondre aux conditions de service (vitesse et température).

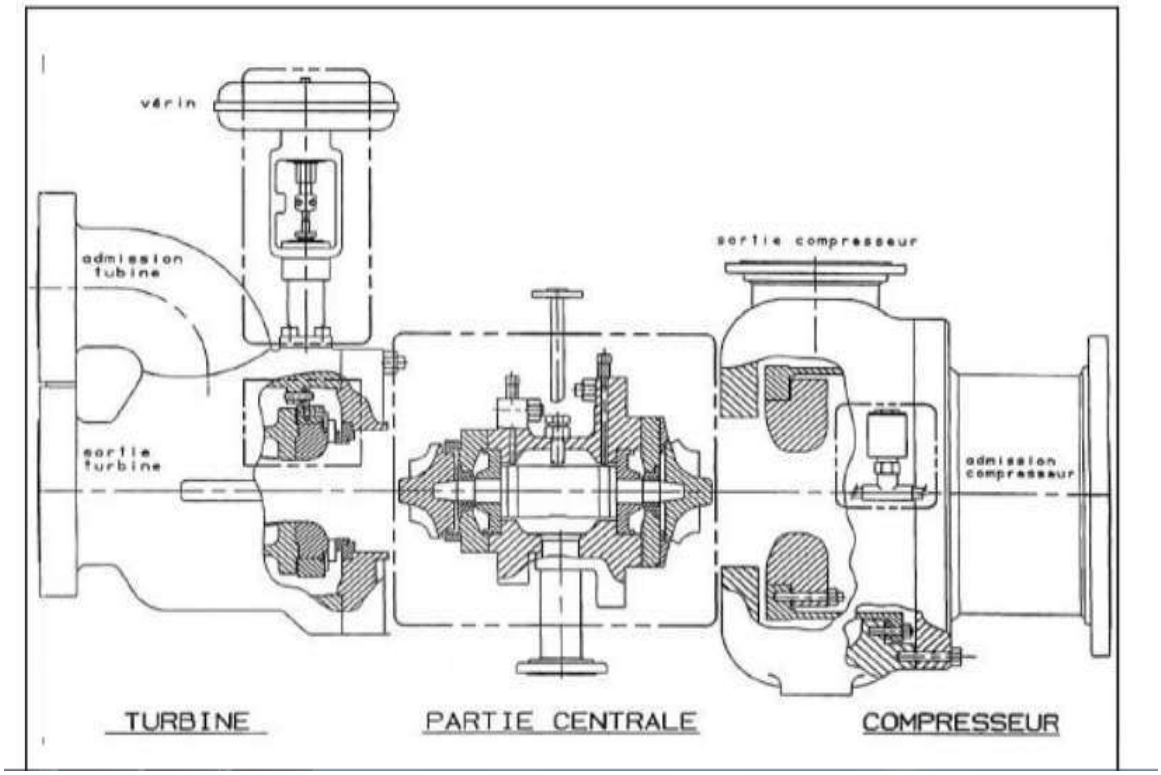


Schéma manuel de constructeur mafi-trench

III.3.2 Aubes directrice d'entrée variables :

Le but de système dobage et d'accéléré le fluide en convertissent son énergie potentielle en énergie cinétique.

Il commander avec vanne à aube variable. Elle est conçue pour régler le débit du gaz d'alimentation, en le dirigeant vers la roue de l'expander. Cette vanne est conçue pour offrir une commande positive, et une efficacité élevée dans une plage de fonctionnement étendue, grâce au vérin d'ajustement des IGV, (Inlet guidage valve). Le mécanisme est conçu, pour rester à la pression d'entrée maximale de l'expander, et peut être réglé pour faire varier l'écoulement dans une plage allant, de 0% à environ 125% du débit massique prévu.Un actionneur à diaphragme pneumatique avec positionneur intégral contrôle l'ouverture de l'aube directrice.**(Figure III-3)**

Un signal de commande à air indique à l'actionneur de régler l'ouverture de l'aube directrice d'entrée pour compenser les changements des conditions du procédé.

La figure ci-dessous représente vue de face de l'aubage directrice.



Figure III.3 : Aube directrice d'entrée variable.

II1.3.3.La roue de détente (Expander)

C'est une turbine de détente à grande vitesse (vitesse de fonctionnement de 10000t/min). Les ailettes de la turbine ont une conception mécanique un peuspéciale en forme d'un «S» pour

casser la charge de gaz et faire chuter la pression ainsi que la température.Les paramètres d'entrée de cette turbine sont= 95kg/cm2, T= -11°Cet ceux à la sortie : P=67,3kg/cm2, T=

-31°C.La perte de charge est d'environ 32kg/cm^2. Le turbo expandeur de Mafi- Trench peut fonctionner de zéro à la vitesse dedéclenchement sans craindre la mise en résonance de la roue**.**

-La nature de la matière de construction de la roue et en aluminium les avantage de ce dernier et léger il ne demande pas une grande force pour tonné par contre d'autre matière et comme on sait il tourne 24000tr/min il est convenable ; sa densité et faible 2.7g/cm^3 , pas de corsion



II1.3.4. La roue du compresseur

La roue du compresseur récupère l'énergie cinétique fournie par la roue Expander et la transforme en énergie mécanique pour comprimer (compresseur centrifuge a un seul étage)le gaz résiduel léger C1, C2 de 67à 72,1kg/cm2 et l'acheminer vers les stations de compression pour la réinjection dans le gisement ou l'expédier pour plaque et de barre et de pièces forgées massives, (figures 03 et 04). Chaque roue a été soumise à des essais de résistance aux vibrations, aux fréquences de résonance de la lame et du disque.



Figure 03 Roue cote expenderFigure 4 Roue cote compresseur

- Figure 03- Figure .04 : photo relever à l'atelier turbo –machine complexe ALRAR au cours de démontage turbo expender pour révision

1II.3.5 L'arbre

L'arbre de l'expandeur-compresseur est conçu pour opérer en dessous de la première vitesse de flexion critique et de résonance de torsion. L'arbre porte tous les pièces et les éléments mécaniques, les roues et les paliersde lubrification et les garnitures mécaniques d'étanchéité (labyrinthes) et c'est lui quifait la liaison entre les deux extrémités (roues) de la machine.

Une bande d'aluminium plaquée à chaud est appliquée sur l'arbre, dans la zone surveillée par les sondes de détection de vibrations. Cette technique et très bénéfique sur certain turbine de MAFI-TRENCH. Figure II.03

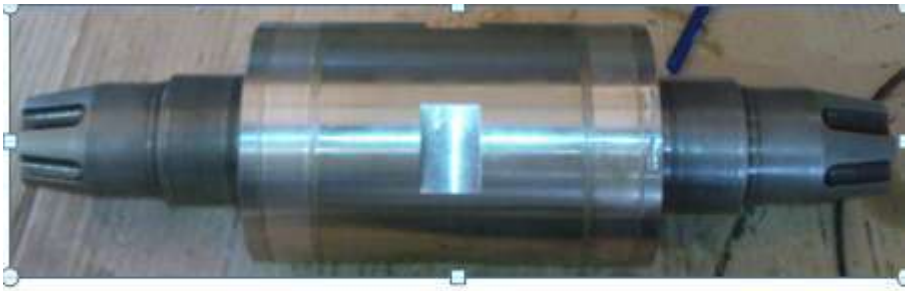


Fig. II.03 : L'arbre turbo expander.

- Figure III.03 : photo relever à l'atelier turbo –machine complexe ALRAR au cours de démontage turbo expender pour révision

Les roues sont fixées à l'arbre sur un profil taraudé spécial, avec des clavettes, et des rainures declavettes cylindriques.Cette conception évite les concentrations des contraintes associées aux languetteset aux rainures des clavettes classiques.Ce montage garantit une fixation des roues stables même en condition devitesses et detempératures extrêmes.

II1-3-6JOINT D'ÉTANCHÉITÉ DE L'ARBRE

-Les joints d'étanchéité sont du type à labyrinthe pour réduire au minimum les fuites du gaz d'étanchéité. La conception incorpore un labyrinthe rotatif en acier inoxydable remplaçable, côte à côte avec une cartouched'étanchéité en résine renforcée par des fibres verres. En cas de contact avec le joint d'étanchéité, cetteconception permet à la résine de s'user d'une façon prédéterminée pour éviter d'endommager la pièce pivotante.





Figure 5Bague joint arbre ***Figure 6 Insert joint***

- Figure .05 et Figure 06 : photo relever à l'atelier turbo –machine complexe ALRAR au cours de démontage turbo expender pour révision

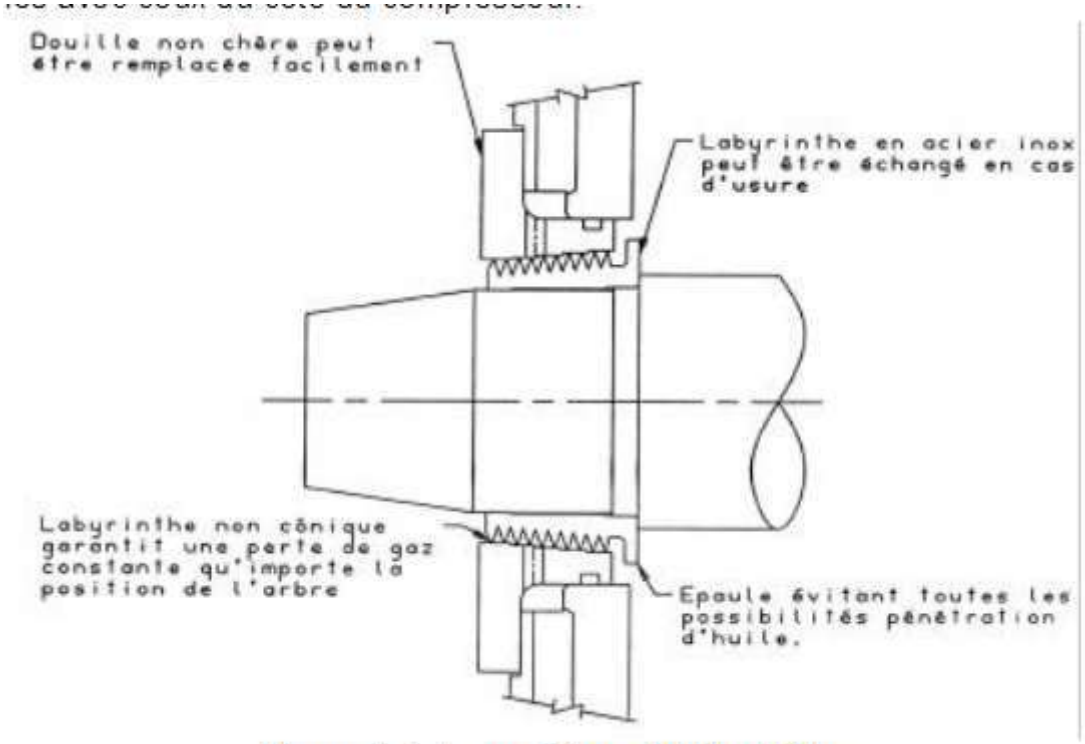


Figure 1-6 Assemblage du labyrinthe

-III.3.7Les paliers :

Les paliers radiaux utilisés dans cette machine sont du type à patins fixes à trois gorges. Ces paliers conviennent particulièrement aux vitesses élevées requises par cette application. Un détecteur de température à résistance à élément double est intégré dans le patin inférieur de chaque palier afin de mesurer la température et signaler tout dommage du palier. Sur les appareils froids, ce détecteur signale les possibilités de gel du palier et peut être utilisé comme un « inhibiteur de démarrage » jusqu'à ce qu'une température suffisante du palier soit atteinte.

Des paliers de butée sont requis pour maintenir la position axiale du rotor de la turbine dans une tolérance étroit. Les paliers de MTC sont conçus pour supporter la même charge axiale dans les deux directions.Les charges de poussée axiales sont surveillées par un orifice sonde de détection de pression située sur le côté de chaque palier. Ces signaux de pression alimentent l'égalisateur automatique de poussée (A.T.E.) qui ajuste la charge de poussée(figure07).



- Figure III.03 .07

- Figure III.03 .07: photo relever à l'atelier turbo –machine complexe ALRAR au cours de démontage turbo expender pour révision

III .3.8. Diffuseur de compresseur :

Le compresseur incorpore un diffuseur sans vanne à paroi parallèle qui donne d'excellentes performances dans des conditions anormales.

III.3.9. Sondes de vibration :

MTC a trouvé un moyen pour obtenir une indication précise de la vibration de l'arbre pendant toute la durée d'utilisation de l'arbre. Une bande d'aluminium d'environ 1 mm d'épaisseur est fixée à l'arbre sur lequel les vibrations sont mesurées par les sondes de type à déplacement sans contact. De cette manière, la composante de faux rond électrique de vibration de l'arbre est en fait annuler et les fausses indications de vibration attribuées aux anomalies de microstructures des matériaux profonds de l'arbre sont évitées

III.4. Description circuit d'huile de lubrification et gaz d'étanchéité de la machine :

III.4.1. Circuit d'huile de lubrification :

le système d'huile de lubrification est constitué d'un réservoir, d'une pompe d'huile de lubrification, d'un refroidisseur d'huile de lubrification, de filtres, d'un accumulateur, et de

commandes et d'instruments pour le contrôle de la température et la pression. Tout le matériel est monté sur un système de support commun attaché à la machinerie du turbo expander. Afin de diminuer le frottement entre l'axe du turbo expander et les paliers.

- **Pompe d'huile de lubrification :**

Le circuit contient deux pompes dont l'une est auxiliaire. Les pompes sont de type à vis entraînées par moteur électrique. Leur pression de refoulement est de 35 bars environ, pour satisfaire les besoins de lubrification.

- **Refroidisseur d'huile**

Les spécifications relatives du refroidisseur, permettent de fournir un refroidissement suffisant même dans les conditions sévères, et particulières.

- **Filtres d'huile de lubrification :**

Il ya deux filtres d'huile, qui sont munis d'une vanne de commutation à écoulement continu. Les éléments des filtres peuvent être remplacés, sans procéder à l'arrêt de la machine.

- **Accumulateurs :**

Les accumulateurs sont destinés à maintenir un flux d'huile, pendant un arrêt éventuel du pompe d'huile par manque de courant électrique, jusqu'à l'arrêt complet du mobile de l'unité. L'huile et propulsée à l'aide d'un poumon d'air, et chassée de l'accumulateur dans le système de lubrification.

- **Régulation de Pression d'huile :**

La pression d'huile est contrôlée avec une vanne automatique, la vanne est calculée pour by passer le débit excessif d'une, ou bien des deux pompes.

