



Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2025

قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option: GÉNIE CHIMIQUE

THÈME

Etude comparatif entre la turbine (turbo-compresseur) et moteur électrique (moto-compresseur)

Présenté par

1-MR. MEDANI Badreddine Youcef

2-MLLE. BELDJILALI Amina

Soutenu le 25 /06 / 2025 devant le jury composé de :

Présidente :	N. BOUBEGRA	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	H. DELALI	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	N. HADDOU	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu Tout-Puissant, le Très Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience pour achever cet humble travail, et dont la volonté est accomplie par les travailleurs et la louange et merci à celui qui nous a guidés sur le droit chemin

Nous remercions sincèrement notre encadrante M^{me}. **HADDOU Nabila** enseignante à l'Université de Mostaganem, pour avoir accepté de superviser notre travail. Nous lui sommes profondément reconnaissants pour sa gentillesse, et sa compréhension constante de notre situation et merci beaucoup pour vos conseils, votre soutien solide et vos encouragements inspirants.

Nos remerciements particuliers aux membres du jury, M^{me}. **N .BOUBEGRA** enseignante à l'Université de Mostaganem pour avoir accepté de présider ce jury et l'enseignante M^{me}. **H. DELALI**, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner notre travail et de fournir un avis, un commentaire ou des conseils à ce sujet.

Sans oublier nos chers professeurs tout au long des années universitaires et les responsables du département de Génie des procédés merci pour l'aide et les précieuses informations et l'expérience unique et enfin pour le bon traitement

Enfin, un grand merci à mes collègues d'étude pour la belle et amusante compagnie, ainsi que pour les bons souvenirs, en particulier le respect mutuel.

Que Dieu vous bénisse

Résumé

Le but de travail était d'étudier deux différentes machines (la turbine à gaz et moteur électrique) effectuant la même fonction (Tournier le compresseur dans la section de réfrigération) afin de les comparer en termes d'efficacité et le cout de consommation et maintenance.

Mots clés : puissance effective, turbine, moteur électrique.

Abstract

The purpose of this work is to study two different machines (the gas turbine and the electric motor) performing the same function (driving the compressor in the refrigeration section) in order to compare theme in terms of efficiency consumption cost and maintenance

Keywords: effective power, turbine, electric motor.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة جهازين مختلفين هما التوربين الغازي و المحرك الكهربائي، يؤديان نفس الوظيفة و المتمثلة في تدوير الضاغط ضمن وحدة التبريد، و ذلك بغرض إجراء مقارنة بينهما من حيث الكفاءة و تكلفة الاستهلاك، و متطلبات الصيانة

الكلمات المفتاحي: القدرة الفعلية التوربينالمحرك الكهربائي

LISTE DES ABREVIATIONS

GPL	Gaz pétrolier liquéfié
GN	Gaz naturel
GP1/Z	Zone de traitement de gaz pétrolier d'ARZEW
GL/Z	Zone de traitement de gaz naturel d'ARZEW
LCR	Local control room
JCR	Jetty control room
BOG	Boil-of-gaz
SONATRACH	La société nationale pour la recherche la production le transport la transformation et la commercialisation des hydrocarbures
GNL	Gaz naturel liquéfier
BP	Basse pression
HP	Haut pression
MP	Moyenne Pression
P_{th}	la puissance théorique
t	temps de fonctionnement
E%	Rapport de consommation
E_c	énergie consommée
E_g	Energie globale
P_{the}	Puissances thermie
P	Potentiel de gain
P_e	Puissance électrique
U	énergie électrique
I	Intensité
$\cos \Theta$	Déphasage entre la tension et le courant dans un circuit électrique alternatif
K	Coefficient poly tropique
W_{poly}^{ip}	Travail poly tropique de l'étage (BP,MP,HP)
P_r	Pression de refoulement du compresseur
P_a	Pression d'aspiration du compresseur
\bar{Z}	Facteur de compressibilité moyen (aspiration /refoulement)
M	Masse moléculaire de gaz =44 kg/K mole.
T_a	Température d'aspiration °K.
R	Constante des gaz parfaits =8.314 K joule/K mole °K
P_{poly}^{ip}	Puissance poly tropique de l'étage (BP, MP ,HP) en Kj/hr
η_{poly}^{ip}	Le rendement poly tropique
$G_{ip} :$	Débit massique de l'étage
X_i	fraction molaire des composants des gaz d'échappement
M_i	masse molaire des composants des gaz d'échappement
Y_i	fraction massique des composants des gaz d'échappement
C_p	Capacité calorifique pression constante
γ	Exposant adiabatique.
R	Taux de compression.
H	Hantalpie
W	Travaille
C	Cout
P_r	Prix
T%	Taux de traitement

Liste des figures

Figure.I.1. Schéma de procédé	9
Figure.II. 1. Description de la turbine	10
Figure.II.2. L'évolution de P et T des gaz dans la turbine	11
Figure. II.3. Principe de fonctionnement de turbine	13
Figure. II.4. Coupe transversale d'une turbine à gaz type S3	14
Figure. II.5. Compresseur d'air axial.	14
Figure.II.6. Système de combustion.	15

Liste des tableaux

Tableau.III.1. revue énergétique théorique du four, turbine et moto-compresseur au niveau du complexe.	21
Tableau.III.2. La composition du propane réfrigérant.....	22
Tableau.III.3. La composition des gaz d'échappement.....	28
Tableau.III.4. La composition d'air.....	28
Tableau.III.5. Constantes utilisées pour le calcul de la chaleur spécifique.....	28
Tableau.III.6. Les principaux résultats se résument comme suit	36
Tableau.III.7. Le cout énergétique journalière du train 100 Phase I	38
Tableau.III.8. Le cout énergétique journalière du train 200 PHASE I.....	41
Tableau.III.9. Le cout énergétique journalière du train 400 PHASE I	43
Tableau.III.10. Le cout énergétique journalière du train 500 PHASE II	45
Tableau.III.11. Le cout énergétique journalière du train 600 PHASE II.....	48

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

LES LISTES DES FIGURES

LES LISTE DES TABLEAUX

RESUMES

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Description du complexe GP1/Z

I. Présentation du complexe GP1/Z « JUMBO »	1
I.1. Situation géographique	1
I.2. Historique.....	1
I.3. Organisation du complexe	2
I.4. Les principales installations	2
I.5. Capacité	3
I.6. Alimentation de l'usine	3
I.7. Les utilités	3
I.8. Procède de fabrication	4
I.8.1. Section déshydratation	4
I.8.2. Système de fonctionnement	5
I.9. Schéma du procède	5

CHAPITRE II. DESCRIPTION DE LA TURBINE ET LE MOTEUR (MOTO-COMPRESSEUR)

II.1. LA TURBINE	10
II.1.1. Introduction	10
II.1.2. Les principales qualités	10
II.1.3. Condition Opérateur	11
II.1.4. Description de la turbine à gaz type S3 « à deux arbres »	12
II.1.4.1.Principe de fonctionnement	12
II.1.4.2.Description	13
II.1.5. Description instrumentation	16
II.2. DESCRIPTION DU MOTEUR ÉLECTRIQUE	17
II.2.1. Description électrique	17
II.2.1.1 Présentation du moteur électrique	18
II.2.1.2. Description instrumentation	19

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

III. Revue énergétique	21
III.1. Etude énergétique	22
III.1.1. Calcul de T_{cm} et P_{cm}	22
III.1.2. Calcul de l'étage BP	23
III.1.3. Calcul de l'étage MP	25
III.1.4. Calcul de l'étage HP	26
III.2. La puissance totale du compresseur	27
III.3. Calcul de la chaleur spécifique des gaz d'échappement	28
.....	
III.4. Calcul du rendement du compresseur d'air	29
III.5. Calcul du rendement de la turbine à gaz	29
III.6. Calcul du rendement du cycle	30
III.7. Calcul du travail net de la turbine	30
III.8. Interprétation des résultats	30
III.9. Etude énergétique du moteur	31
III.9.1. Puissance électrique absorbée	31
III.9.2. Energie de moteur électrique	31
III.10. Interprétation des résultats	31
III.11. Comparaison de cout	32
CONCLUSION GENERALE.	
ANNEXE.	
REFERENES BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION GENERALE

Le complexe de Production du gaz pétrole liquéfié (GPL) dénommé GP1Z ou "JUMBO GPL"^[1] de l'Entreprise Nationale SONATRACH est le dernier né des Ensembles Industriels de la zone d'Arzew.

Le GPL, dont l'Algérie est l'un des leaders producteurs exportateurs dans le monde, constitue l'une des priorités des plans de développement et de la politique énergétique de la SONATRACH.

Le complexe a pour mission de produire du Butane ; Propane et du mélange Butane / Propane à partir du GPL provenant du grand Sud Algérien : Complexe Hassi Messaoud, Hassi RMel, Ain Amenas... etc.