III.4.1.2. Principe de fonctionnement :

La pompe refoule l'huile à 35 bars qui passe par le clapet anti-retour, la vanne à trois voies TCV qui régule la température qui doit être de l'ordre de 45°C ; suivant le T° un débit passe par un des deux aéro, l'autre sur auto prêt au démarrage si TSH atteint 83 °C, puis l'huile passe par l'un des deux filtre F_1 ou F_2, un en service l'autre en attente qui prêt a la mise en service après une certaine DP, au niveau de celui qui est en service, la permutation se fait manuellement et de façon a ne pas perturber l'alimentation en huile, après l'huile passe par le clapet anti retour et s'achemine vers les paliers puis le retour vers le réservoir d'huile.(Figure III.8)

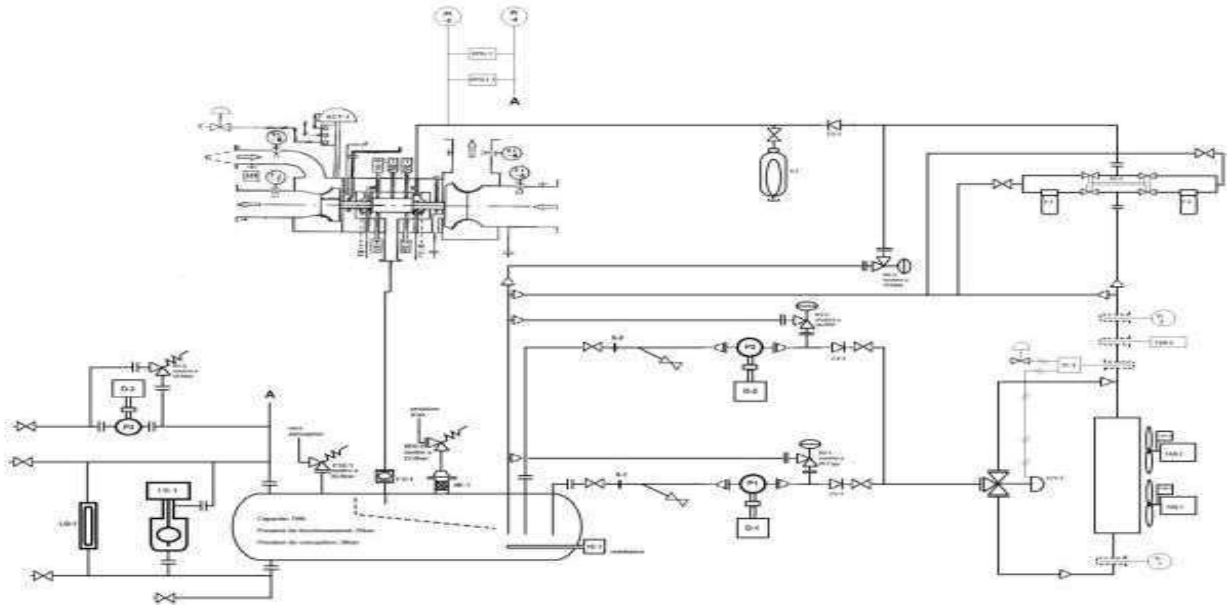


Fig. III-08 : Schéma système de lubrification turbo-expander.

(manuel de constructeur mafi-trench)

III.4.1.3. Elément de sécurité du système d'huile :

- Soupape de décharge de l'excès de pression au refoulement de la pompe (remplissage du réservoir) à 34,5 bars
- Niveau d'huile dans le réservoir « LSL » à 203 mm LSH : 1143mm
- Soupape de déclanchement de l'excès de pression dans le ballon à 30 bars.
- Soupape de décharge excès de pression refoulent des deux pompes
- Température haute démarrage de l'aéro (>83°C)

Remarque :

* huile utiliser pour le système de refroidissement du turbo expender et **tourba 46** saviscosité (45-49) densité (865-895)et point d'éclair et 420 f (fernhate….

La quantité800 litre.

III.4.2. Circuit de gaz d'étanchéité :

Le système de gaz d'étanchéité constitue un tampon gazeux de chaque côté du turbo expander afin de maintenir l'huile de lubrification à l'écart des liquides à traiter et pour éloigner le gaz de traitement froid des paliers.

III.4.2.1. Description du Système de gaz étanchéité :

Le gaz d'étanchéité, qui provient du ballon V-141 prise sur l'alimentation du turbo expander en amont de la (XV112) avec une température de -34 C°, est réchauffé au niveau d'échangeur E-146 à 46 °C passe à travers un filtre avant d'alimenter le MCS. Dans le cas où une chute de pression se produit (bouchage du filtre), une vanne la PCV agit pour le contrôle de la pression du gaz, s'ouvre pour satisfaire la pression de gaz d'étanchéité exigée.

Le point de consigne de la PCV est règle pour avoir $\Delta p = 3.45$ bar, donc la pression de gaz d'étanchéité sera 34 bar pour assurer l'étanchéité entre le gaz traité et l'huile.

III. 4.2.2. Du MCS, où logent l'arbre et ses accessoires, comprend :

-Les brides de l'ensemble de la tuyauterie attachées
-Lubrification
-Gaz d'étanchéité
-Équilibrage de la poussée axiale

- Les instruments de mesure et de contrôle des paramètres (température, pression, poussée axiale... etc.).
- La plaque anti chaleur qui comporte le labyrinthe côté expander.
- Le joint étanche à labyrinthe côté compresseur

III. 5. Description de processus de démarrage du turbo expander ;

Avant de démarrage la machine, il faut s'assurer que l'ensemble du système est disponible mécaniquement et électriquement, et qui circuit est désaéré et séché.

L'exploitation de la machine ne se fait que si les conditions de vérification sont réunies à savoir :

- Le niveau d'huile dans la caisse est 80%, la température est supérieure 20°C, dans cas contraire, vérifier le fonctionnement de la résistance.
- La disposition des vannes manuelles.
- -Disposition de circuit de gaz d'étanchéité.
- -Démarrage de la pompe P1 ou P2 en recyclage.

- -Pressurisation de l'aspiration du turbo expander et l'aspiration du compresseur à l'aide de by passe.
- - Ouverture de la vanne de refoulement expander et la vanne d'aspiration et refoulement expander.
- -Purge des points bas.
- -Fermeture de la vanne de recyclage pour augmenter la pression d'huile vers les butées.
- -Réarmement de tableau pour avoir 'prêt.
- -Actionnement START pour ouvrir la vanne XV112.
- -Chargement en agissant sur la vanne HIC 106.
- -Fermeture de la vanne de recyclage « minimum flow » du compresseur FV125.

III.6. La Procédure d'arrêt du turbo expander :

Pour un arrêt conforme du turbo expander la procédure est comme suit :

- ☞ Transformation de la charge vers la vanne joule Thomson FV101.
- ☞ Réduction d'ouverture des directrices mobiles (NOZZLES) par la HIC-106, le transfert se fait automatiquement vers la FV101.
- ☞ Apres la fermeture totale des ailettes, on ferme la vanne XV-112.

☞ La vanne FV-125 assure un débit minimum pour satisfaire les exigences de débit minimum.

III.7 ÉGALISATEUR AUTOMATIQUEDE POUSSÉE (A.T.E.)

Introduction :

Le problème qui influe sur le bon fonctionnement de turbo –expander est la force de gaz exercé sur l'arrière roues (impulser) de compresseur et de la turbine qu'est appelée **la poussée axiale**. Et d'après les indicateurs de pression reliant le système d'équilibrage de poussée axiale on remarque que cette poussée est généralement de côté compresseur, car la section de la roue est plus grande par rapport à celui de l'expander.

Cette force provoque un appui sur les paliers de lubrification qui anime des anomalies sur les paliers et la lubrification de turbo – expander, et pour éliminer ce problème on a un système breveté pour équilibré la poussée axial « **égalisateur automatique de poussée** » (ATE) « **AutomaticallyThrustEqualizer** », ce système est contrôlé par une vanne et qui

comprend un piston à double sens d'action, actionné par la pression d'huile existante entre l'arbre et le palier de butée.

III.7.1. Définition la poussée axial :

La poussée axiale est une force qui entraîne le déplacement du rotor (l'arbre) vers la butée du palier compresseur, cette poussée est dueà la présence de la pression à l'arrière roue au niveau des deux impulser (compresseur et expander), mais la résultante de ces deux forces dirigées vers le coté compresseur où le diamètre de l'impulser est plus large, par rapport à celui de l'expander.

III .7.2. Principe de fonctionnement de la vanne l'ATE :

La vanne se fonctionne selon la variation de la poussée axiale, si une poussée avait Lieu, elle créerait un déséquilibrage de pression contre les paliers des deux roues. Ceci se manifesterait par un différentiel de pression, détecté par l'ATE, et ferait actionner le piston en agissant sur la vanne qui régule la pression derrière la roue compresseur de telle sorte qu'elle prendrait sa position initial, fréquemment la poussée dirige vers coté compresseur.

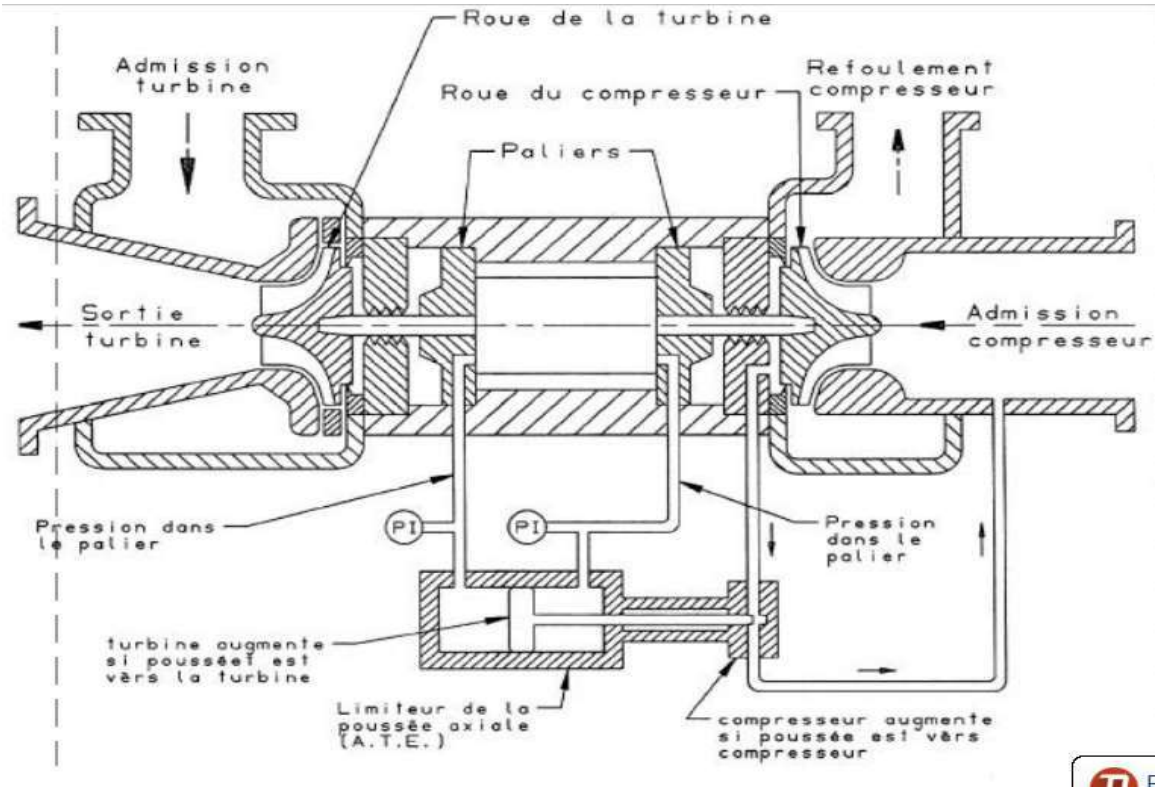


Figure III.7.2 SCHEMA DE CONSTRUCTEUR MAFI FRENCH .

III-7.2. 1ercas : poussée axiale vers coté Compresseur :

Quand la poussée axial dirigé vers le compresseur, c'est-à-dire que l'arbre tende à écrase le filme d'huile sur le palier axial coté compresseur. La pression de cette zone augmentera.

En conséquence le piston du comparateur sera poussé de façon que la tige se déplace vers le sens d'ouverture d'orifice, ce qui permettra la dépressurisation de la chambre d'arrière la roue du compresseur, par échappement de gaz, et ainsi limite la poussée axiale.

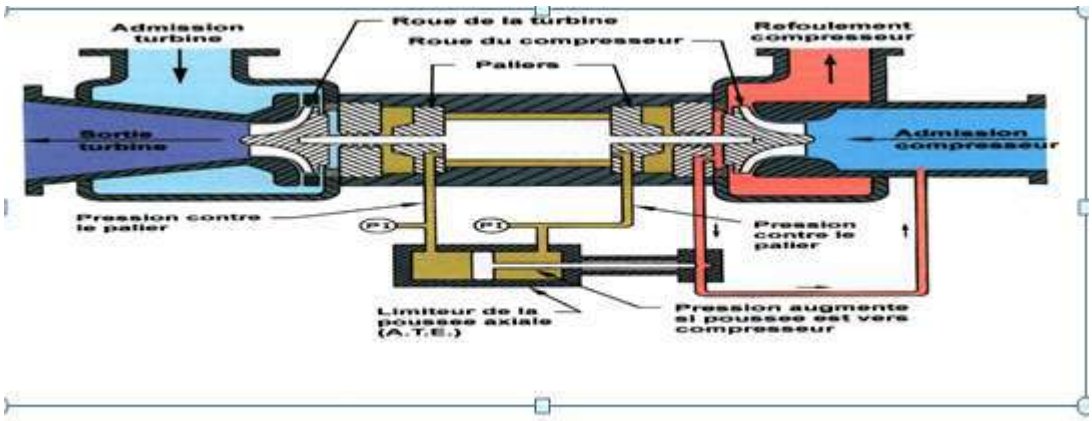


Fig. IV .02 : La poussée axiale cotée compresseur.

III.7.2. 2éme cas : la poussée axiale coté Expander :

Lorsque la poussée axiale vers l'expander, l'arbre tende et écraser le filme d'huile sur le palier axial coté turbine, ce qui engendre augmentation de pression.

Cette dernier pilote le piston, qui à son tour actionne la tige, vers la sens d'obturation du circuit de dépressurisions la chambre d'arrière la roue compresseur, ainsi que

L'augmentation de la pression derrière roue compresseur, qui tendra à tirer l'arbre vers le compresseur, et équilibre la poussée à des niveaux acceptable.

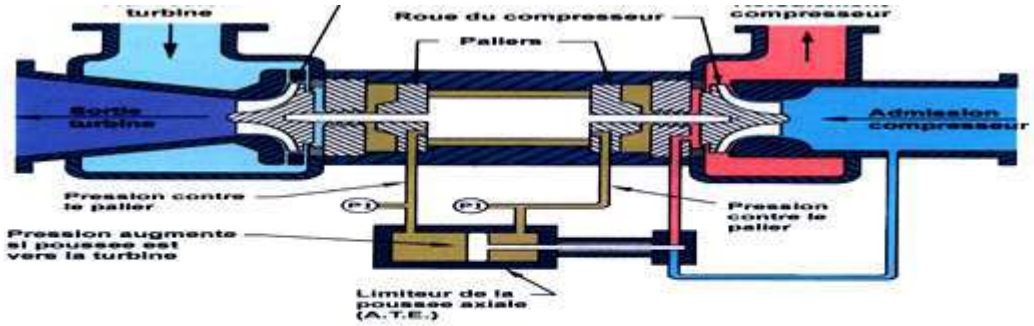


Fig. IV.03 : La poussée axiale coté expander.

III.8. Phénomène de pompage :

Le phénomène de pompage dans un compresseur axial ou centrifuge se produit lorsque le débit est suffisamment réduit pour provoquer une inversion de l'écoulement. Ce renversement

tend à abaisser la pression dans la conduite de refoulement et une onde de choc violente. Les pompages intenses sont capables de provoquer la destruction complète des composants dans le compresseur comme les aubes de la roue, les paliers et les joints d'étanchéité.

Dans notre machine le phénomène de pompage se produit pendant le démarrage lorsque la vitesse de rotation est basse. Un système de contrôle anti-pompage est donc recommandé de fournir une protection contre ce phénomène pendant le démarrage.

III.8.1. Limite de protection de pompage :

De dispositif de protection contre le pompage est installé pour que le compresseur n'atteigne pas la ligne de pompage, même lors des fonctionnements transitoires. Une marge est donc nécessaire entre la ligne d'apparition du pompage et la limite pratique de pompage, cette dernière définissant le point de consigne de la protection.