Dans ce cadre, SONATRACH dispose déjà d'importantes installations de production, de transport et de séparation des GPL permettant leurs valorisations et leurs commercialisations aussi bien sur le marché local qu'international.

Mais, Il serait toujours indispensable d'opter pour une exploitation maximale de cette capacité installée, à des limites tolérables, ce qui sera bénéfique sur le plan économique (coût /revenu) et sur la gestion de la production (flexibilité et entretien). Ceci nous a amené à effectuer une étude dans ce contexte.

Donc, ce mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre constitue description du complexe GP1Z

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la turbine et le moteur (MOTO-COMPRESSEUR)

Le troisième chapitre présente une proposition de résumé comparatif de la revue énergétique de la turbine et du moteur

CHAPITRE I
DESCRIPTION DU COMPLEXE GP1/Z

I. PRESENTATION DU COMPLEXE GP1/Z « JUMBO » ^[1]

Important complexe, construit dans la zone industrielle d'ARZEW dans le but de traiter le mélange brut GPL, afin de produire du propane commercial et du butane commercial.

I.1.Situation géographique

D'une superficie de 120 hectares, le jumbo GPL est situé dans la zone industrielle d'ARZEW, entre le central thermique MARSALA ELHADJADJ à l'ouest et les complexes GNL à l'est.

I.2. Historique

° Le complexe GP1/Z dénommé "JUMBO-GPL" est le premier dans le monde pour ces grandes capacités de production 10.8 millions de tonnes par an.

° Le traitement d'une charge GPL venant de plusieurs sources du sud algérien (HASSI-MESSAOUD et HASSI-RMEL) pour la production des produits PROPANE et BUTANE liquéfiés.

° Le complexe a été construit avec le concours d'un consortium Japonais IHI-C-ITACHI dans le cadre d'un contrat clé en main.

° Situé dans la zone industrielle d'ARZEW d'une superficie de 120 hectares entre la centrale thermique (MERS EL HADJAJ) à l'EST et le complexe GL/Z à l'OUEST, entre la mer méditerranée et la route nationale N°1.1.

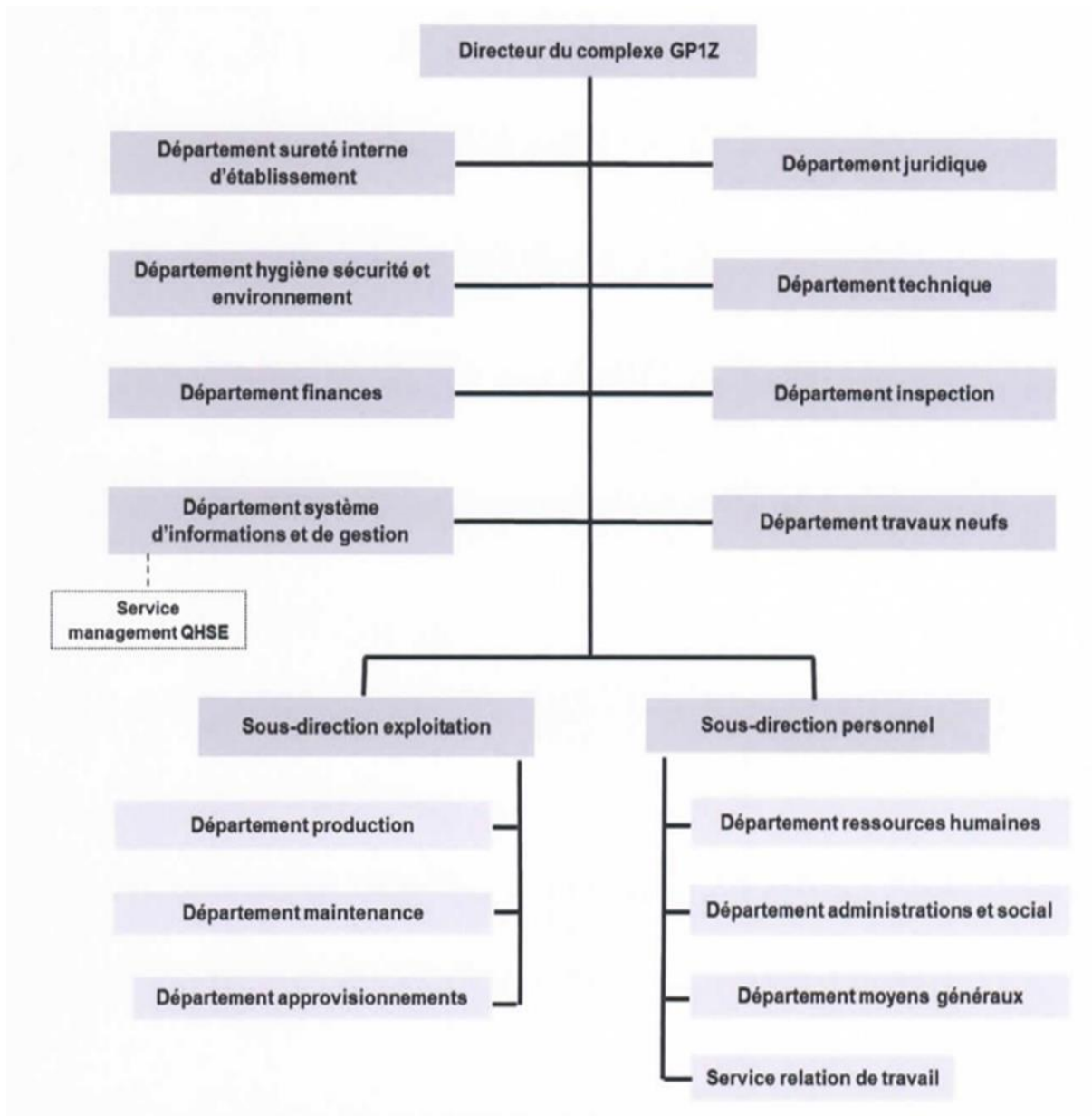
➤ En trois phases de construction :

Phase 1 : En 1983, disposait de 4 trains de traitement GPL, pour la production de 4.8 millions de tonnes par an.

Phase 2 : en 1998, l'extension du complexe (2 trains) qui a augmenté la production jusqu'à 7.2 million de tonnes par an.

Phase 3 : en mars 2010, une dernière extension du complexe (3 trains) pour atteindre 10.8 millions de tonnes par an.

I.3. Organisation du complexe



I.4. Les principales installations

- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m³ chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 02 Unités de liquéfaction du gaz évaporé.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m³ chacun.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m³ chacun.

- 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m³ chacune.
- 01 Sphère de stockage gazoline.
- 05 Salles de contrôle.
- 02 Sous-station électrique alimentée par la SONELGAZ.
- 04 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant.
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 20000 et 45000 tonnes.
- Une rampe de chargement de camions.
- Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- Un système de télésurveillance.

I.5. CAPACITE

A partir d'un traitement du GPL brut Algérien en provenance des champs gaziers et pétroliers du sud, la production du complexe est de 10.800.000 tonne/an de GPL : propane, butane commerciaux et pentane.

I.6. ALIMENTATION DE L'USINE

L'usine reçoit son alimentation de GPL des sources suivantes : Hassi Messaoud, Hassi Ramel, Alrar, In amenas, TinfouyeTabanKort (TFT), RhourdeNouss, GassiTouil.....

I.7. LES UTILITES

Elle alimente les diverses zones de production en :

- *Fuel* (gaz naturel) : utilisé comme combustible.
- *Air* : elle est divisée en deux :

Air instrument : C'est de l'air séché après enlèvement de l'humidité, cet air aide pour ouvrir les vannes et la manipulation des boucles de régulation (vanne pneumatique).

Air service : C'est du l'air qui sert pour le nettoyage et l'entretien.

- *Vapeur* : On utilise l'eau distillée à partir de la chaudière on produit de la vapeur.

- *Eau* :

**L'eau distillée* : On utilise le dessaleur pour avoir l'eau distillée à partir de l'eau de mer ;

**L'eau de refroidissement* ;

**L'eau potable*.

- *Méthanol* : Il est utilisé pour le dégivrage.
- *Gasoil* : Il est utilisé pour les générateurs de secours.
- *Azote* : il y'a deux circuits

*Circuit Gazeuse (HELIOS) ;

*Circuit l'azote liquide (COGIZ) : Ballon d'azote, On le transforme en vapeur pour l'inertage des équipements.

- Un générateur électrique de secours d'une capacité de 25.617 KW.
- Un système de sécurité vide-vite (Blow-down).
- Les torches : deux hautes pressions et une basse pression sert à brûler la quantité de gaz provoquée par un dysfonctionnement des trains.

I.8. PROCEDE DE FABRICATION

I.8.1. Section déshydratation

Le but de cette section est de réduire la teneur en eau de 100 ppm à 5 ppm dans le déshydrateur de charge et de 5 ppm à environ 1 ppm dans le déshydrateur de garde (dans la section réfrigération) et cela pour éviter la formation du givre dans les équipements en aval.