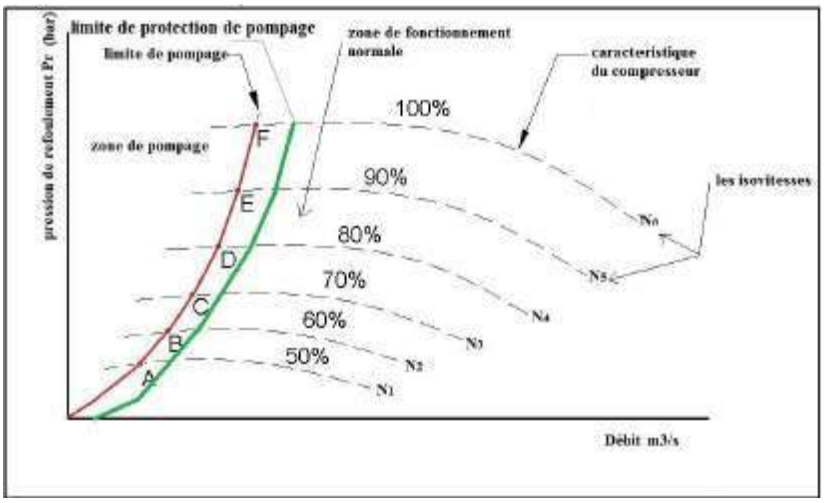


Fig. III.08.1 : Ligne de pompage et limite de protection de pompage**.**

III.8.2. Caractéristiques du pompage :

- Inversion rapide de l'écoulement (mesure en millisecondes).
- Vibration excessive du compresseur.
- Augmentation de la température du fluide transporteur.
- Bruit.

Peut provoquer le déclenchement du compresseur

III.8.3. Conséquence du pompage :

- Réduction de la durée de vie du compresseur.
- Perte de rendement.

- Réduction de la puissance du compresseur.
- Dommage mécanique des joints, des paliers, …etc.

III .8.4. Protection contre le pompage :

Principe : Le système de protection contre le pompage comporte au moins des vannes, de l'instrumentation de mesure et un système de commande. En cas de diminution du débit consécutif à l'augmentation du rapport de pression, ce dispositif a pour but :

- Soit d'augmenter artificiellement le débit traversant la machine.
- soit de diminuer le rapport de pression.

SUMILATION

Description de model

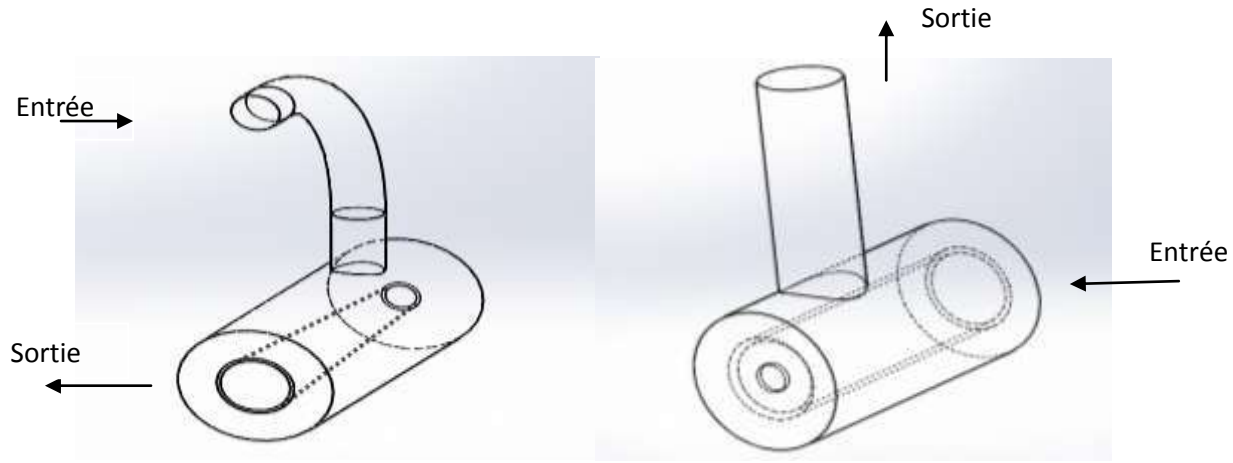


Figure 01 : expender figure 02 : compresseur

IV .1 RESULTAT ET DISCUSION

IV .1.1 Profil de pression au niveau du compresseur ;

Les figures (A, B, C) : illustrent les profils de pression en fonction de Y pour différents section (Z = 0.1m, Z= 0.85m Y= 0.9m)

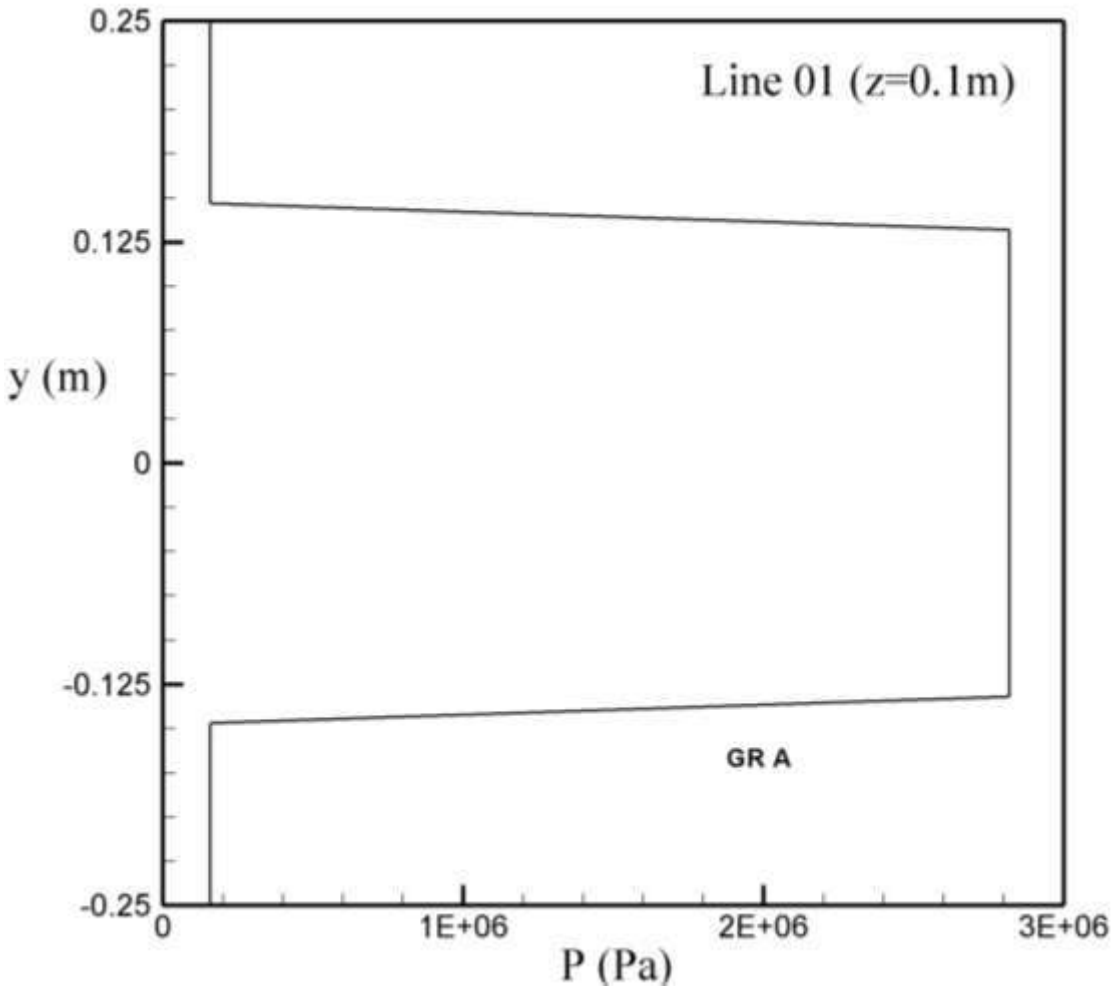


Figure A : on remarque que la pression proche de paroi haute et bas et constante avec une valeur de pression p=**1.503 bar**. Tandis que au milieu de compresseur la pression augmente avec une valeur p= **28.115bar.**

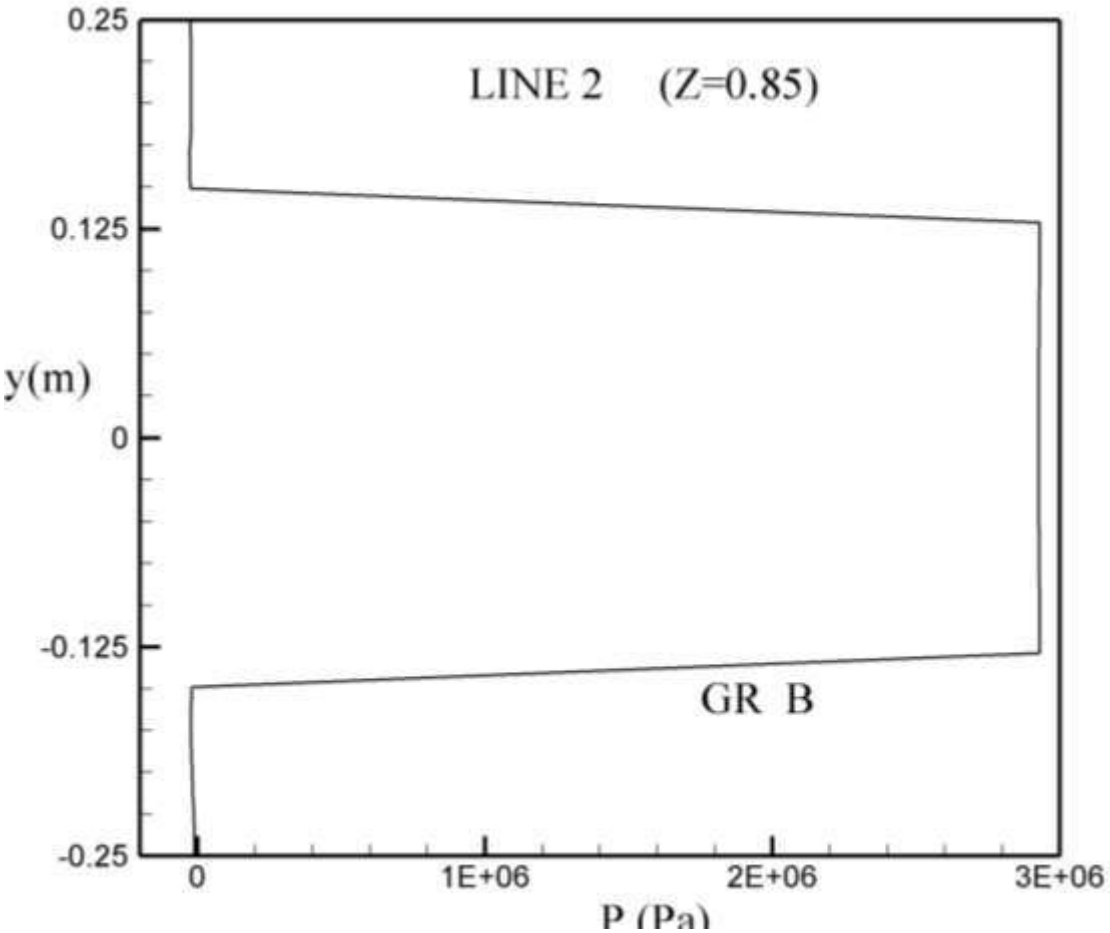
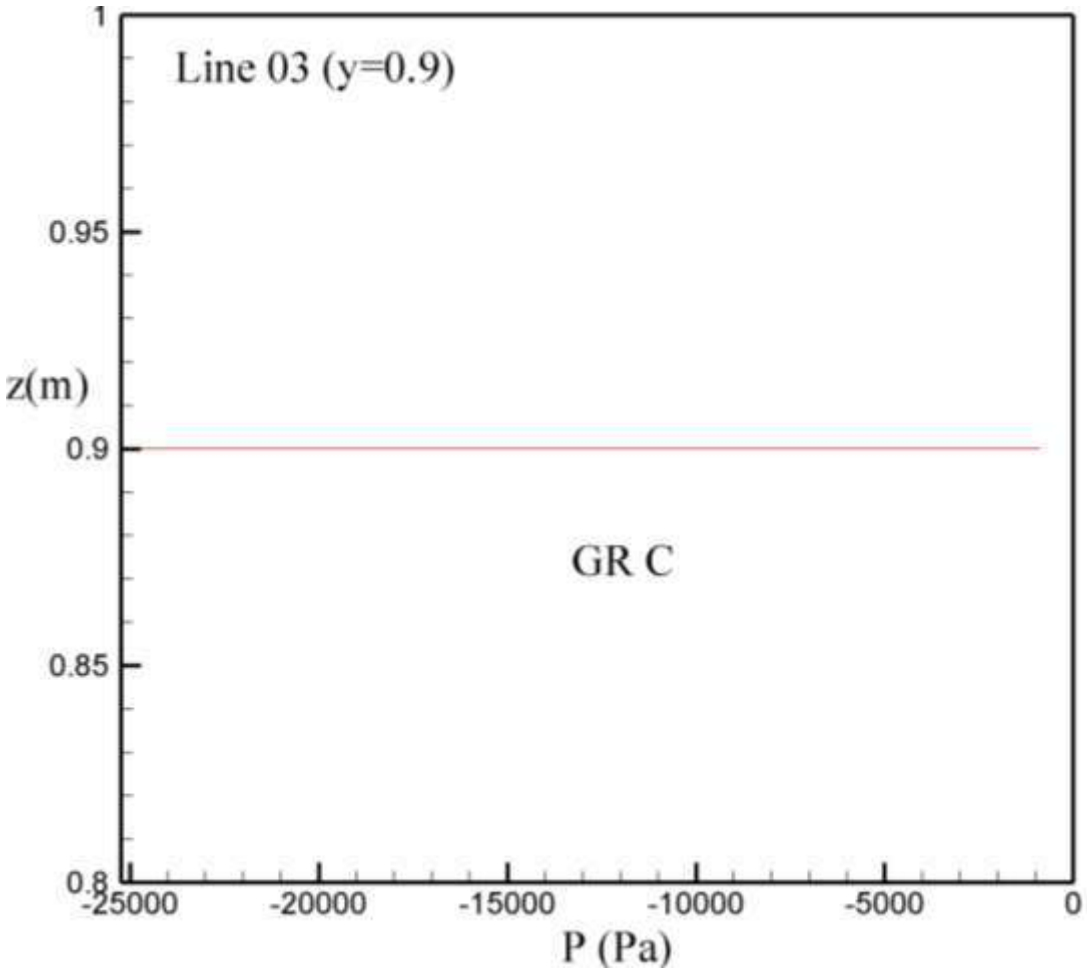


Figure B : on remarque que la pression proche de paroi haute et bas et constante avec une valeur de pression p= **0.1564 bar**. Tandis que à l'extrémité de compresseur la pression augmente avec une valeur p= **29.22 bar.**



FigureC : on remarque que la pression et avec une valeur moyenne de pression p= **0.15 bar.**

IV .1.2 Profil de pression au niveau de l'expender

Les figures (D, E, F) : illustrent les profils de pression en fonction de Y pour différents section (Z = 2.5m, Z= 1.65m Y= 0.925m).

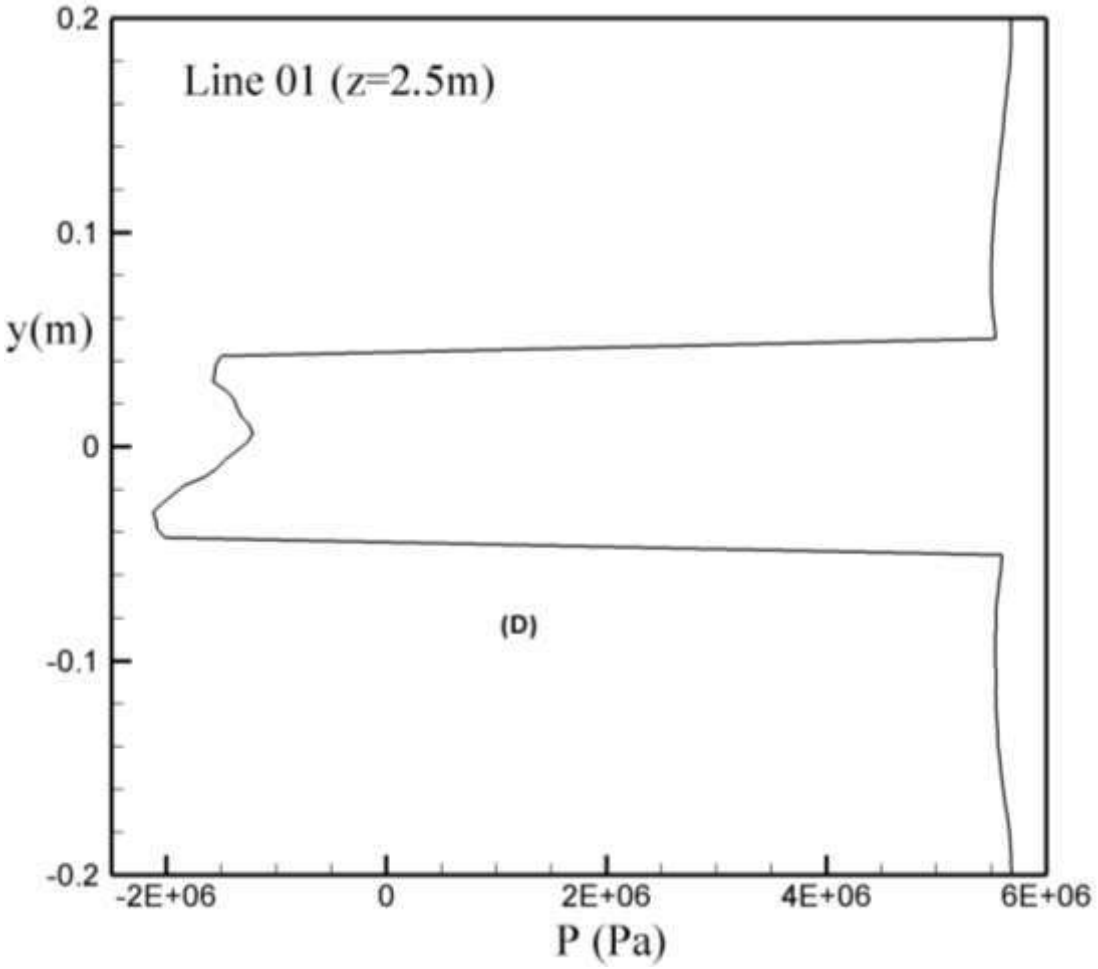


Figure D : on remarque que la pression proche de paroi haute et bas avec une valeur de pression p=**56.8 bar**. Tandis que au milieu de expender la pression avec une valeur p= **21.1bar.**

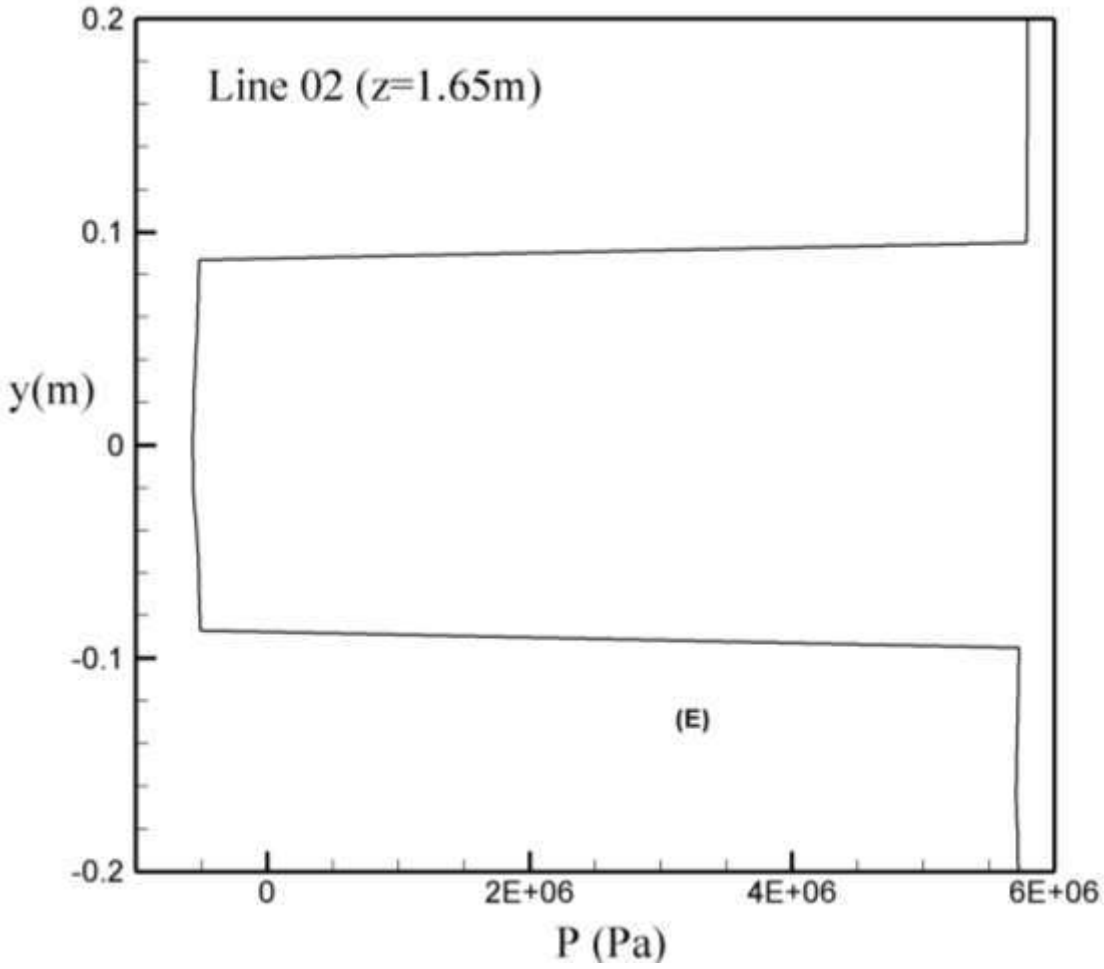


Figure E : on remarque que presque le même graphe et résultat que graphe précédent la pression proche de paroi haute et bas avec une valeur de pression p= **57.7 bar**. Tandis que au milieu de expender la pression avec une valeur p= **5.44 bar.**

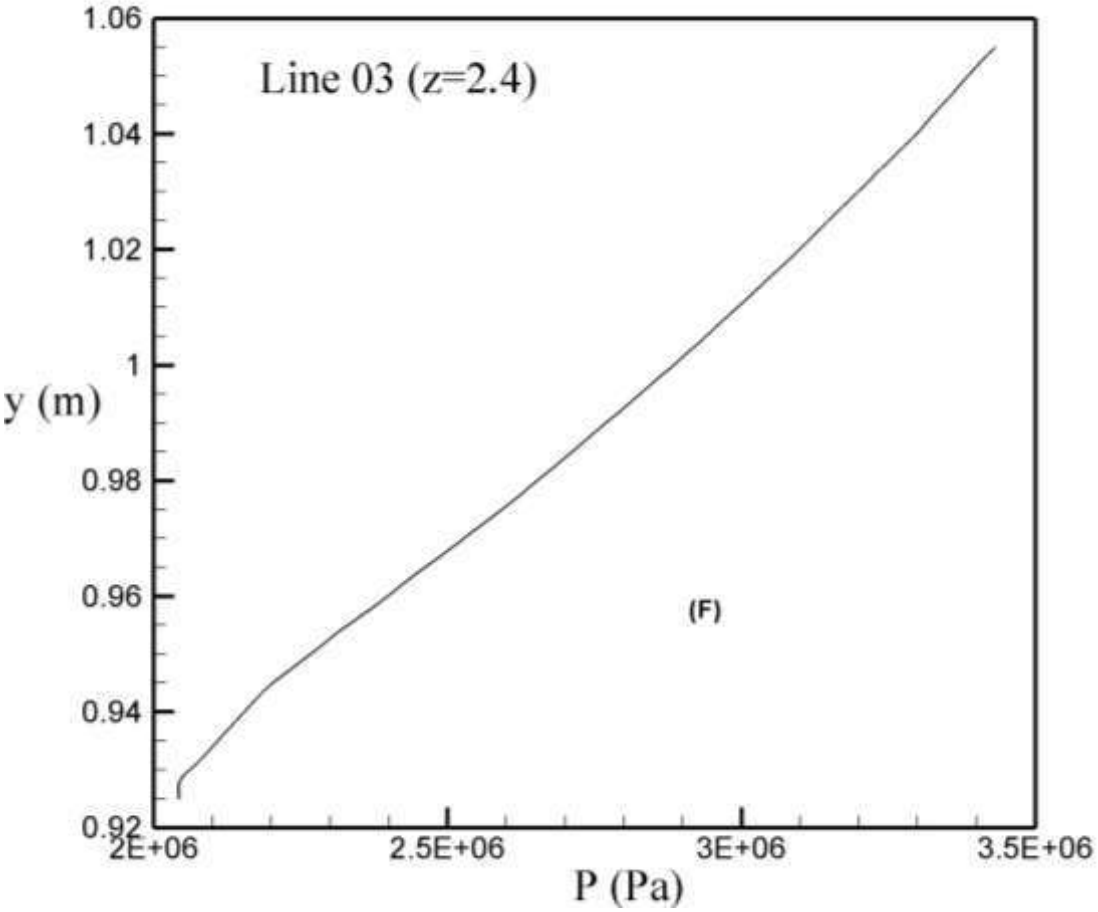


Figure F : on remarque que pression augmente progressivement valeur de pression p1=**20.4 bar**. Tandis que à l'extrémité de l'expender la pression avec une valeur p= **34.26bar.**

V Introduction :

Comme notre travail repose sur des considérations thermodynamiques en faisant appel à des grandeurs comme l'entropie, nous avons jugé utile de rappeler les principes généraux de la thermodynamique et d'établir les formes quantitatives qui les expriment

V.1. Définitions :

L'enthalpie :** l'enthalpie, qui est une propriété thermique des fluides prenant en compte l' état physique et les conditions de température et pression auxquels ils sont soumis, permet de résoudre ces problèmes de manière relativement simple**.

L'entropie :** l'entropie représente physiquement le degré de désordre dans le Système. Donc, l'entropie est une mesure du désordre dusystème et l'augmentation de l'entropie d'un système isolé (seconde principe) comme une image de la tendance versun état plus probable**.

V.2. Notion sur la détente :

La détente ou l'expansion est l'opération qui permet de produire le froid dans une installation de récupération du GPL**.**

L'expansion peut réaliser de deux façons **:**

* Par une vanne (appelée aussi de **Joule** –**Thomson**)**.**
* Par une machine (**Turbo-Expander**)**.**

V .3 Principes de la thermodynamique :

V.3.1. Premier principe de la thermodynamique :

Le premier principe de la thermodynamique exprime la conservation de
L'énergie. Il s'écrit pour un système ouvert pour l'unit de masse, en
Négligeant les variations des énergies cinétiques et potentielles du fluide en mouvement **:**

$$\Delta U = U2 - U1 = Q + W$$

Avec **:**

ΔU **:** Variation d'énergie interne**.**
Q **:** Quantité de chaleur échangée**.**
W **:** Travail reçu ou fourni par le système**.**

V 4. Détente avec production de travail (Turbo-Expander) :

Un autre type de détente peut s'effectuer dans une turbine d'expansion, l'énergie du gaz comprimé étant convertie en travail**.**

L'expansion est isolé thermiquement, l'évolution s'effectue donc adiabatique et on observe un refroidissement du gaz**.**

Dans le processus réel, l'évolution est évidemment irréversible à cause des frottements dans la turbine**.**

Cependant, dans les processus idéalisé, on admet que l'évolution est réversible est peut être considérée comme réversible.

V 5. THERMODYNAMIQUES :

Les formules et notions théoriques rappelées ci-après sont celles strictement nécessaires aux calculs des cycles et performances de turbo-expander.

V 5.1. Premier Principe de la thermodynamique :

Appliqué au turbo-expander, il s'écrit entre l'entrée (1) et la sortie (2) du fluide :

$$Wi + Q = \Delta H = H_2 - H_1 \text{.....(1)}$$

Dans un écoulement adiabatique ΔQ =0 cette relation devient :

$$Wi = \Delta H = H_2 - H_1 \text{.....(2)}$$

Soit :

Pour un Compresseur :

$$Wi = \Delta H = H_2 - H_1 > 0 \text{.....(3)}$$

Pour une Turbine :

$$Wi = \Delta H = H_2 - H_1 < 0 \text{.....(4)}$$

V5.2. La chaleur spécifique d'un mélange de gaz :

$$C_{pmél} = \sum_{i}^{n} = 1 c_{pi}\ Yi \text{ .....(5)}$$

V **5.3. Le point moléculaire d'un mélange de gaz :**

$PM[Kg/mol] = \sum_{i}^{n} =1\ MiY_i$ ……..(6)

V **5.4. L'exposant isentropique :**

$$Y = \frac{cp}{cv} = \frac{C_p}{C_p - R_g}\ C_p$$

V.**5.5. La constante spécifique de gaz :**

Rm* :** Constant universel des gaz parfait ***Rm =8,314[kj/mol.k].

Rg: Constant des gaz réels :

$$RgKj/(Kg.°K) = \frac{R_m}{P_M} = \frac{8.314}{pm} \quad \text{…… …. ……..(8)}$$

$mole$)

V.**5.6. Facteur de compressibilité Z :**

Le calcul de facteur de compressibilité Z s'effectue en fonction des paramètressuivants :

Yi, ***Tci***"***i*** et ***Ppci*** tel que : k

: La fraction molaire de chaque composant du mélange.

Tci : La température critique de chaque composant du mélange.

: La température pseudo-critique de chaque composant du mélange.

Pci : La pression critique de chaque composant du mélange.

: La pression pseudo-critique de chaque composant du mélange.

- La température pseudo-critique de notre mélange est donnée par la relation suivante :

$$Tpc = \sum Yi\ .\ Tci = \sum Tpci \text{ ……..(9)}$$

- La pression pseudo-critique de notre mélange est donnée par la relation suivante :

$$Ppc = \sum Yi\ .\ Ppci = \sum Ppci \text{ ……(10)}$$

- La température pseudo réduite est :

$$Tr = \frac{T}{Tpc} \text{ ….....(11)}$$

La pression pseudo réduite est :

$P = \frac{p}{p_c}$……(12)

Avec :

T : Température de service en °K
P : Pression de service.
T_r: Température réduite
P_r: Pression réduite

La Corrélation de Robertson :

$Z = 1 + a(x - b).[1 - \exp(-c)]$ … … … … … (13)

$X = \frac{P_{pr}}{Tpr^2}$ … … … … … … … … … … . . (13a)

$A = 0{,}1219.T_{pr}^{0.639}$ ……..(13b)

$B = T_{pr} - 7.67 + \frac{14.75}{T_{pr}}$ … … … … … . (13c)

$C = 0{,}3.x + 0{,}441.x^2$ ……(13 d)

V .6. Travaux et rendements de compression :

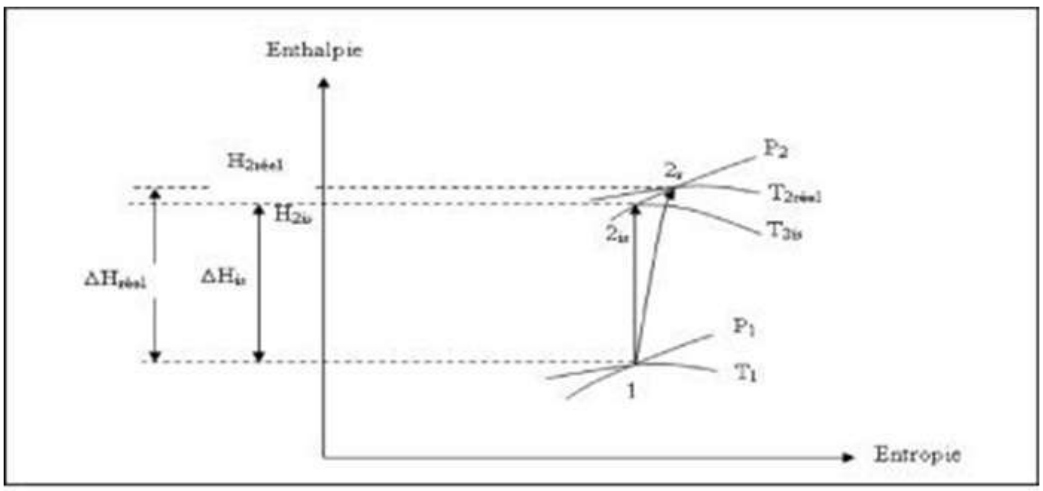


Fig. III.01: Diagramme H-S cote compresseur.