I.8.2. Système de fonctionnement

Le procédé de déshydratation est constitué de trois colonnes remplies d'adsorbant. A tout instant, une colonne est en adsorption, l'autre en régénération tandis que la troisième en attente. La durée d'adsorption est de 36 heures. À l'expiration de ce temps, la colonne en attente est mise en ligne et la colonne qui était en service passe en régénération. A ce moment, la troisième colonne a achevé son cycle de régénération et passe en attente. La charge contenant de l'eau dissoute passe de bas en haut dans la première colonne en traversant le lit adsorbant de tamis moléculaires.

➤ ***Cycle de régénération :***

Il est composé de plusieurs séquences : drainage, dépressurisation, réchauffage, refroidissement, pressurisation, remplissage. La durée totale de la régénération est de 19 heures.

➤ ***Drainage :***

La séquence de régénération commence par le drainage du GPL restant dans la colonne d'adsorption, le GPL brut est évacué vers les réservoirs sphériques d'alimentation sous la pression du gaz naturel (20 Kg/cm²eff) introduit en haut de la colonne. Le temps prévu pour le drainage est d'environ 1 heure.

➤ ***Dépressurisation :***

Afin de préparer la colonne à la séquence de chauffage il convient de réduire la pression de 20 à 4.5 Kg/cm², cela est réalisé par l'évacuation le gaz naturel vers la section fuel gaz. L'opération demande environ ½ heure.

➤ ***Réchauffage :***

Cette séquence représente l'opération principale du cycle de régénération, le chauffage se fait par le passage du gaz naturel chauffé à 280 °C dans la zone de convection du four. Ce passage se fait du haut en bas et l'eau contenue dans les tamis moléculaires sera donc évaporée. L'aéro-réfrigérant

(E-X001) est mis en service pour refroidir le gaz sortant du lit et pour condenser une partie d'eau contenue dans ce gaz. Ce dernier entre dans le séparateur de drainage (V-X002) où l'eau

libre est séparée et s'écoule vers les égouts des eaux huileuses, le gaz refroidi passe en tête vers le réseau fuel gaz. La période de chauffage nécessite une durée de 11 heures ensuite le cycle est arrêté par le programmeur qui signale que le fond du lit a atteint sa température de régénération 200°C.

➤ **Refroidissement :**

La colonne chaude après la séquence de réchauffage est refroidie par le gaz naturel froid à 12.7°C. Le gaz utilisé pendant le cycle de refroidissement continue à s'écouler vers le réseau fuel gaz. La durée de refroidissement est environ 5 heures.

➤ **Pressurisation :**

Avant le remplissage de la colonne en GPL, il faut augmenter sa pression par l'injection du gaz naturel à 20 Kg/cm² pour éviter une détente brusque du GPL et la détérioration du tamis moléculaire. L'opération demande ½ heure.

➤ **Remplissage :**

Après la remise sous pression de l'adsorbeur, le GPL liquide peut être réintroduit dans la colonne sans risque de détente et au fur et à mesure qu'il remonte dans la colonne, le gaz naturel est refoulé vers le ballon séparateur.

➤ **Section séparation :**

Le GPL provenant de la section déshydratation est introduit dans le fractionnateur à un débit constant nécessaire de telle manière à obtenir la quantité requise de produits.

➤ **Passage par les préchauffeurs :**

Le GPL déshydraté entre dans le fractionnateur à une température égale à 71°C après un passage par trois préchauffeurs.

➤ **Fractionnateur :**

C'est une colonne de fractionnement équipée de 55 plateaux à clapets.

C'est dans cette colonne que l'on effectue la séparation entre le propane, éthane sortant en tête et le butane, pentane sortant au fond de la colonne.

Le produit de tête du fractionnateur est envoyé vers le dé-éthaniseur au moyen d'une pompe de reflux qui assure en même temps la charge de dé-éthaniseur et le reflux du fractionnateur. Le butane sortant du fond est dirigé vers la section réfrigération.

➤ ***Dé-éthaniseur :***

C'est une colonne de fractionnement équipée de 25 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour l'élimination de l'éthane contenu dans le propane, l'éthane sort en tête et le propane sort au fond de la colonne.

➤ ***Dé-péntaniseur :***

C'est une colonne de fractionnement équipée de 50 plateaux à clapets. Cette colonne est utilisée pour éliminer le pentane contenu dans le butane et ceci selon la teneur en pentane de la source d'approvisionnement.

➤ ***Section réfrigération :***

Cette section reçoit le propane et le butane de la section séparation, les réfrigère jusqu'aux basses températures correspondantes aux points de saturation liquide au voisinage de la pression atmosphérique et les dirige vers les bacs de stockage à basse température. Chaque un des deux produits, propane et butane passent à travers trois refroidisseurs (chillers) pour être réfrigérés suivant un cycle ouvert par détente successive en trois niveaux de pression HP, MP, et BP par détente du propane (fluide frigorigène) après compression.

Les vapeurs résultantes de l'évaporation du propane réfrigérant dans les chillers et les condenseurs de têtes du dé-éthaniseur sont collectées dans les trois ballons d'aspiration HP, MP et BP pour être aspirées par le compresseur centrifuge entraîné par une turbine à gaz dans la phase I et par un moteur électrique dans la phase II, puis elles sont condensées dans les condenseurs de type aéro-réfrigérant (E-X027).

➤ ***Section d'huile chaude :***

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement et pour le préchauffeur final de la charge. Le fluide caloporteur circulant dans la boucle est l'huile TORADA TC 32. La température du fluide caloporteur à la sortie du four représente la température d'entrée pour chaque utilisation, est maintenue à 180°C. Le four (H-X501) fournit également la chaleur nécessaire au gaz naturel pour la régénération

des tamis moléculaire de la section déshydratation tout en chauffant ce dernier dans un petit serpentin de la section de convection à une température constante de 280°C à un débit de 2000 Nm³/h.

➤ **Section de stockage des produits :**

Elle s'occupe du stockage des produits finis et l'expédition par navires et camions. Le contrôle est assuré par deux salles :

- LCR (Local Control Room) : s'occupe de la gestion des opérations de stockage des produits finis, section récupération BOG (gaz évaporé).
- JCR (Jetty Control Room) : s'occupe de la supervision des opérations de chargement par navire.

➤ **Stockage à température ambiante :**

Prévu pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale ; le chargement camions se fait à partir des 4 sphères ayant une capacité de 500 m³ chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression.

- Une sphère (1) pour le Propane de 500 m³.
- Trois sphère (3) pour le Butane de 500 m³ chacune.

➤ **Stockage à basses températures :**

Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température sachant que la capacité de chacun est 70.000 m³ et sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires.

- Trois (4) bacs pour le Propane de 70000 m³ chacun
- Trois (4) bacs pour le Butane de 70000 m³ chacun.

➤ **Section BOG (Boil- Off- Gas) :**

La section de ré-liquéfaction des vapeurs (BOG), a pour but le contrôle de la pression dans les réservoirs de stockage à basse température, aussi bien pendant le stockage que pendant les opérations de chargement les vapeurs excédentaires récupérées sont comprimées pour qu'elle

puissent être ré-liquéfiées sous forme de condensats réfrigérés aux réservoirs à basse température afin de maintenir la pression dans les bacs entre 300 et 800 mmH₂O pour éviter une surpression.

➤ *La section BOG comporte deux unités :*

Unité BOG Propane : équipé de 05 compresseurs à pistons pour la phase I et 03 compresseurs pour la phase III. Chaque phase comprend : un ballon d'aspiration des vapeurs de propane, un ballon récepteur de condensât propane et, 03 économiseurs (refroidisseurs).

Unité BOG Butane : comportant 03 compresseurs à pistons pour la phase I et deux compresseurs pour la phase III (ceci est dû au débit d'évaporation du butane qui est moins important par rapport au débit d'évaporation du propane). Chaque phase comprend : 02 économiseurs, un ballon d'aspiration des vapeurs de butane et un ballon récepteur de condensât butane.