V 7. Le travail de compression isentropique est égal à :

$$W_{cis} = H_{2IS} - H_1 = C_{p\ mél}\,(T_{2is} - T_1) \text{……..(14)}$$

Pour une transformation isentropique on à :

$$PV^{Y} = \text{constante} = \frac{T_{2is}}{T_1}\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{y-1}{y}} \text{……..(15)}$$

D'où :

$$W_{cis} = \frac{y-1}{y} R_{gc}\, T_1 \left[\frac{Z_2}{Z_1}\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{y-1}{y}} - 1\right] \text{……..(15)}$$

V. 8. Le travail réel de compresseur

$$Wcr = H2 - H1 = Cpmél\ (T2 - T1) \text{…….(16)}$$

Pour une évolution poly tropique. Ces transformations réversibles, non adiabatiques, aboutissent par définition au même état final (P2, T2) que la transformation réelle. Elles obéissent à la loi :

$$\frac{P}{T^{\frac{n}{n-1}}} = \text{constante}$$

V. 9. L'exposant poly tropique n est défini par la relation :

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} \text{……(17)}$$

V. 10. Le travail de compression poly tropique a pour valeur :

$$W_{C\ pol} = \frac{n}{n-1} R_{gc}\, T_1 \left[\frac{Z_2}{Z_1}\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{y-1}{y}} - 1\right] \text{……..(18)}$$

Les rendements de compression se définissent en comparant les évolutions réversibles aux évolutions réelles. On a donc par définition.

V. 11. Rendement isentropique :

$$\eta_{Cis} = \frac{W_{Cis}}{W_{cr}} \text{……(19)}$$

V .12. Rendement poly tropique

$$\eta_{C\ pol} = \frac{W_{C\ pol}}{W_{cr}} \quad (20)$$

V.13. Travaux de détente :

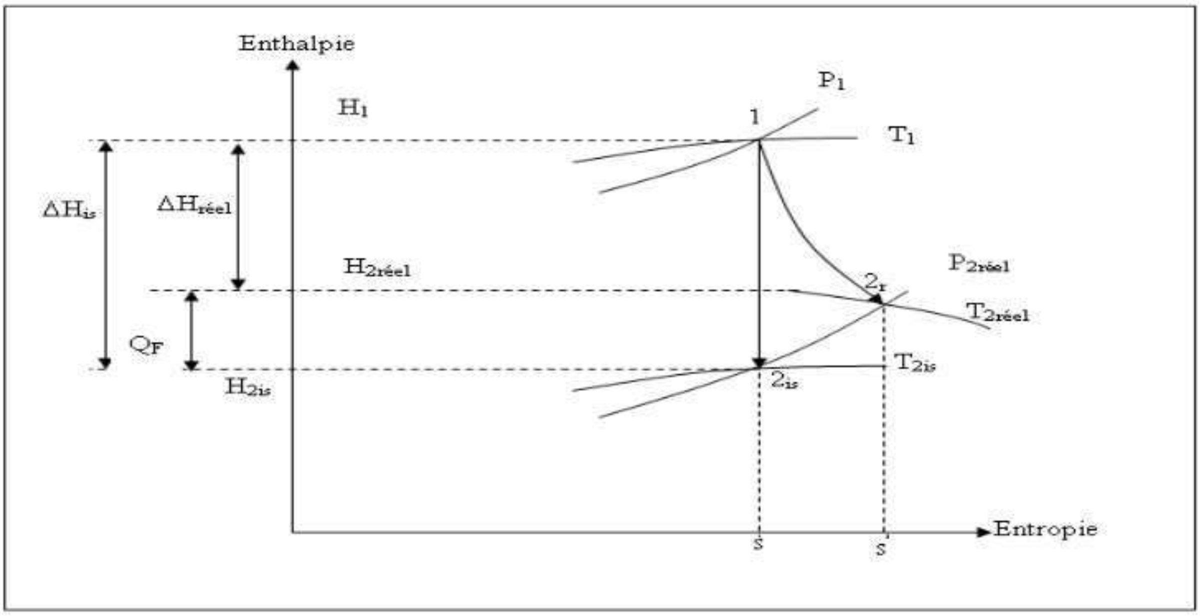


Fig.V.02 : Diagramme H-S côté Expander

Cela a pour conséquence :

- Une température de sortie T_{2r}plus levée que T_{2is} dû au réchauffement du gaz par les frottements.
- Une chute d'enthalpie ΔH_rinférieure a ΔH_{is} résumé :

$$W_{is} = H_1 - H_{2is} = \Delta H_{is} \quad (21)$$

$$W_r = H_1 - H_{2r} = \Delta H_r \quad (22)$$

V.14. Méthode de calcul du rendement de la Turbine EC141 :

Il est toutefois intéressant pour mesurer la performance d'une machine de comparer l'évolution réelle du gaz à celle qu'il aurait dans une machine adiabatique parfaite répondant aux caractéristiques suivantes :

- QF = 0 : pas de dégradation d'énergie par les frottements (réversibilité des transformations d'énergie).
- QF= 0 : machine adiabatique : pas d'échange de chaleur avec l'extérieur (la machine est calorifugée)

Le rendement de la machine adiabatique est finalement : le rapport entre le travail réel et le travail isentropique :

$\eta_{ad} = \frac{W_{r\,éel}}{W_{is}} .100$ ……(22)

$= \frac{\Delta H_{r\,éel}}{\Delta H_{is}} .100$……(23)

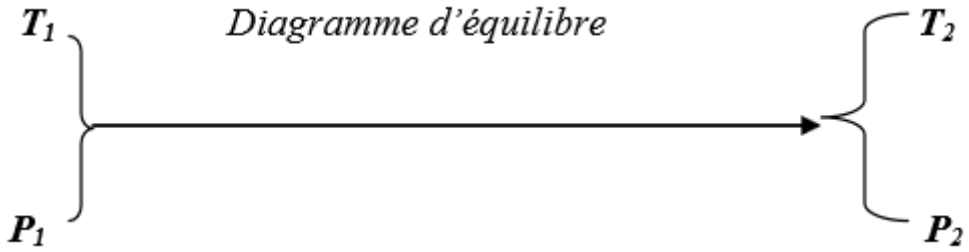
Ou

$\Delta H_{is} = H_1 - H_{2is}$……(24)

$\Delta H_{r\,éel} = H_1 - H_{2r}$……...(25)

V.14.1. Calcul des enthalpies et entropie a l'entrée de l'expander H1et S1 :

Après la connaissance de la composition du gaz à l'entrée de l'Expander et la température
T1et la pression P1
A l'aide des diagrammes d'équilibre de chaque composant on tire La valeur de Hi et de Si à l'état correspondante



L'enthalpie totale au point (1) (l'entrée de l'Expander) est la somme des enthalpies

$$H_1 = \sum_i^n = 1 \quad Y_i x H_i, \quad i = 1,2,3 \ldots\ldots\ldots . n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

Ou :

Y_i : La fraction molaire de chaque composant dans notre mélange gazeux. De même façon : S1 :

L'entropie totale au point (1) (l'entrée de l'Expander) est la somme des enthalpies

$$S_1 = \sum_{i=1}^n = 1 Y_i x S_i, \quad i = 1,2,3 \ldots\ldots\ldots . n \ldots\ldots\ldots\ldots (27) \ldots$$

V.14.2. Calcul enthalpies, entropie de décharge à la sortie expander H_2 ,S_2

Dans le cas d'un turbo-expander, la détente dans la turbine (expander) s'accompagne avec un changement d'état du gaz et de sa composition. Après la décharge à une température très basse ; on a un mélange bi phasique (liquide –vapeur) ; donc l'enthalpie à la sortie de l'expander est la somme des enthalpies liquide et vapeur.

$$H_2 = e.H_v + (1 - e).H_L \quad \text{.....(28)}$$

De même façon pour l'entropie :

$$S_2 = e.S_v + (1 - e).S_L \quad \text{.....(29)}$$

D ' o ù :

e: Taux de vaporisation (représente le pourcentage du vapeur à la sortie de la machine).

$\boldsymbol{HV}$: Enthalpie de la phase gazeuse à la sortie.

$\boldsymbol{SV}$: Entropie de la phase gazeuse à la sortie.

H_L: Enthalpie de la phase liquide à la sortie

S_L : Enthalpie de la phase liquide à la sortie

V 14.3. Le travail effectif de la détente :

$Weff = Wtr \,.\, \eta m$ ..... (30)

V.14.4. La puissance effective de la détente :

$Peff = Weff \,.\, Qm$..... (31)

V.15. Calculs thermodynamique d'un turbo-expander (Cas actuel) :

- **Coté compresseur :**

T_e = 52 °C , P_e = 28 $bars$; T_s = 72 ° , Ps = 34 $bars$.

TABLEAU N 1

Eléments	Y_I	Mi	∑Yi, Mi	$Cp1$	∑Yi,c **1**	$Cp2$	∑Yi, $Cp2$
N2	0.0045	28,013	0.1260	1.0404	0.0046	1.0410	0.0046
Co2	0,0428	44.01	1.8836	0.8704	0.0372	0.8901	0.0380
C1	0,8781	16.043	14.0873	2.2832	2.0048	2.3526	2.0658
C2	0,0650	30.07	1.9545	1.8574	0.1207	1.9415	0.1260
C3	0,0085	44.097	0.3748	1.7910	0.0152	1.8822	0.0160
I-C4	0,0004	58.124	0.0232	1.7895	0.0007	1.8841	0.0007
n-C4	0.003	58.124	0.0174	1.8137	0.0005	1.9028	0.0005
I-C5	0	72.151	0	1.7745	0	1.8690	0
	1		18.4668		2.1837		2.2518

TABLEAU N 2

Eléments	Y_I	P_C	$\sum Y_I . P_C$	T_C	$\sum Y_I . P_C$
N2	0.0045	33.99	0.1530	126.1	0.5674
CO2	0.0428	73.82	3.1594	304.19	13.0193
C1	0.8781	46.04	40.4277	190.5	167.2780
C2	0.0650	48.8	3.1720	305.4	19.8510
C3	0.0085	42.49	0.3611	369.82	3.1434
I-C4	0.0004	36.48	0.0146	425.16	0.1700
n-C4	0.0003	37.97	0.0114	408.1	0.1224
I-C5	0	33.81	/	460.39	/
n-C5	0	33.69	/	469.6	/
∑	1		47.2947		204.1515

TABLEAU N 1 -2 :SUR L' ANALYSE DE GAZ DE LABORATOIR DE LA DIVISION EXPLOITATION COMPLEXE STAH

$$C_{Pmoyen} = \frac{C_{p1+C_{P2}}}{2}$$

$$C_{Pmoyen} = \frac{2.1837 + 2.2518}{2}$$

$$C_{Pmél} = 2021775 kj/kg°k$$

$$R=\frac{8.314}{18.4668} = 0.4502 kj/kg°k$$

$D=\frac{PM}{29}$ A.N : $D=\frac{18.4668}{29} = 0.6367$

$$\rho_e = \frac{P_e}{r \times Te} = \frac{28x10^5}{450..2x(52+273)} = 19.13 \ KG/M^3$$

$$\rho_s = \frac{P_s}{r \times Ts} = \frac{34x10^5}{450.2 \times (72+273)} = 21.89 KG/M^3$$

Donc : $\rho_e = 19.13 \ KG/M^3$ .et $\rho_s = 21.89 \ KG/M^3$

$$Y = \frac{C_{pm}}{\left[C_{pm} - r\right]}$$

$$Y = \frac{2.21775}{2.21775 - 0.4502} = 1.2545$$

Température pseudo critique $T_{pc} = 204.1515\ ° k$

Pression pseudo critique $P_{pc} = 47.2947\ bars$

Pour utiliser les courbes de compressibilités Z=f (Tr, Pr) on doit déterminer la

Pression réduite et la température réduite.

A.N

$$T_{pr} = \frac{325}{204..1515} = 1.5920$$

$$P_{pr} = \frac{28}{47..2947} = 0.5920$$

Donc :

Calcule de Z_1 :

P_{PR}	T_{pr}	X	A	B	C
0.5920	1.5919	0.2336	0.1639	3.0975	0.0941

Z_1 (28 bars.325° k) = 0.9578

Calcule Z_2 :

$$T_{pr} = \frac{345}{204.1515} = 1.6899$$

$$P_{pr} = \frac{34}{47..2947} = 0.7189$$

P_{PR}	T_{pr}	X	A	B	C
0.7189	1.6899	0.2517	0.1703	2.6582	0.1034

$Z_2 = (34\ bars, 345° K) = 0.9597$

Calcul travail de compression isentropique :

$$W_{cis} = \frac{y}{y-1} R_{gc} T_1 \left[\frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{y-1}{y}} - 1\right]$$

$$W_{cis} = \frac{1.2574}{1.2574-1}\ 0.4502.325\left[\frac{0.9578}{0.9597}\ \left(\frac{34}{28}\right)^{\frac{1.2574-1}{1.2574}} - 1\right]$$

$$W_{cis} = 27.4913\frac{kj}{kg}$$

Calcul travail réel de compresseur :

$$W_{cr} = H_2 - H_{1=\ cp\,mél}\,(T_2 - T_1)$$
$$W_{cr} = 2.2177.(345-325)$$

W_{cr} = 44.355 kj/kg

Calcul l'exposant poly tropique k :

$$n = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - \log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

$$n = \frac{\log(1.214)}{\log(1.214) - \log(1.0615)} = 1.44$$

Calcul le travail de compression poly tropique :

$$W_{c\ pol} = \frac{n}{n-1} R_{gc} T_1 \left[\frac{Z_1}{Z_2}\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} - 1\right]$$

$$W_{c\ pol} = \frac{1.44}{0.44}\ 0.4502\ .325\left[\frac{0.9578}{0.9597}\ \left(\frac{34}{28}\right)^{0.328} - 1\right]$$

$$W_{c\ pol} = 30.4762\ kj/kg$$

Calcul rendement isentropique :

$$n_{cis} = \frac{27.4913}{44.355}$$

$$n_{cis} = 61.98\%$$

Calcul rendement poly tropique :

$$n_{c\ pol} = \frac{30.4762}{44.355}$$

$$n_{c\ pol} = 68.70\%$$

Rendement globale :

$$n_{golbal} = n_{ad} \times n_{méc} \times n_{vol}$$

$$n_{golbal} = 0.6175 \times 0.95 \times 0.98$$

$$n_{golbal} = 57.50\ \%$$

Coté expneder :

A l'entrée

TABLEAU N 3 : L' ANALYSE DE GAZ DE LABORATOIR DE LA DIVISION EXPLOITATION COMPLEXE STAH

élément	Yi	Mi	$\sum$ Yi, Mi	C_{pi}	$\sum$ Yi,C_{pi}
N2	0.0043	28.013	0.1204	1.0391	0.0044
CO2	0.0444	44.01	1.9540	0	0
C1	0.8537	16.043	13.6959	2.1256	1.8146
C2	0.0755	30.07	2.2707	1.4491	0.1094
C3	0.0172	44.097	0.7584	1.4197	0.0244
I-C4	0.0015	58.124	0.0871	1.3983	0.0020
n-C4	0.0018	58.124	0.1046	1.4540	0.0026
I-C5	0.0008	72.151	0.0577	1.4320	0.0011
n-C5	0.0004	72.151	0.0288	1.3639	0.0005
$\sum$			19.07		1.959
Elément	Yi	Pc	$\sum$ Yi ;Pc	Tc	$\sum$ Yi, Tc
N2	0.0043	33.99	0.1461	126.1	0.5422
C02	0.0444	73.82	3.2776	304.19	13.5060
C1	0.8537	46.04	39.3043	190.5	162.6298
C2	0.0755	48.8	3.6844	305.4	23.0577
C3	0.0172	42.49	0.7308	369.82	6.3609
I-C4	0.0015	36.48	0.0547	425.16	0.6377
n- C4	0.0018	37.97	0.0683	408.1	0.7345