I.9. SCHEMA DU PROCEDE

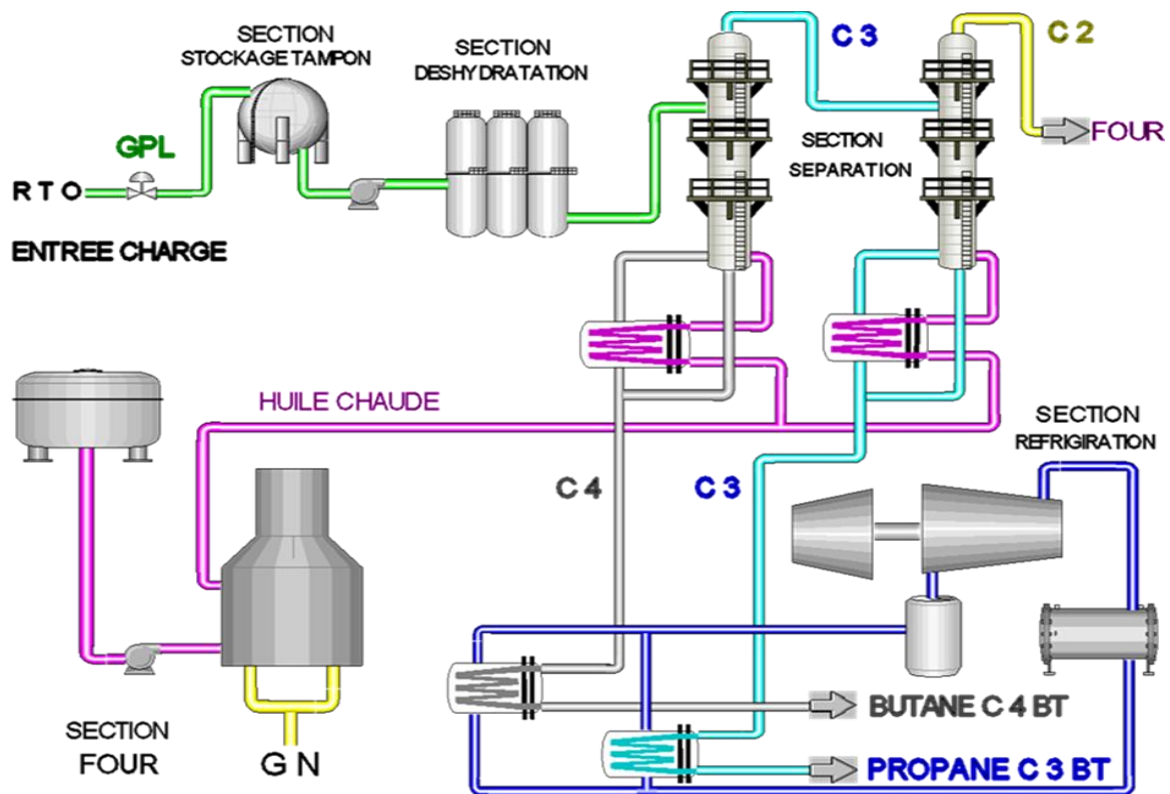


Figure.I.1. Schéma de procédé.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE LA TURBINE ET LE MOTEUR (MOTO-COMPRESSEUR)

II.1.LA TURBINE

II.1.1. Introduction

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...). La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu.

II.1.2. Les principales qualités

- Puissance spécifique élevée (kW/kg)
- Installation simple (la principale servitude est la qualité et le volume de l'air aspiré)
- Disponibilité élevée (> 95%)
- Poly combustible (gaz, fioul, ...)
- Exige peu de fluide de refroidissement (eau ou air)
- Accepte les conditions climatiques extrêmes (moyennant des adaptations sur l'aspiration d'air et les auxiliaires combustible et lubrification).
- Fonctionnement sous conduite et surveillance automatisée.
- Mise en régime rapide (quelques dizaines de minutes).

Son principal défaut est son assez faible rendement thermique intrinsèque (30% à 35%), mais qui peut être compensé souvent par la possibilité d'utiliser un combustible à faible valeur commerciale. Toutefois des progrès technologiques récents améliorent ce rendement (on atteint 38 à 42%).

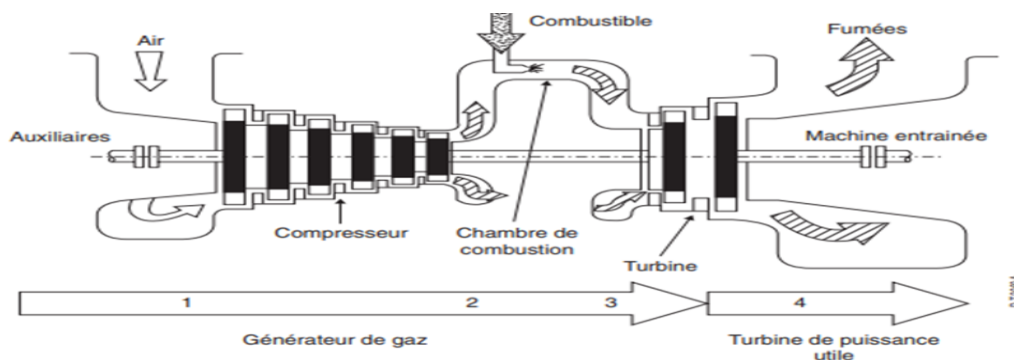


Figure.II.1. Description de la turbine.

II.1.3. Condition Opérateur

L'évolution de la pression et température des gaz dans la turbine à gaz représentée sur la figure suivante.

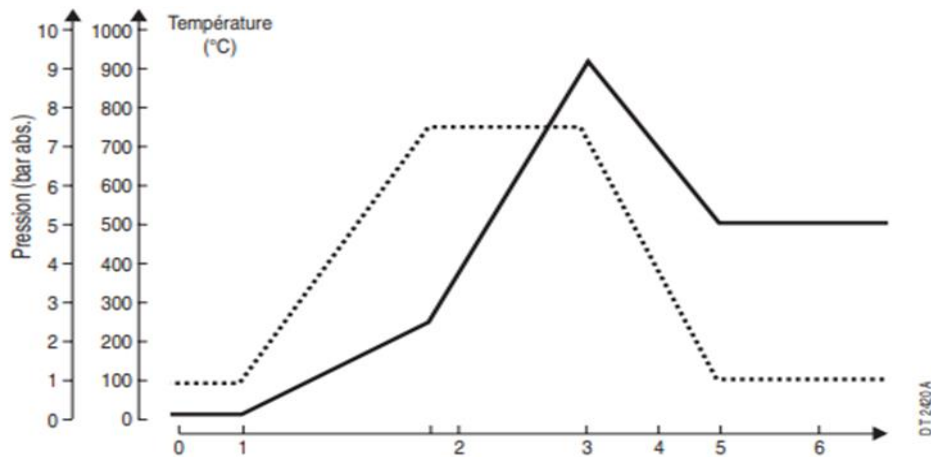


Figure.II.2. L'évolution de P et T des gaz dans la turbine.

Ces évolutions sont les suivantes :

→ **de 0 à 1**

C'est le parcours de l'air dans l'ensemble de filtration et la gaine d'aspiration. Il y a une faible perte de pression à cause des filtres et du silencieux.

→ **de 1 à 2**

C'est le parcours dans le compresseur. Il y a élévation de la pression (jusqu'à 7,5 bars environ). L'air en se comprimant s'échauffe, la température monte aux environs de 250°C.

→ **de 2 à 3**

C'est le parcours dans la chambre de combustion. Par combustion de la totalité de combustible, il y a élévation de la température. Pour la bonne tenue des matériaux au contact des gaz chauds, la température au point 3 est limitée à 950°C par l'utilisation d'un grand excès d'air de combustion (de l'ordre de 300%).

→ de 3 à 4

C'est la détente dans la turbine HP, qui se traduit par une baisse de pression et de température. L'énergie mécanique recueillie permet d'assurer l'entraînement du compresseur.

→ de 4 à 5

C'est la détente dans la turbine BP, qui se traduit par une baisse de la pression et de la température. L'énergie mécanique recueillie permet d'assurer l'entraînement de l'alternateur. Si la pression à la sortie de la turbine BP est sensiblement égale à la pression atmosphérique, la température des gaz d'échappement est encore aux environs de 530°C. Compte tenu de l'excès d'air de combustion, la teneur en oxygène des gaz d'échappement est de l'ordre de 15%.

II.1.4. Description de la turbine à gaz type S3 « à deux arbres »

Le complexe GP1Z utilise une turbine à gaz de type S3 pour entraîner le compresseur de propane.

II.1.4.1.Principe de fonctionnement

- *Compression de l'air*

Un compresseur axial à 17 étages aspire et comprime l'air jusqu'à 8.85 bar par des ailettes mobile et fixe.

Un système VSV (Variable Stator Vane) ajuste l'angle des ailettes statoriques des 4 premiers étages pour optimiser le débit selon la charge.

- *Combustion*

L'air comprimé est mélangé au gaz naturel dans deux chambres de combustion latérales, où la combustion permanente génère des gaz à haute température.

- *Détente et production d'énergie.*
- *Turbine haute pression* : Entraîne le compresseur via un arbre commun, utilisant environ 60% de l'énergie des gaz
- *Turbine utile* : Sur un arbre séparé, transforme l'énergie résiduelle des gaz en puissance mécanique pour l'application finale (générateur, compresseur externe, etc.).