I-C5	0.0008	33.81	0.0270	460.39	0.3683
n-C5	0.0004	33.69	0.0134	469.6	0.1878
∑	1		47.3066		208.025

$$C_{p\ mél} = 1.959 \frac{kj}{kg} °K$$

$R=\frac{8.314}{19.07} = 0.4359 kg/kj° k$

$$C_p - C_v = r \qquad C_v = 1.959 - 0.4359 = 1.52$$

$Y=\frac{C_P}{C_v}$ $\qquad y = \frac{1.959}{1.52} = 1.2888$

Température pseudo critique

$$T_{pc} = 208.025\ °K$$

Pression pseudo critique

$$P_{pc} = 47.3066\ bars$$

$$T_{pr} = \frac{239}{208.025} = 1.1490$$

$P_{PR} = \frac{60}{47.3066} = 1.2683$

Calcule de Z3

P_{pr}	T_{pr}	X	A	B	C
1.2683	1.1419	0.9606	0.1332	6.2262	0.6951

Z3 (60 bars ,239 K°) = 0.6493

Calcule de Z4

$$T_{pr} = \frac{213}{208.025} = 1.0240$$

$$P_{pr} = \frac{29.46}{47.3066} = 0.6227$$

P_{pr}	T_{pr}	X	A	B	C
0.6227	1.0240	0.5938	0.1237	7.6288	0.3336

Z4(29.46 bars, 213 °K) =0.7518

Calcul d'enthalpie, entropieà l'entrée de turbo-expender :

P1= 60bars

T1= -34° c

TABLEAU N4 – 5 :SUR L' ANALYSE GAZ DE LABORATOIR DE LA DIVISION EXPLOITATION COMPLEXE STAH

composition	Yi	Hi	$\sum$ Yi; Hi	Si	$\sum$ Yi, Si
N2	0.0043	496.15	2.133	3.1	0.13
CO2	0.0444	681.08	30.24	4	0.17
C1	0.8573	946.15	807.72	5.07	4.32
C2	0.0755	896.15	67.66	3.86	0.29
C3	0.0172	838.7	14.42	3.4	0.05
I-C4	0.0015	725.92	1.08	2.6	0.004
n- C4	0.0018	728	1.31	2.5	0.004
I-C5	0.0008	350	0.28	2.68	0.002
n-C5	0.0004	301.72	0.12	3.1	0.001
$\sum$	/	/	924.96	/	4.971

H1= 924.96 kj/kg

S1= 4.971 kj/kg° k

Calcul d'enthalpie, entropie à la sortie expender phase gazeuse :

P2=28.72 bars

T2= -65° CTABLEAU N5

composition	Yi	Hi	$\sum$ Yi, Hi	Si	$\sum$ Yi Si
N2	0.0043	467.3	2.0093	3.11	0.0133
CO2	0.0409	282.19	11.5415	0.91	0.0372
C1	0.8938	868.79	776.5245	4.89	4.3706
C2	0.0548	864.15	47.3554	3.76	0.2060
C3	0.0068	794.35	5.4015	3.33	0.0226
I-C4	0.0002	273.07	0.0546	1.1	0.0002
n- C4	0.0002	244	0.0488	0.86	0.0001

I- C5	0	288.79	0	1.18	0
n-C5	0	228.81	0	0.74	0
			842.935		4.650

$$H_v = 842.935 \frac{kj}{kg}$$

$$S_v = 4.650 \frac{kj}{kg} °k$$

Calcul d'enthalpie, entropie à la sortie expender phase liquide :
P2= 28,72 bars
$T_2 = -65c$

TABLEAU N7 – 8 :SUR L' ANALYSE GAZ DE LABORATOIR DE LA DIVISION EXPLOITATION COMPLEXE STAH

composition	Yi	Hi	∑Yi; Hi	Si	∑ Yi ;Si
N2	0.0005	467.3	0.2336	3.11	0.0015
CO2	0.0123	282.19	3.4706	0.91	0.0111
C1	0.434	868.79	377.0548	4.89	2.1222
C2	0.2732	376.92	102.9745	2	0.5464
C3	0.1618	342.74	55.4553	1.77	0.2863
I-C4	0.0207	273.07	5.6525	1.1	0.0227
n-C4	0.0283	244	6.9052	0.86	0.0243
I-C5	0.0049	288.79	1.4150	1.18	0.0057
N-C5	0.003	228.81	0.6864	0.74	0.0022
∑			553.848		3.022

$$H_l = 553.848 \frac{kj}{kg}$$
$$S_l = 3.022 \frac{kj}{kg}$$

E =0.9180

H2= 0.9180.842, 935 +(1 – 0.9180).553, 848

$$H_{2is} = 773{,}814 + 45{,}415$$

$$H_{2is} = 819{,}230\ \text{kj/kg}$$

$$S_2 = 0.9180.4{,}650 + (1 - 0.9180).3.022$$

$$S_2 = 4.5165\text{kj/kg°k}$$

Calcul réel d'enthalpie, entropie à la sortie expender -phase gazeux :

$$P_2 = 29.46\ \text{bars}$$
$$T_{2\text{réel}} = -60\ \text{c}$$

TABLEAU N7/

composition	Yi	Hi	∑Yi; Hi	Si	∑ Yi ;Si
N2	0.0046	473.07	2.17	3.14	0.014
CO2	0.0414	290.11	12.02	0.95	0.040
C1	0.8882	898.11	797.70	4.89	4.343
C2	0.0588	852.83	50.14	3.84	0.225
C3	0.0062	798.38	4.95	3.35	0.002
I-C4	0.0002	284.61	0.05	1.15	0.00023
n-C4	0.0002	256	0.05	0.9	0.00018
I-C5	0	349.73	0	1.26	0
N-C5	0	241.52	0	0.8	0
∑			867.08		4.6244

$$H_v = 867.08\ \text{kj/kg}$$

$$S_v = 4.6244\ \text{kj/kg°k}$$

E= 0.9267

Calcul réel d'enthalpie, entropie à la sortie expender phase Liquide :

$P_2 = 29.46$ Bars

$$T_{2\text{réel}} = -60\ \text{c}$$

TABLEAU N8

composition	Yi	Hi	∑Yi; Hi	Si	∑ Yi ;Si
N2	0.0005	473.07	0.23	3.14	0.001
CO2	0.0785	290.11	22.79	0.95	0.074
C1	0.4227	898.11	397.63	4.89	2.067
C2	0.2782	384.9	107.08	2.03	0.564
C3	0.1573	354.85	55.81	1.83	0.287
I-C4	0.0185	284.61	52.65	1.15	0.021
n-C4	0.0239	256	6.11	0.9	0.021
I-C5	0.0109	349.73	4.30	1.26	0.013
N-C5	0.0062	241.52	1.50	0.8	0.005
∑			630.10		3.053

$$H_L = 630.10 \frac{kj}{kg}$$
$$S_L = 3.053 \frac{kj}{kg} °k$$

$$H_2 = 0.9267.867{,}08 + (1 - 0.9267).630{,}10$$
$$H_{2r} = 803{,}52 + 46.18$$
$$H_{2r} = 849.70 \text{ kj/kg}$$
$$S_2 = 0.9267.4{,}6203 + (1 - 0.9267).3{,}029$$

$S_2 = 4.503$ kj/kg° k

L'enthalpie réelle est :

ΔH =924,96- 849,70

$$\Delta H_r = 75.26 \text{ kj/kg}$$

L'enthalpie Isentropique est:

$$\Delta H_{is} = 924.96 - 819.230$$

$$\Delta H_{is} = 105.73 \text{ kj/kg}$$

Calcul de rendement de l'expender

$$n_{exp} = \frac{\Delta H_r}{\Delta H_{is}}$$

$$n_{exp} = \frac{75.26}{105.73} = 71.18$$

$$n_{exp} = 71.18\%$$

L'entropie est :Tapez une équation ici.

ΔS = S2 =4.971 -4.5165

$$\Delta S = 0.4545 \text{ kj/kg°K}$$

Donc le travail de turbine :

$$W_{tr} = 75.26 \text{ kj/kg}$$

Travail effective :

$$W_{eff} = W_{tr} . n_m$$

$$W_{eff} = 75.26 \text{ x } 0.95$$

$$W_{eff} = 71.497 \frac{\text{kj}}{\text{kg}}$$

Le débit massique est :

$$Q_m = 2450 \text{ kg/ min} = 40.83 \text{ kg/sec}$$

La puissance effective :

$$P_{eff} = W_{eff} \text{ x} Q_m$$

$$P_{eff} = 40{,}83 .71{,}497$$

P_{eff} = 2919.22kw

Calcul débit volumique :

On n'a :

$Q=\frac{q}{\rho}$ avec $\rho=\frac{P}{rx\ T}$

On n'a :

$$R=\frac{rx\ 10^3}{M}$$

$R=\frac{8.314}{19.07}=435,97$ j/kg °k

$$\rho_e = \frac{\rho e}{r\ x\ Te} = \frac{60\ x\ 10^5}{435.97\ x\ (-34+273)} = 57.58\ kg/m^3$$

$$\rho_s = \frac{p_s}{r\ x\ Ts} = \frac{28\ 10^5}{435,97\ x(-60+273)} = 30.15\ kg/m^3$$

Donc $\rho_e = 57.58\ kg/m^3$ et $\rho_s = 30.15\ kg/m^3$

Ce qui donne

$Q_e = \frac{40.83}{57.58} = 0.709\ m^3/s$ et $Q_s = \frac{40.83}{30.15} = 1.35 m^3\ /s$

Le débit volumique à l'entrée est : $Q_e = 0.709 m^3\ /s$

Le débit volumique à la sortie est : $Q_s = 1.35 m^3\ /s$

V.16. Interprétations des résultats :

Le rendement isentropique du compresseur du turbo Expender est faible $n_{ad} = 61.98\%$

Par rapport à la valeur ordinaire n_{ad} 0.75 ce qui permet de constater que la machine fonctionne dans un régime défirent aux des conditions de constructeur.

Le rendement adiabatique du turbine de la détente est faible n_{ad} 71.18 % par rapport al valeur désigne n_{ad} 85 % et ce permit de constater que la machine fonctionne dansune valeur du rendement du à celle de constructeur.

Le changement des paramètres de la pression, la température et la fraction condensable influé sur le rendement de la machine.

INTRODUCTION :

Le rotor est mis en lévitation au centre sans toucher le stator. Des détecteurs inductifs variables surveillent la position du rotor. Ils détectent tout écart par rapport à la position nominale et émettent des signaux qui commandent des courants dans les électroaimants, pour ramener le rotor à sa position nominale.

-Le rotor est équipé de luminations ferromagnétiques de manière à éviter les pertes par courants de commutation dus aux variations continuelles des pôles nord et sud en rotation.

-Les capteurs inductifs mesurent la position du rotor danschacun des axes. Ils détectent toute déviation parrapport à sa position nominale et génèrent un signal quiva modifier les courants dans les électroaimants, afin deramener le rotor dans cette position nominale.

- Les capteurs sont situés près de la partie externe des paliers radiaux.

Figure VI 1.2



Ensemble Cartouche



VI.1.2.3. Palier axial

Le palier axial s'appuie sur le même principe. Le rotor est constitué d'un disque monté perpendiculairement à l'axe de rotation, face aux électroaimants du stator. Le détecteur de

position est souvent situé à l'extrémité de l'arbre, là où la position axiale doit être maintenue constante.

VI .1.2.4. Paliers auxiliaires

Des paliers auxiliaires sont utilisés pour supporter le rotor pendant l'arrêt de la machine et en cas de panne du système de lévitation magnétique. En fonctionnement normal, ces paliers auxiliaires sont stationnaires. L'espacement entre les paliers auxiliaires et le rotor est généralement égal à la moitié de l'entrefer, mais il peut être réduit si nécessaire. Les paliers auxiliaires sont généralement des paliers à billes lubrifiés à sec, mais on peut aussi utiliser d'autres types de paliers, tels que des paliers lisses.

*Le disque est monté perpendiculairement à l'axe de rotation, et fait face aux électroaimants.

*Le capteur de position axiale est situé en extrémité de l'arbre, où la position axiale est la plus importante.

*L'utilisation de 2 capteurs situés en bouts d'arbre permet de mesurer l'élongation de celui-ci.

*Le disque axial est soit rapporté, soit usiné sur l'arbre Le disque axial est soit rapporté, soit usiné sur l'arbre en fonction des vitesses d'utilisation. Le matériau du disque est défini par les propriétés magnétiques et mécaniques requises.

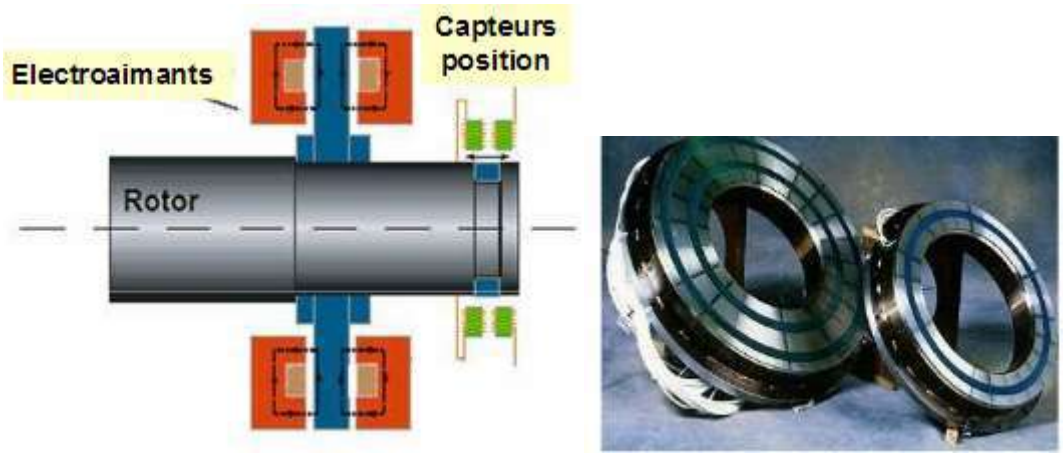


Figure VI .1.2.4

VI.1.3. LE SYSTÈME DE CONTROLE ÉLECTRONIQUE

Le système de contrôle électronique commande la position du rotor, en modulant le courant qui passe dans les électroaimants à partir des signaux des détecteurs de position

VI.1.4. Le système électronique de traitement des signaux

Le signal envoyé par un détecteur de position est comparé au signal de référence, qui définit la position nominale du rotor. Si le signal de référence est égal à zéro, la position nominale est

au centre du stator. En changeant le signal de référence, il est possible de décaler la position nominale de la moitié de l'entrefer. Le signal d'erreur est proportionnel à la différence entre la position nominale et la position réelle du rotor à un instant donné. Ce signal est transmis au processeur, qui envoie à son tour un signal de correction à l'amplificateur de puissance.

Le rapport signal de sortie sur signal d'erreur est appelé la fonction de transfert. La fonction de transfert est choisie pour maintenir avec la plus grande précision possible le rotor dans sa position nominale, et le ramener rapidement à cette position nominale avec un déplacement bien amorti, en cas de perturbation. La fonction de transfert définit la raideur et l'amortissement de la lévitation magnétique.

VI.1.5 Amplificateur de puissance

Ce dispositif fournit aux électroaimants des paliers le courant nécessaire pour créer le champ magnétique qui agit sur le rotor. La puissance des amplificateurs dépend de la force maximum de l'électroaimant, de l'entrefer, et du délai de réponse du système asservi (c'est à dire de la vitesse à laquelle ces forces doivent être modifiées lorsqu'elles sont confrontées à une perturbation). La taille du système électronique n'a pas de rapport direct avec le poids du rotor de la machine, mais avec le ratio entre les efforts de perturbation et le poids du rotor. Par conséquent, une petite enceinte sera suffisante pour une grosse machine ayant un rotor relativement lourd soumis à quelques perturbations majeures et/ou mineures, alors qu'il faudra une plus grande armoire de contrôle pour une machine sujette à de grosses perturbations

VI.2 : QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES PALIERS MAGNÉTIQUES ACTIFS

VI .2.1 Entrefer :

L'entrefer est l'espace entre le rotor et le stator. La valeur de l'entrefer, appelée e, dépend du diamètre D du rotor ou du palier.