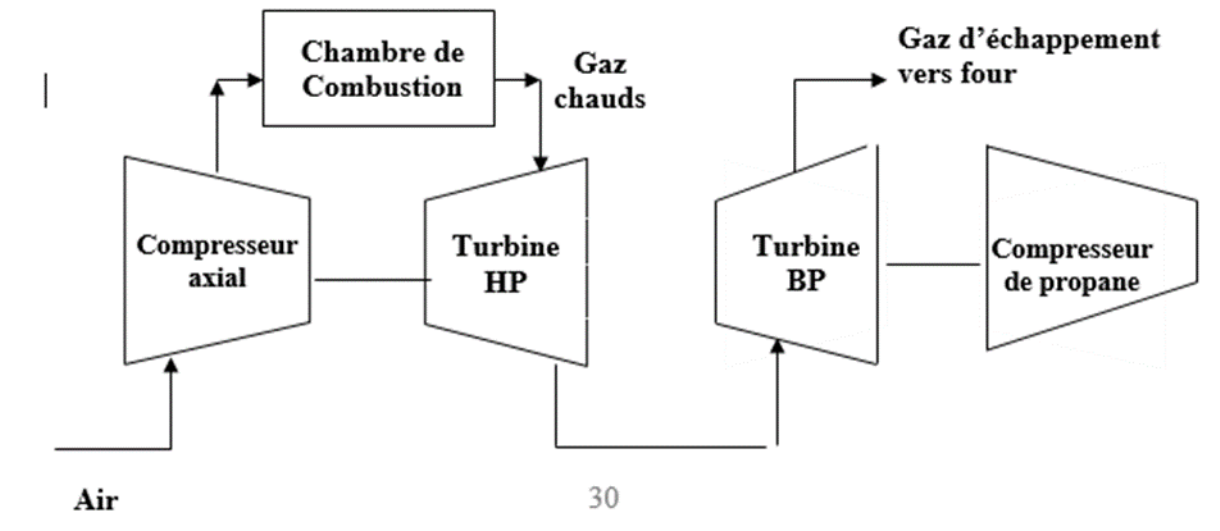


Figure. II.3. Principe de fonctionnement de la turbine.

II.1.4.2. Description

- *Corps de la turbine à gaz*

Elle est constituée des organes suivants :

- Un compresseur d'air axial.
- Quatre chambres de combustion où s'effectue la combustion.
- Une turbine de détente HP (turbine génératrice de gaz) qui entraîne le compresseur d'air.
- Une turbine de détente BP appelée turbine libre ou turbine de puissance qui est totalement indépendante de la première et qui sert à fournir de l'énergie mécanique utile pour entraîner le compresseur de propane.

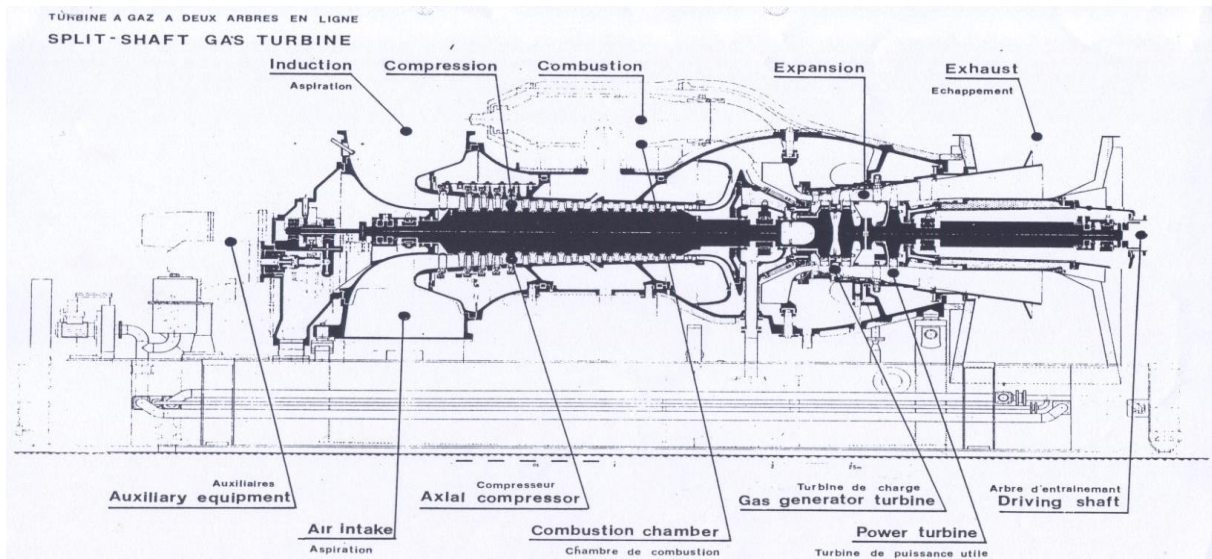


Figure. II.4. Coupe transversale d'une turbine à gaz type S3.

- *Compresseur d'air*

C'est un compresseur axial muni de 17 étages. Une bêche d'aspiration est conçue de manière à permettre l'entrée d'air au-dessous ou au-dessus selon la disposition de l'installation adoptée. Cette bêche comporte un système d'injection d'un produit granuleux sec pour le nettoyage du compresseur.

L'ailettage statorique du compresseur est fixé à ses portes ailettes logées dans le bâti extérieur. Le calage des ailettes directrices à l'entrée ainsi que celui des quatre premières rangées d'ailettes statoriques est réglable automatiquement pendant la marche ; ceci permet d'obtenir des rendements élevés aux charges partielles d'une part et de réduire la puissance requise au démarrage d'autre part.



Figure. II.5. Compresseur d'air axial.

❖ **Système d'admission d'air :**

Ce système est constitué d'un filtre à air à trois étages, d'un silencieux et d'une gaine d'admission. Le filtre à air est constitué des éléments suivants :

- 1^{er} étage : Auvent d'intempérie et filtre tournant.
- 2^{ème} étage : pré-filtres.
- 3^{ème} étage : filtres à haut rendement.

❖ **Compresseur axial à 17 étages :**

Se compose d'un jeu d'ailettes mobile suivi d'un jeu d'ailettes fixes.

- Quatre chambres de combustion.
- Turbine de charge à deux étages.
- Turbine libre à un étage.
- Système d'huile de graissage et de contrôle.
- Refroidisseur d'air.
- La turbine de démarrage.
- Le vireur.

II.1.5. Description instrumentation

A. Système de contrôle et de commande

La mise en marche, la commande et la mise à l'arrêt de la turbine à gaz s'effectuent à partir du tableau de commande disposé dans la salle de contrôle. Ce tableau est muni d'un système de commande électrique composé de :

- Un contrôle analogique.
- Un système séquentiel.
- Un système de protection.

Le contrôle analogique. A pour fonction de régler le débit du gaz combustible et par conséquent d'ajuster la vitesse de rotation de la turbine à gaz, il a également pour fonction de limiter la température à l'entrée de la turbine, il permet ainsi de régler les aubes directrices.

Le système séquentiel. Il a pour fonction d'assurer la commande séquentielle du démarrage/arrêt de la turbine.

CHAPITRE II. DESCRIPTION DE LA TURBINE ET LE MOTEUR (MOTO-COMPRESSEUR)

Le Système de protection de sécurité. Ce système permet d'empêcher la turbine de fonctionner hors de ses limites de service et d'avertir l'opérateur d'une anomalie par des signalisations d'alarme et de provoquer l'arrêt d'urgence de la turbine à gaz.

B. Systèmes auxiliaires

Système de démarrage. Le système de gaz de démarrage a pour fonction de faire démarrer la turbine à gaz jusqu'à une vitesse qui lui permettra d'être autonome.

Gaz combustible et allumage. Le gaz d'allumage est utilisé uniquement lors du démarrage de la turbine le gaz combustible est nécessaire en marche normale. Ce système présente une lourdeur en instruments tels que : Vanne de contrôle des Switch de température, de pression et de niveau, boîtes de jonction, jaugeur de pression etc.

Système d'air. La fonction primaire de l'air est de produire de la puissance à la sortie sous forme d'air comprimé, il est également utilisé pour d'autres buts tels que :

* Le système d'évacuation afin d'empêcher le pompage.

* Air de barrage et refroidissement.

II.2. DESCRIPTION DU MOTEUR ÉLECTRIQUE

II.2.1. Description électrique

Le moteur électrique est de marque TOSHIBA, de type asynchrone, de puissance 4750 KW, possédant les caractéristiques suivantes :

- Tension : 5500 V
- Fréquence : 50 Hz
- Vitesse : 1500 tr/mn
- Degrés de protection : IP55 pressurisé

Le nombre de démarrage permis est de deux démarrages à froid et d'un démarrage à chaud. La protection électrique de ce moteur est assurée par un relais numérique de type S2E21 et programmé pour les fonctions suivantes :

- ✓ Surcharge
- ✓ Surintensité
- ✓ Rotor bloqué

- ✓ Démarrages répétés

Ce moteur électrique est accouplé au compresseur de propane à travers un multiplicateur de vitesse d'un rapport de 6.

II.2.1.1 Présentation du moteur électrique ^[5]

Le type de moteur utilisé pour l'entraînement des compresseurs centrifuges de la phase II (au sein du complexe GP1Z) est de type triphasé asynchrone.

- **Les moteurs asynchrones** : Ces moteurs sont robustes et leur démarrage est très simple ; Il y'a deux grandes familles des moteurs asynchrones : à cage écureuil et à bague ou à rotor bobiné. Le principe de fonctionnement de ce type de moteurs est basé sur l'action d'un champ tournant inducteur sur un enroulement induit fermé sur lui-même et électriquement indépendant du réseau.
- **Corps du moteur électrique** : Les parties qui constituent le moteur électrique asynchrone sont :
 - ✓ **Le Stator** : c'est la partie fixe dans laquelle les fentes ou encoches sont occupées par des bobines reliées entre elles de façon à produire un champ magnétique tournant.
 - ✓ **Le Rotor** : C'est la partie mobile ou tournante dans laquelle les encoches sont occupées par des barreaux conducteurs généralement en aluminium réunis à chaque extrémité du circuit magnétique par des barreaux de court circuit. le rotor est le siège du couple moteur.
 - ✓ **Le Ventilateur** : Celui-ci est solidaire au rotor dans la partie opposée à l'accouplement ; il sert à :
 - Assurer un balayage afin d'éviter toute concentration de gaz dans le groupe (moteur électrique, accouplement et compresseur).
 - Refroidir les parties du moteur électrique
- **Équipements électriques auxiliaires** : Les équipements électriques auxiliaires du moteur sont :
 - Le disjoncteur 7.2 KV : il sert à la mise en service du moteur ; son arrêt et sa protection en cas de défauts internes ou externes.
 - Cellule de mesure et de protection : cette dernière englobe les appareils de mesure des paramètres électriques qui contrôlent le fonctionnement du moteur ainsi que les différents relais protégeant le moteur contre les défauts internes et externes pouvant y survenir.

II.2.1.2. Description instrumentation

Les moto-compresseur des trains de la phase II et la phase III sont équipés d'une instrumentation assurant la mise en marche et l'arrêt en toute sécurité de cette machine.

CHAPITRE III

COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

La distillation fractionnée est le procédé clé pour séparer les hydrocarbures (propane et butane) dans le gaz pétrolier le GPL (propane et butane) considéré comme une source énergétique moins polluante et aussi privilégié pour des usages domestiques et industriels pour se là le complexe (GP1Z) liquéfie donc le gaz pétrolier qui passe par plusieurs procédé consommatrices d'énergie considérable.

Dans ce cadre, il nous a été proposé par les opérateurs du complexe de faire une étude comparative entre la turbine dans la phase I et les moteurs électriques respectivement dans la phase II et III. (Tableau.III.1).

III. Revue énergétique

❖ Les lois de calculs

Energie consommé théorique $E = P_{th} * t$ (Equation III.1)

Avec P_{th} : la puissance théorique

t : temps de fonctionnement

Rapport de consommation $E\% = \frac{E_c}{E_g} * 100$ (Equation III.2)

Avec E_c : énergie consommée

E_g : énergie globale

On utilise les donné suivantes.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Tableau.III.1. revue énergétique théorique du four, turbine et moto-compresseur au niveau du complexe.

train		puissance théorique en KW	temps de fonctionnement en h	énergie consommé theorique	Ec/Eg	énergie de GN en KWH	Phase	
train 100	turbine	21887	3000	65661000	4,50486818		PHASE I	
	four	55438	3068	170083784	11,6691038	235744784		
Train 200	turbine	21887	3100	67849700	4,65503046	303594484		
	four	55438	3213	178122294	12,2206097	481716778		
train300	turbin	21887	2636	57694132	3,95827751	539410910		
	four	55438	2747	152288186	10,4481839	691699096		
train400	turbine	21887	1704	37295448	2,55876513	728994544		
	four	55438	1850	102560300	7,0364544	831554844		
train 500	motocom	4750	2301	10929750	0,749868			PHASE I
	four	55438	2800	155226400	10,6497688	986781244		
train600	motocom	4750	2067	9818250	0,67361024			PHASE II
	four	55438	2226	123404988	8,46656621	1110186232		
train 700	motocom	4750	1656	7866000	0,53967032		PHASE III	
	four	55089	1704	93871656	6,44034414	1204057888		
train 800	motocom	4750	2343	11129250	0,76355529			
	four	55089	1056	58173984	3,99119918	1262231872		
train 900	motocom	4750	2600	12350000	0,84730848			
	four	55089	2600	143231400	9,82681617	1405463272		
				1457556522	100	9781435948		

➤ LA TURBINE

$$Puissances thermie P_{the} = \phi \left(\frac{m^3}{h} \right) * PCI \dots\dots\dots (Equation III.3)$$

$$Pac = P_{the} * 0.24 \dots\dots\dots (Equation III.4)$$

$$P_{ech} = P_{ech} BP + P_{ech} MP + P_{ech} HP$$

$$Potentiel de gain \quad P = 100 - \frac{P_{ech}}{Pac} * 100 \dots\dots\dots (Equation III.5)$$

➤ MOTO COMPRESSEUR

$$P_e = \sqrt{3} * U * I * \cos\theta \dots\dots\dots (Equation III.6)$$

Avec U : énergie électrique

I : Intensité et $\cos \Theta = 0.9$

$$Puissances échangées P_{ech} = P_{ech} BP + P_{ech} MP + P_{ech} HP$$

$$Potentielle du gain P = 100 - \frac{P_{ech}}{P_e} * 100 \dots\dots\dots (Equation III.7)$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

➤ LE FOUR

$$P_{\text{the}} = \dot{V}(\text{m}^3/\text{h}) * \text{PCI} \dots\dots\dots(\text{Equation III.8})$$

$$P_{\text{ech}} = m_{(\text{huile})} * (H_s - H_e) \dots\dots\dots(\text{Equation III.9})$$

$$\text{Potentiel de gain } P = 100 - \frac{P_{\text{ech}}}{P_{\text{the}}} * 100 \dots\dots\dots(\text{Equation III.10})$$

III.1. Etude énergétique

Une étude énergétique sur la turbine à gaz de type S3 s'impose, pour comparer un moteur électrique est fondé sur la puissance développée par la turbine.

Avant l'étude sur la turbine On se propose de calculer la puissance du compresseur, et on supposera dans nos calculs que chaque étage est un compresseur en soi.

➤ La composition du propane réfrigérant

Tableau.III.2. La composition du propane réfrigérant

Constituent	Ethane	Propane	i-Butane
Y_i	0,01	0,9882	0,0018
P_{ci} (atm)	48,8	42,0	36,4
T_{ci} (k)	305,4	370	406

III.1.1. Calcul de T_{cm} et P_{cm}

Ou T_{cm} : température moyenne critique

P_{cm} : pression moyenne critique

Avec $T_{\text{cm}} = \sum Y_i * T_{ci} \dots\dots\dots(\text{Equation III.11})$

$$T_{\text{cm}} = (0.01 * 305.4) + (0.9882 * 370) + (0.0018 * 406) \implies T_{\text{cm}} = 369.42^\circ\text{K}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

$$P_{cm} = \sum Y_i * P_{ci} \dots\dots\dots(\text{Equation III.12}).$$

$$P_{cm} = (0.01*48.8) + (0.9882*42.0) + (0.0018*36.4) \implies P_{cm} = 42.05 \text{ atm}$$

III.1.2. Calcul de l'étage BP

Les températures et les pressions sont données par le département technique.

➤ *Aspiration*

$$T_{aBP} = -33,50 \text{ °C} = 239,5 \text{ K} \quad P_{aBP} = 1.06 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{aBP} = 0.9666$$

➤ *Refoulement*

$$T_{rBP} = -3.36 \text{ °C} = 269.64 \text{ °K} \quad P_{rBP} = 2.99 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{rBP} = 0.9558$$

III.1.2.1 Calcul de l'exposant poly tropique

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Leftrightarrow k = \frac{1}{\frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{1 - \frac{P_2}{P_1}}} \dots\dots\dots(\text{Equation III.13}).$$

Avec T_2 : Température de refoulement en K.

T_1 : Température de l'aspiration K.

P_2 : Pression de refoulement kgf/cm^2 .