VI.2.2 Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation d'un palier magnétique radial n'est limitée que par la résistance à la force centrifuge des tôles du rotor. En utilisant des tôles standard, il est possible d'atteindre des vitesses périphériques de 200 m/s. La vitesse de rotation d'un palier magnétique axial n'est limitée que par la résistance de l'acier massif du disque de la butée. Une vitesse périphérique de 350 m/s est possible avec du matériel standard.

VI.2.3 Capacité de charge :

La limite de charge d'un Palier Magnétique Actif dépend du matériau ferromagnétique utilisé, du diamètre du rotor et de la longueur axiale du stator du palier. La charge maximum

unitaire obtenue avec un Palier Magnétique Actif fabriqué dans un matériau standard est de 9 daN/cm². Cette charge maximum unitaire est plus faible que pour les paliers classiques mais la haute vitesse de circonférence autorisée permet d'augmenter le diamètre de l'arbre de façon à obtenir une plus grande surface de contact, et donc la même limite de charge que pour un palier classique, sans avoir à augmenter sa longueur.

VI.2.4 Consommation d'énergie :

Les Paliers Magnétiques Actifs ont une très faible consommation d'énergie. Cette consommation d'énergie provient des pertes d'hystérésis, des pertes par courants de Foucauts dans le palier (puissance qui est prise sur l'arbre), et des pertes par effet Joule dans l'enceinte électronique (puissance qui est prise sur le circuit électrique). Les Paliers Magnétiques Actifs consomment de 10 à 100 fois moins d'énergie que les paliers classiques pour des dimensions de machine comparables. La consommation d'énergie du système de commande électronique, qui exige une source de courant extérieure, est également très basse. Des batteries sont fournies pour maintenir la lévitation en cas de Panne du secteur ; elles interviennent automatiquement.

VI.2.5 Conditions ambiantes :

Les Paliers Magnétiques Actifs peuvent être installés directement dans l'environnement du procédé, éliminant entièrement la nécessité de joints et dispositifs apparentés, ainsi que celles de barrières d'isolation thermique. A ce jour, des Paliers Magnétiques Actifs fonctionnent dans des environnements aussi divers que le vide, l'air, l'hélium, les hydrocarbures, l'oxygène, l'eau de mer et l'hexafluorure d'uranium, ainsi qu'à des

Températures allant de -253°C à +450°C.

VI.3 Avantages des Turbines à paliers magnétiques :

*Pas de système d'huile. Masse réduite.

*Fiabilité élevée.

*Surface au sol réduit.

*Arbre en lévitation, pas de contact mécanique.

*Large plage de fonctionnement (1 à 500 K)

*Faible consommation énergétique.

*Concept "Maintenance free "=> Meilleure disponibilité

*Contrôle actif permanent:

* Contrôle du déséquilibre=> Faibles niveaux vibratoires

* Diagnostic et surveillance intégrés.

* Performances dynamiques du rotor optimales.

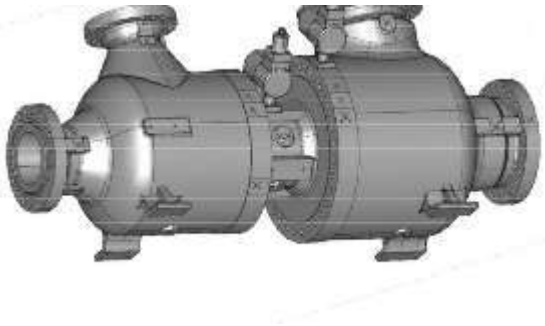
VI.4 Conception :

-Les turbines de détente sont le meilleur moyen de produire du froid dans la grande échelle de production des Unités de Séparation.

-Les gaz, à haute pression, sont détendus à une pression plus faible à travers une roue produisant un travail.

-Un Turbo-expandeur est essentiellement constitué par:

- 02 volutes à haute pression dans lesquelles les gaz peuvent être détendus(Expandeur) ou comprimés(Compresseur)





Un Turbo-expandeur est essentiellement constitué par: (suite)

- Un système d'aubages entourant la roue.
- Une roue de turbine.
- Un diffuseur







Figure I.4

*Le gaz est accéléré dans le système d'aubages, puispénètre dans la roue de turbine.

*La roue convertit cette énergie cinétique du gaz enénergie mécanique par une déflexion du flux et récupère aussi l'énergie potentielle.

*Le gaz s'échappe de la roue axialement à basse pression, puis passe dans le diffuseur de sortie, où sa vitesse est réduite à celle réclamée par le procédé.

*Le travail généré par la roue est transmis à un arbre tournant. Ce travail est récupéré pour actionner un compresseur, dans le cas présent.



*Matériau: alliage d'aluminium forgé, usiné, traitement thermique et Kéronite.

*Roue d'expansion ouverte, scalopping.

*Roue fermée pour le compresseur

*Diamètre externe: 450 mm Expandeur540 mm Compresseur

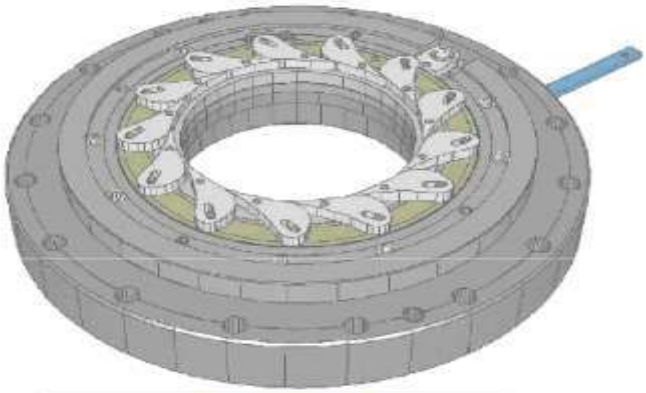
*Nombre de pales: 12 pour Expandeur

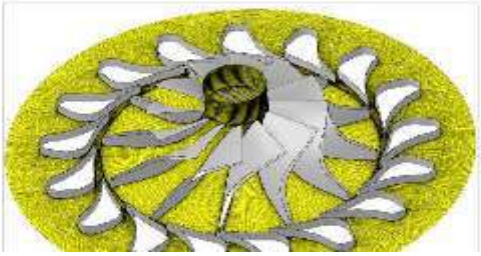
*Nombre de pales: 16 pour Compresseur

VI.5.Système d'aubages à contrôle variable :

-La construction du système d'aubages est simplifiée, évitant les effets de chocs Aérodynamiques et autorisant une Amplitude de débit maximale.

-Les aubages pivotent autour d'un de Leurs axes de montage, en ouverture et fermeture.





VI.6.Diffuseur du Compresseur :

-Un diffuseur permet au flux de décélérer par augmentation de sa surface ; en conséquence, la pression statique augmente

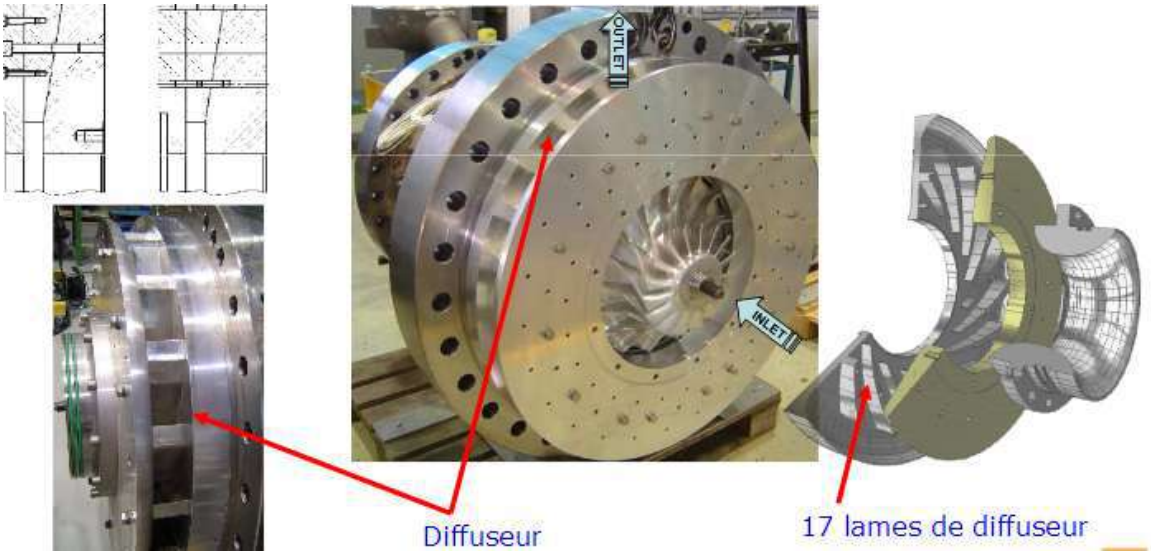


Figure VI 1.6

VI.07.Systheme de montage paliers Magnétiques Actifs :

*Les 2 roues de toutes les machines sont montées sur un arbre rigide supporté par 2 Paliers magnétiques radiaux et un palier magnétique axial.

* Le rotor est maintenu en suspension par les flux magnétiques générés par les enroulements flux magnétiques générés par les enroulements statoriques.

*Afin de maintenir le rotor en position, les courants électriques des enroulements sont Régulés par un système asservi.

*Pour y parvenir, les positions radiales du rotor sont contrôlées sur deux axes perpendiculaires (V et W sur le schéma),de même que la position axiale est également contrôlée.

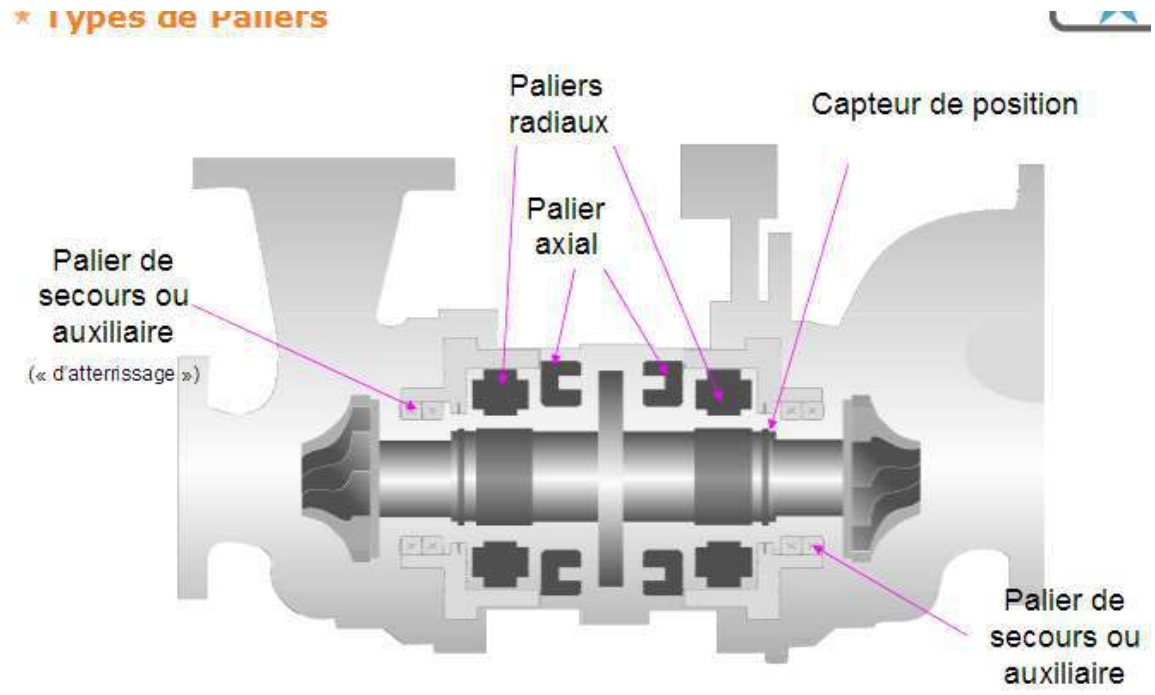


Figure VI 1.07

VI.08. Système de Contrôle Electronique :

*Le rotor est maintenu en lévitation par les électroaimants.

*Les bobinages des électroaimants sont de même technologie que ceux d'un moteur électrique.

*Les électroaimants exercent uniquement une force d'attraction.

*Un système de contrôle gère la valeur des courants, de manière à stabiliser la position du rotor en fonction des informations de position mesurées par les Capteurs

VI.9.Consommation d'énergie :

-Les P.M.A. sont peu consommateurs d'énergie. Les pertes par hystérésis, courants de Commutation et effet Joule dans l'armoire électronique, augmentent la consommation.

- La puissance consommée par les P.M.A. est 10 à 100 fois inférieure que celle de paliers Conventionnels, et pour des machines de taille comparable.

-La consommation électrique du système de commande électronique – qui nécessite une Source d'alimentation externe – est très faible.

-Des batteries internes sont utilisées en secours afin de:

*Maintenir la machine opérationnelle en cas de variation de la tension du réseau électrique d'alimentation.

*Permettre un arrêt sécurisé en cas de perte du réseau électrique (le rotor ne sera dé-lévité qu'en dessous d'un seuil de vitesse minimum).

VI.10.Fonctionnementdèslabyrinthes :

Ils sont fréquemment utilisés. Ils fonctionnent en repoussant le gaz vers le procédé.

Les "dents" de labyrinthe réduisent la pression du gaz de procédé en le forçant à prendre un chemin tortueux lors de son passage à travers cette garniture. L'alimentation en gaz est régulée automatiquement

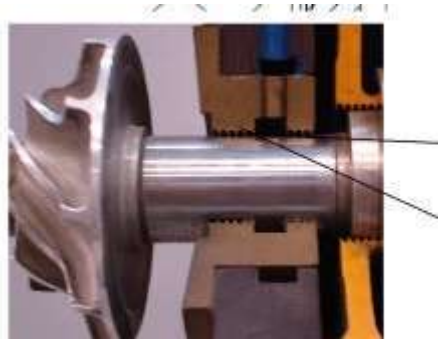


Figure I.10

VI.11. ENTRETIEN PRÉVENTIF :

-L'objet d'un entretien préventif est de programmer l'inspection du matériel et de lancer les actions de réparation ou d'entretien suffisamment tôt pour éviter la survenance de pannes. Cette précaution augmente la durée de vie de la machine.

VI.1**2. TYPES DE MESURES PRISES PAR LE CONDUCTEUR DE LA MACHINE :**

Des inspections et/ou le remplacement standard des pièces sont programmées en fonction d'un échéancier et s'appliquent au matériel suivant :

*Ventilateurs.

*Bac batteries.

*Batteries de secours (ce qui inclut la batterie BT au lithium et la carte de gestion des données)

*L'ensemble Clavier/Afficheur.

*Les filtres à air.

VI.13.PROGRAMME D'ENTRETIEN PREVENTIF :

Période de procédure	1 année	2année	3année	4année	5année
Bac batterie la durée de vie du bac batterie dépend de la température ambiante utiliser		Remplacent tous les quatre ans		Remplacent tous les quatre ans	
Vérifier le raccordement électrique	Du 1 au 7 mois				
Batterie de secours					Remplacent tous les quatre ans
Filtre à air	Inspecter tous les deus mois				
Ventilateur				Remplacent tous les quatre ans	

VI.13.1 Filtres à air

La périodicité de remplacement des filtres à air est étroitement liée aux conditions de l'air ambiant sur le site d'installation de l'armoire de contrôle.

Il est spécifiquement stipulé que, au cours de la première année de fonctionnement de l'installation, les filtres à air doivent être contrôlés tous les deux mois (ou remplacés si nécessaire). Lors du remplacement des filtres, on devra noter le degré d'accumulation de poussière au cours du temps, de façon à établir le calendrier de remplacement définitif.