P_1 : Pression de l'aspiration kgf/cm^2 .

k : Coefficient poly tropique

On trouve

$$T_1 = 239,5\text{K} \quad T_2 = 269.64\text{K} \quad P_1 = 1.06 \text{ Kg/cm}^2 \quad P_2 = 2.99 \text{ Kg/cm}^2 \quad k = 1.133.$$

III.1.2.2. Calcul de la hauteur polytropic

$$W_{\text{poly}}^{\text{BP}} = \bar{Z} R T_{aBP} \left[\left(\frac{P_{rBP}}{P_{aBP}}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \cdot \frac{k}{M(k-1)} \dots\dots\dots(\text{Equation III.14})$$

$$\bar{Z} = \frac{Z_{aBP} + Z_{rBP}}{2}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Avec W_{poly}^{BP} : Travail polytropique de l'étage BP en K joule/Kg.

P_{rBP} : Pression de refoulement du compresseur (étage BP) kgf/cm².

P_{aBP} : Pression de l'aspiration du compresseur (étage BP) kgf/cm².

T_{aBP} : Température d'aspiration K.

\bar{Z} : Facteur de compressibilité moyen (aspiration /refoulement).

k : Coefficient polytropique.

M : Masse moléculaire de gaz =44 kg/K mole.

R : Constante des gaz parfaits =8.314 K joule/K mole °K

Donc
$$\bar{Z} = \frac{0.9666 + 0.9558}{2} = \mathbf{0.9612}$$

$$W_{POLY}^{BP} = \frac{1.133}{1.133-1} \cdot \frac{239.5 \cdot 8.314 \cdot 0.9612}{44} \left[\frac{2.99^{\frac{1.133-1}{1.133}}}{1.06} - 1 \right] \implies W_{poly}^{BP} = 46.59 \text{ Kj/Kg}$$

III.1.2.3. La puissance de l'étage BP

Sachant que la puissance du compresseur se calcule comme suit :

$$P_{poly}^{BP} = \frac{G_{BP} \cdot W_{poly}^{BP}}{\eta_{poly}^{BP}} \dots\dots\dots \text{(Equation III.15)}$$

Avec P_{poly}^{BP} : Puissance polytropique de l'étage BP en Kj/hr.

G_{BP} : Débit massique de l'étage BP en Kg/hr ($G_{BP} = 16473 \text{ Kg/hr}$).

η_{poly}^{BP} : Le rendement poly tropique de l'étage BP étant égal à 0.668 (design).

On trouve
$$P_{poly}^{BP} = \frac{16473 \cdot 46.6}{0.668} \implies P_{poly}^{BP} = 1149164.37 \text{ Kj/KG}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Soit $P_{poly}^{BP} = 319.21 \text{ KW}$

III.1.3. Calcul de l'étage MP

➤ *Aspiration*

$$T_{aMP} = -13 \text{ °C} = 260 \text{ °K} \quad P_{aMP} = 2.99 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{aBP} = 0.9385$$

➤ *Refoulement*

$$T_{rMP} = 30.75 \text{ °C} = 303.75 \text{ °K} \quad P_{rMP} = 6.713 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{rMP} = 0.8975$$

III.1.3.1. Calcul de l'exposant polytropique

On utilise l'Equation III.13. On trouve:

$$T_1 = 260 \text{ K}, \quad T_2 = 303.75 \text{ K}, \quad P_1 = 2.99 \text{ Kg/cm}^2, \quad P_2 = 6.713 \text{ Kg/cm}^2, \quad k = 1.24$$

III.1.3.2. Calcul de la hauteur poly tropique

$$W_{poly}^{MP} = \bar{Z} R T_{aMP} \left[\left(\frac{P_{rMP}}{P_{aMP}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \cdot \frac{k}{M(k-1)} \text{ Equation III.16}$$

$$\bar{Z} = \frac{Z_{aMP} + Z_{rMP}}{2}$$

Avec W_{poly}^{MP} : Travail polytropique de l'étage MP en K joule/Kg.

P_{rMP} : Pression de refoulement du compresseur (étage MP) kgf/cm^2 .

P_{aMP} : Pression de l'aspiration du compresseur (étage MP) kgf/cm^2 .

T_{aMP} : Température d'aspiration K.

\bar{Z} : Facteur de compressibilité moyen (aspiration /refoulement).

$$\bar{Z} = \frac{0.9385 + 0.8975}{2} = 0.918$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

$$W_{POLY}^{MP} = \frac{1.24}{1.24-1} \cdot \frac{260 \cdot 8.314 \cdot 0.918}{44} \left[\frac{6.713^{\frac{1.24-1}{1.24}}}{2.99} - 1 \right] \Rightarrow W_{poly}^{MP} = 39.48 \text{ Kj/Kg}$$

III.1.3.3 La puissance de l'étage MP

$$P_{poly}^{MP} = \frac{G_{MP} \cdot W_{poly}^{MP}}{\eta_{poly}^{MP}}$$

Avec P_{poly}^{MP} : Puissance polytropique de l'étage MP en Kj/hr

G_{MP} : Débit massique de l'étage MP en Kg/hr

η_{poly}^{MP} : Le rendement polytropique de l'étage MP étant égal à 0.745 (design)

$$G_{MP} = 59805,48 \text{ Kg/hr} \quad P_{POLY}^{MP} = \frac{59805,48 \cdot 39,48}{0,745} \Rightarrow P_{poly}^{MP} = 3169289,061 \text{ Kj/hr}$$

Soit $P_{poly}^{MP} = 880,35 \text{ KW}$

III.1.4. Calcul de l'étage HP

➤ *Aspiration*

$$T_{aHP} = 19,71 \text{ }^\circ\text{C} = 292,71 \text{ K} \quad P_{aHP} = 6,713 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{aHP} = 0,902$$

➤ *Refoulement*

$$T_{rHP} = 69,68 \text{ }^\circ\text{C} = 342,68 \text{ K} \quad P_{rHP} = 17,3 \text{ Kg/cm}^2 \quad Z_{rHP} = 0,780$$

III.1.4.1. Calcul de l'exposant polytropique

On trouve $T_1 = 292,71 \text{ K}$, $T_2 = 342,68 \text{ K}$, $P_1 = 6,713 \text{ Kg/cm}^2$, $P_2 = 17,3 \text{ Kg/cm}^2$, $k = 1,20$

III.1.4.2. Calcul de la hauteur polytropique

$$W_{poly}^{HP} = \bar{Z} R T_{aHP} \left[\left(\frac{P_{rHP}}{P_{aHP}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \cdot \frac{k}{M(k-1)} \text{ Equation III.17}$$

$$\bar{Z} = \frac{Z_{aHP} + Z_{rHP}}{2}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Avec W_{poly}^{HP} : Travail polytropique de l'étage HP en K joule/Kg.

P_{rHP} : Pression de refoulement du compresseur (étage HP) kgf/cm².

P_{aHP} : Pression d'aspiration du compresseur (étage HP) kgf/cm².

T_{aHP} : Température d'aspiration °K.

$$\bar{Z} = \frac{0.902 + 0.780}{2} = 0.841$$

$$W_{POLY}^{HP} = \frac{1.20}{1.20-1} \cdot \frac{292.71 \cdot 8.314 \cdot 0.841}{44} \left[\frac{17.3^{\frac{1.2-1}{1.2}}}{6.713} - 1 \right] \Longrightarrow W_{poly}^{HP} = 47.69 \text{ Kj/Kg}$$

III.1.4.3. La puissance de l'étage HP

$$P_{poly}^{BP} = \frac{G_{MP} \cdot W_{poly}^{BP}}{\eta_{poly}^{BP}}$$

Avec P_{poly}^{HP} : Puissance poly tropique à l'étage HP en Kj/hr

G_{HP} : Débit massique à l'étage HP en Kg/hr

η_{poly}^{HP} : Le rendement polytropique de l'étage HP étant égal à 0.71 (design)

$$G_{HP} = 112449 \text{ Kg/hr} \quad \text{et} \quad P_{POLY}^{HP} = \frac{112449 \cdot 47.69}{0.71}$$

$$\Longrightarrow P_{poly}^{HP} = 7553088.465 \text{ Kj/hr} \quad \text{ou bien} \quad P_{poly}^{HP} = 2098.08 \text{ KW}$$

III.2. La puissance totale du compresseur

$$\text{On à } P_{plyt}^{total} = \sum P_{poly} = P_{poly}^{BP} + P_{poly}^{MP} + P_{poly}^{HP} = 319,14 + 880,35 + 2098.08$$

$$\Longrightarrow P = 3298 \text{ KW}$$

III.3. Calcul de la chaleur spécifique des gaz d'échappement

La composition des gaz d'échappement donnée dans le tableau suivant.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Tableau.III.3. La composition des gaz d'échappement.

Composant	X _i (% mol)	M _i (g/mole)	X _i .M _i	Y _i (% mass)
CO ₂	0,017	44	0,748	0,026
H ₂ O	0,032	18	0,576	0,020
N ₂	0,777	28	21,756	0,760
O ₂	0,174	32	5,568	0,194
Total	1	/	28,648	/

Tableau.III.4. La composition d'air.