Dans les cas où l'air ambiant est extrêmement chargé de poussière, nous recommandons de faire une surveillance encore plus rigoureuse.

VI.14.ENTRETIEN CORRECTIF :

L'objet du présent chapitre sur l'entretien correctif est de fournir, pour la recherche des pannes, au conducteur de la machine ou au personnel d'entretien, des lignes directrices leur permettant, en cas de panne, de repérer la cause du problème et de prendre les mesures de correction appropriées pour résoudre et éliminer le problème et remettre le plus rapidement possible en état de fonctionnement le système de Palier magnétique.

VI.15.POLITIQUE APPLIQUEE POUR LES NIVEAUX D'ALARME :

Le système de commande S2M surveille lui-même le différent état d'alarme et gère toutes les mesures de protection.

En cas de dysfonctionnement, il déclenche des signaux d'alarme qui sont organisés sur trois niveaux :

VI.15.1.ALARME DE NIVEAU 1 – PANNE MINEURE

En cas de dépassement des paramètres de fonctionnement normaux ou en cas de panne mineure, le système produit une alarme de niveau 1.

-Le système de Palier Magnétique Actif (PMA) reste opérationnel à ce niveau et n'est pas encore dangereux pour l'utilisateur.

-Un niveau d'alarme 1 allume le voyant orange "Alarme" de l'ensemble Clavier/Afficheur et désexcite la sortie numérique à relais "Alarme commune"

-Le système PMA ne demande pas d'arrêt de la machine.

VI.15.2.ALARME DE NIVEAU 2 - PANNE IMPORTANTE :

En cas de dépassement des paramètres de sécurité de la machine ou en cas de panne majeure, le système produit une alarme de niveau 2.

-Le système PMA ne fonctionne plus dans des conditions sûres. La poursuite de l'exploitation est dangereuse pour la machine, mais pas pour le palier magnétique ni pour le contrôleur.

-Ce niveau d'alarme allume le voyant rouge "Défaut" de l'ensemble Clavier/Afficheur, et désexcite les sorties à relais "Arrêt demandé" et "Rotation autorisée".

-L'arrêt de la machine est nécessaire mais il est laissé au système logique de l'utilisateur de la machine. Le système de Palier Magnétique Actif reste en lévitation lorsque la machine est revenue à l'état de repos.

VI.15.3.ALARME DE NIVEAU 3 - ARRET COMPLET :

En cas de dysfonctionnement risquant d'endommager la machine ou l'armoire de contrôle, le système PMA produit une alarme de niveau 3.

-Le système de Palier Magnétique Actif n'est plus capable de fonctionner dans des conditions normales et sûres. La configuration de l'armoire de contrôle est désormais dangereuse pour la machine et/ou le contrôleur.

-Ce niveau d'alarme allume le voyant rouge "Défaut" de l'ensemble Clavier/Afficheur, et désexcite-les

Sorties numériques à relais "Arrêt demandé" (Défaut commun aux niveaux 2 et 3) et "Rotation autorisée".

-Le contrôleur du PMA demande l'arrêt de la machine mais l'arrêt effectif est laissé au système logique de l'utilisateur de la machine. Cependant, aux conditions de faible vitesse, il y a automatiquement coupure du système PMA et interruption de la lévitation de la machine.

Conclusion

Le choix entre Turbo Expender à huile et Turbo Expender à champs magnétique

Turbo -Expender à champs magnétique	Turbo -Expender à huile
*applications nécessitant une installation compacte et une masse réduite, tout en évitant le risque de contamination par huile dans le procédé.	Occupe une surface importante
Pas de système d'huile. Masse réduite.	Nécessite une lubrification
Fiabilité élevé	
Arbre en lévitation, pas de contact mécanique.	Frottements entre les paliers et l'arbre
Faible consommation énergétique.	Problème de pompage
Contrôle du déséquilibre=> Faibles niveaux vibratoires	Problème de vibration à cause de la pousser axiale
Diagnostic et surveillance intégrés.	Diagnostic et surveillance intégrés.
Performances dynamiques du rotor optimales.	Moins Performances dynamiques du rotor optimales.
Concept "Maintenance free "=> Meilleure disponibilité	Manque de la pièce rechange

Figure IV .1.2.6, Figure I.4,Figure I 06, Figure I .07 :

SONATRACH – ANADARKO – Algérie

Formation sur site 2012 – EL MERK Project**CRYOSTAR MTC 500/200 – F9338**

1. La maintenance dite systématique :

Selon le temps (durée de vie) de bon fonctionnement des différents composants d'un équipement, cette maintenance préventive est celle régulièrement effectuée.

1.2. La Maintenance Conditionnelle :

Elle fait suite à un constat ou informations données par les indicateurs de défaut :

- Usure d'une pièce,
- Autodiagnostic de l'équipement.
- Information d'un capteur sur l'état de fonctionnement (ou défaillance) de l'appareil.

La maintenance préventive peut être perturbée par :

- L'utilisation non-stop des équipements.
- Le manque de documentations techniques définissant les échéances de remplacement de composants ou sous-ensembles soumis aux lois de vieillissement.

2.2. La maintenance curative :

C'est l'opération qui consiste à rétablir un appareil dans un état de fonctionnement conforme aux spécifications techniques du constructeur suite à une défaillance constatée. On dit dans le langage familier que l'appareil est tombé en panne. Cette situation est plus fréquente dans le cas où les opérations de maintenance préventive ne sont pas régulièrement effectuées.

La démarche consiste à :

- détecter la panne.
- localiser (circonscrire) la zone défaillante.
- remédier au défaut.

3. Protection de la machine Tableau d'alarme de Turbo Expandeur :

Pour que le turbo-expander, offre an fonctionnement faible et sur lui faut qu'il soit doté d'un système sécurité adéquat qui le protège en cas de perte partielle des caractéristiques pour assurer une bonne sécurité il faut respecter les règles elles avertissements qui donner par le constructeur.

SECURITE	CAUSE	ALARME	DECLENCHEMENT
DPSH 1,2	Haute DP butées	10,3 b (g)	13,8 b (g)
DPSL 1	Basse DP huile lubrification	11 bars	9,7 bars
DPSL 2	basse DP gaz d'étanchéité	2,07 bars	1,38 bar
LSL 1	bas niveau réservoir	203 mm	
SSH 1	Survitesse	25500 RPM	26800 RPM
TSH 1	haute température palier	83 °C	94 °C
TSH 2	Démarrage 2^{è}aéro	55 °C	
TSL 1	Basse température-palier	-	16 °C
VSH 1	hautes vibrations compresseur	20 mils	38 mils
VSH 2	Hautes vibrations expander	20 mils	38 mils
LSH 125	haut niveau V141	-	1143 mm

4. Tableau cause –effet:

Conditions	**Causes probables**	**Solutions**
-Température élevée de l'huile :	-L'huile ne passe pas dans le refroidisseur. -Mélange condensé à l'huile entraînant une viscosité basse	-Vérifiez le fonctionnement du ventilateur du refroidisseur. -Vérifiez que la vanne de régulation de température fonctionne correctement. -Vérifiez la viscosité de l'huile. Au besoin, remplacez par de l'huile fraîche.
-Butée non équilibrée en direction du palier de l'expander :	-L'étanchéité de la roue de l'expander a été éliminée et, de ce fait, la pression d'entrée est détectée derrière la roue, chargeant le palier de la butée de l'expander. -Les trous de dégagement de l'expander est bouchés, entraînant la montée de la pression derrière la roue, chargeant le palier de la butée de l'expander.	-Démontez, inspectez et réparez. -Le déshydrateur amont de l'expander est saturé ou ne fonctionne pas. La roue doit être dégelée par un courant gazeux butée chaud
-Butée non équilibrée en direction du palier de compresseur :	-L'étanchéité de la roue du compresseur est éliminé, provoquée par une température excessive du compresseur.	-Démontez, inspectez et réparez.
Gel de conduite	-La pression ou la température	- Vérifiez que le chauffage

gaz d'étanchéité	du gaz d'étanchéité est trop basse, le gaz de procédé refoule dans la conduite du gaz d'étanchéité.	et le régulateur du gaz d'étanchéité fonctionne correctement. Augmentez La pression du gaz d'étanchéité.
-Basse température du tuyau d'évacuation	-La pression du gaz d'étanchéité est faible, permettant au gaz froid du procédé d'entrer dans le boîtier des paliers.	-Augmentez la pression du gaz d'étanchéité, vérifiez-la température de l'huile et augmentez-la.
-Une basse de la température du tuyau d'évacuation de l'huile de moine de 17 ºC	-La partie labyrinthe du mur de chaleur a été éliminée. Le gaz d'étanchéité n'assure plus la protection tampon avec le gaz froid de procédé.	-Démontez l'appareil, inspectez et au besoin, changez le mur de chaleur ou bien la garniture d'étanchéité de l'expander ou encore l'anneau d'étanchéité de l'arbre de l'expander
-Pompage :	-le pompage se produit tant que 75 à 80% de l'écoulement normale n'est pas atteint, le fonctionnement sous pompage pendant plus de 10 à 15minutes peut endommager les paliers.	-Maintenez la dérivation du compresseur ouvert jusqu'à ce que l'expander atteigne 75 à 80% de sa capacité normale.
-Réduction de la viscosité de l'huile de lubrification :	-Dilution de l'huile de lubrification par l'absorption du gaz d'étanchéité. Ceci se produit si le gaz d'étanchéité est riche en composants d'hydrocarbures lourds.	-Utilisez une huile de viscosité plus élevée comme ISO VG68.

5. Vanne de sécurité de la turbine (XV-112) :

C’est une vanne de déclanchement de l’expander de type à papillon cette vanne doit être à action rapide pour permettre un arrête rapide de l’expander (10 secondes maximum), et installée le plus proche à la bride d’admission de la turbine.

Aussi d'un système anti-pompage qu’est mis en service lors du démarrage du turbo-expander le système de détection de la pression différentielle entrée/sortie du compresseur commande.

6.1 .Introduction :

Les paliers et butées sont à l'origine des incidents les plus fréquents qui entraînent l'arrêt des turbo-expander. De ce fait il est impératif d'éviter le contact métal/métal qui entraîne des grippages rapides des surfaces en regard et l'arrachement de métal.

6.2. Problème de lubrification :

- ☞ En fonctionnement continu, on enregistre toujours des variations de température de l'huile avant les paliers. Ces variations influencent la valeur de la viscosité et par la suite celle du film d'huile ce qui a pour conséquences la détérioration des paliers et l'augmentation de la poussée axiale donc, endommagement des butées.
- ☞ Le niveau d'huile baisse dans le bac. Ce qui entraîne l'aspiration des impuretés déposées au fond du bac par la pompe, chaque fois que le niveau baisse. La pression au niveau des filtres augmente ce qui provoque la détérioration des filtres et suite à l'augmentation de la pression au niveau de ces derniers.
- ☞ L'état des filtres, en cas de détérioration, les particules résultantes passent dans les paliers et les butées et causent leur dégradation (cause de la dégradation des paliers).

6.3. Problèmes liés aux conditions de démarrage :

En fonction de la vitesse de rotation on distingue deux phases de fonctionnements :

- ☞ Une phase de frottement onctueux qui correspond au démarrage et à l'arrêt de machine lorsque la vitesse est faible alors le coefficient de frottement est grand.
- ☞ Une phase de fonctionnement caractérisée par l'existence d'un film d'huile fin n'existe aucun contact métal/métal.

La phase la plus importante et qui peut causer des problèmes au niveau des paliers est celle de fonctionnement en frottement onctueux. En effet dans cette phase il est possible l'arrachement de métal.

6.4. Consommation de l'huile :

Du côté de l'expander l'huile est bloquée par le gaz d'étanchéité qui forme un barrage entre le gaz véhiculé par la machine et l'huile, ce qui évite l'écoulement de l'huile avec le gaz de la turbine.

6.5. Problème d'étanchéité

Dans le cas ou la pression différentielle du gaz d'étanchéité, entre l'entrée et la sortie des labyrinthes cote expander, est inférieure à **3 ,45Kg/cm^2** cette valeur causée Mie fuite de gaz d'étanchéité vers le corps MCS.

Et par suite la contamination d'huile de lubrification et la formation de la mousse au niveau de bac.

Le gaz froid provient de la turbine abaissée la température de lubrifiant, l'huile devient givrée.

6.6. Problème de la poussée axiale :

De la valeur très élevée de la poussée axiale provoquée le contact flanc entre et le palier en engendre l'anomalie suivante :

- ☞ Coupure du filme d'huile de lubrification dans la butée.
- ☞ Usure et arrachement du métal des patins de butée.

REMARQUE

Huile utiliser et tourba 46 lors de contamination de ce dernier a cause d'un arrêt de la boucle de propane qui pénétrant dans le circuit de lubrification l'équipe de maintenances prend un fut de réservoir et le transmutant vers un bac de resclagea l'aide des pompes et ensuite vers laboratoire pour analyse et remettre au bac de turbo expender pour le utiliser.

6.7 Propriété d'huile de turbine et turbo - expender utilisé

propriété	Unité	Viscosité faible	Viscosité élevé	Viscosité faible avec aditif anti usure	Viscosité moyenne avec aditif anti usure	Viscosité élevé avec aditif anti usure
Point d'éclair	F	330	350	360	330	350
Point d'inflammation	F	370	390	400	370	390

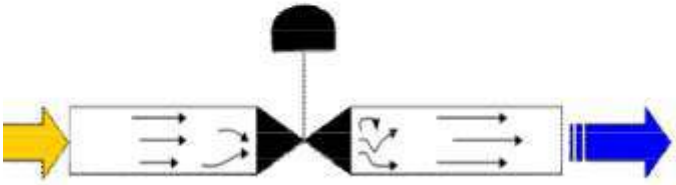
7. Généralités sur la vanne Joule Thompson

7.1. Description

C'est une vanne qui a le rôle de détendre le gaz qui la traverse. Elle est composée d'un corps de vanne dans lequel circule le fluide, d'un mécanisme de commande, d'un servomoteur qui règle l'écoulement et d'accessoires spécifiques à chaque application particulière. L'étanchéité est assurée par le siège, les garnitures et les joints. La noix de connexion relie la tige à l'axe de commande du servomoteur. Les parties internes de l'ensemble du corps de la vanne se caractérise par une simplicité et une grande efficacité (**Figure 20).**



Figure 19: la vanne Joule Thompson



ure 20: Schéma de la vanne Joule Thompson

7.2. Principe de fonctionnement

L'empilage permet des variations de débit tout en limitant la vélocité de l'écoulement à travers l'élément. L'empilage consiste en un certain nombre de disques dans lesquels des labyrinthes ont été creusés de manière à permettre un débit déterminé .L'indépendance de passage est développée par une série de coudes à angle droit, chaque passage ayant un nombre déterminé de coudes pour limiter la vélocité à la valeur prévue. Chaque disque possédant une Capacité donnée, le débit total à travers l'élément peut facilement être mené et control avec précision. Le fluide traverse l'empilage de l'extérieur à l'intérieur et s'écoule vers l'orifice de sortie. Une vitesse d'écoulement maximale étant déterminée pour chaque disque .L'élément de contrôle fonctionne à une vélocité fixée et réglée Pour minimiser les changements é vélocité qui engendre du bruit, la vaporisation, la cavitation, des vibrations et l'érosion.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Mafi-trench corporation (Turbo expander/compresseur system) opération Manuel EC141.*
2. *Mafi-trench corporation, Fonctionnement et entretien volume 1 (Article/Référence : 100/200/300-EC-01).*
3. *Mémoire de fin d'étude : étude technologique du Turbo Expander Fév. 2010 HASSI - R'MEL.*
4. *Mémoire de fin d'étude : Contribution à l'étude d'un Turbo Expander utilisé dans le traitement de gaz. Ouargla 2008.*
5. *Aide de logiciel AYSYSE.*
6. *Aide de logiciel TECPLOT.*
7. *Rapport de training ALRAR: Turbo expander EC 141 Mai 2017.*
8. *Turbo machines Exploitation.*