Composant	X _i (% mol)	M _i (g/mole)	X _i .M _i	Y _i (% mass)
N ₂	0,79	28	22,12	0,76
O ₂	0,21	32	6,72	0,23
Total	1	/	28,84	/

Tel que :

- X_i : fraction molaire des composants des gaz d'échappement
- M_i : masse molaire des composants des gaz d'échappement
- Y_i : fraction massique des composants des gaz d'échappement

$$\text{Avec : } Y_i = \frac{X_i M_i}{\sum X_i M_i}$$

Tableau.III.5. Constantes utilisées pour le calcul de la chaleur spécifique.

COMPOSANT	B _i	10 ³ C _i	10 ⁶ D _i	10 ⁹ E _i	10 ¹³ F _i
CO ₂	0,479107	0,762159	-0,359392	0,084744	-0,057752
H ₂ O	1,915007	-0,395741	0,876232	-0,495086	1,038613
N ₂	1,06849	-0,134096	0,215569	-0,078632	0,06985
O ₂	0,95244	-0,28114	0,655223	-0,452316	1,087744

On utilise l'équation : $C_p(T) = \sum Y_i * C_{pi}(T)$ (Equation III.18).

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

$$C_{pi}(T) = B_i + 2C_i * T + 3D_i * T^2 + 4E_i * T^3 + 5F_i * T^4 \quad [5]$$

Toutes les températures prises sont réelles de relevés DCS.

Donc à $T_1 = 25 \text{ °C}$ Température d'entrée du compresseur d'air.

$$C_{P1} = 1.0035 \text{ kJ/kg K}$$

$T_2' = 350 \text{ °C}$ Température de sortie du compresseur d'air.

$$C'_{P2} = 1.06481 \text{ kJ/kg K}$$

$T_3 = 939 \text{ °C}$ Température de sortie de la chambre de combustion.

$$C_{P3} = 1.21580 \text{ kJ/kg K}$$

$T_4' = 430 \text{ °C}$ Température de sortie de la turbine.

$$C_{P4} = 1.10560 \text{ kJ/kg K}$$

III.4. Calcul du rendement du compresseur d'air

Avant de calculer le rendement du compresseur, il nous faut calculer la température idéale de sortie du compresseur T_2 .

$$T_2 = T_1 * (r)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (\text{Equation III.19}).$$

Ou r : Taux de compression. γ : Exposant adiabatique.

$$T_2 = 298 * (7.8)^{0.4/1.4} \quad T_2 = 535.92 \text{ K.} \quad \Longrightarrow C_{P2} = 1.03555 \text{ kJ/kg °K}$$

$$\eta = \frac{W_{isent}}{W_{reel}} = \frac{W_{isent}}{W_{reel}} = \frac{H_2 - H_1}{H_2' - H_1} = \frac{c_{P2} * T_2 - c_{P1} * T_1}{c_{P2}' * T_2' - c_{P1} * T_1} \quad (\text{Equation III.20}).$$

$$\eta = \frac{(1.03555 * 535.92) - (1.0035 * 298)}{(1.06481 * 623) - (1.0035 * 298)} \quad \Longrightarrow \eta_{is} = 65.53\%$$

III.5. Calcul du rendement de la turbine à gaz

Même méthode pour la turbine, il nous faut d'abord calculer sa température idéale de sortie T_4 .

$$T_4 = T_3 * (1/r)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$T_4 = 1212 * (0.128)^{0.4/1.4} \quad \Longrightarrow T_4 = 673.62 \text{ °K}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

$$\eta = \frac{W_{reel}}{W_{isontropic}} = \frac{H_3 - H'_4}{H_3 - H_4} = \frac{cp_3 * T_3 - cp_4' * T'_4}{cp_3 * T_3 - cp_4 * T_4}$$

$$\eta = \frac{(1.21580 * 1212) - (1.10560 * 703)}{(1.21580 * 1212) - (1.09943 * 673.62)} \implies \eta = 95\%$$

III.6. Calcul du rendement du cycle

$$\eta_{cycle} = \frac{W_{turbine} - W_{comp}}{Q_{cc}} \text{ (Equation III.21).}$$

$$W_{turbine} = (C_{p3} * T_3) - (C_{p4}' * T_4')$$

$$W_{turbine} = (1.21580 * 1212) - (1.10560 * 703) \implies W_{turbine} = 696,31 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{comp} = (C_{p2}' * T_2') - (C_{p1} * T_1)$$

$$W_{comp} = (1.06481 * 623) - (1.0035 * 298) \implies W_{comp} = 364.33 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{cc} = (C_{p3} * T_3) - (C_{p2}' * T_2')$$

$$Q_{cc} = (1.21580 * 1212) - (1.06481 * 623) \implies Q_{cc} = 810.17 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{cycle} = \frac{696.31 - 364.33}{810.17} \implies \eta_{cycle} = 41\%$$

III.7. Calcul du travail net de la turbine

$$W_{net} = W_{turbine} - W_{comp}$$

$$W_{net} = 696,31 - 364,33 \implies W_{net} = 331,98 \text{ kJ/kg.}$$

Pour convertir le travail net du compresseur en puissance (watts) on multiplie par le débit massique qui est de 25,5Kg/sec. (Paramètre de fonctionnement de la turbine).

$$P_{net} = 25.5 * 331.98$$

La puissance développée par la turbine est de $P_{net} = 8465.49 \text{ KW}$

La puissance nécessaire pour faire tourner le compresseur de propane est de 3298 KW

III.8. INTERPRETATION DES RESULTATS

D'après les résultats obtenus, la puissance développée par la turbine à gaz qui est de 8465.49 KW est largement suffisante pour faire tourner le compresseur de propane qui nécessite

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

une puissance de 3298 KW. On peut conclure que le changement apporté à la phase II n'est pas lié à un manque d'énergie de la turbine.

III.9. Etude énergétique du moteur

III.9.1. Puissance électrique absorbée

$$P_A = \sqrt{3} * U * I_c * \cos \varphi$$

Tel que P_A : puissance absorbée en Watts, U : 5500 (Volts), I : (400) Ampère, $\cos \varphi = 0.9$

$$P_A = \sqrt{3} * 5500 * 400 * 0,9 = 3429,5(\text{KW})$$

III.9.2. Energie de moteur électrique

$$E = P * tE = 3429,5 * 24 = 82308 (\text{KWH})$$

III.10. INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour faire tourner le compresseur il faut une puissance de 3298 KW et le moteur électrique est capable de délivrer cette puissance. Mais on remarque que la marge entre la puissance fournie par le moteur et celle consommée par le compresseur est faible.

$$D = 3429,5 - 3297 = 132,5 \text{ KW}$$

✓ Avantages d'une turbine à gaz

Maîtrise de la charge, c'est-à-dire que son augmentation ou sa baisse est facilement réalisée par la turbine à gaz

✓ Inconvénients d'une turbine à gaz

- La maintenance est très délicate ; du fait de la nécessité de faire recours à la main d'œuvre étrangère (spécialiste, métallurgiste et un commissioning).
- Le démarrage de la turbine après un arrêt accidentel ou programmé est difficile, et engendre la mobilisation d'un nombre important de personnel (local et étranger).
- Le problème de la corrosion des ailettes dû au vent marin.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

✓ Avantages du moteur électrique

- Contrairement à la turbine à gaz, la maintenance du moteur électrique est plus souple.
- Un redémarrage facile vu ses propriétés techniques.

✓ Inconvénients du moteur électrique

- la vitesse du moteur électrique est fixe, par conséquent la baisse ou l'augmentation de la charge est trop difficile.
- La moindre perturbation dans le réseau d'électricité provoque le déclenchement du moteur électrique.

III.11. COMPARAISON DE COUT ENERGETIQUE

III.11.1. Comparaison de maintenance

➤ Moteur

Vu le manque d'expérience sur ce type de moteur, on prendra les recommandations du constructeur, qui prévoit le changement du moteur et du multiplicateur après 20 ans de service, le coût estimé est de 2 000 000 \$. Pour ce type de maintenance le prix de revient de la tonne de GPL basé sur une production de 21 024000 de tonnes augmente de 6.5 DA.

$$C = \frac{240 \times 20 \times 365 \times 24 \times 0.5}{1} = 21024000 \text{ tonnes.}$$

➤ Turbine

Après 100000 heures de service de la turbine qui équivaut à une production de 12000000 de tonnes de GPL, on doit prévoir

- cinq (5) entretiens préventifs (révisions partielles).
- une révision après 100000 heures de service.

Le coût total de la maintenance est de 143 850 286 DA. Le prix de revient de la tonne de GPL basé sur 100 000 heures de fonctionnement (équivalent à 12 000000 de tonnes de GPL) subi une augmentation de 13.87 DA due à la maintenance.

$$C = \frac{240 \times 100000 \times 0.5}{1} = 12000000 \text{ tonnes}$$

Avec : La densité de GPL égal a : 0.5tonnes/m³.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Le débit d'entre égal a : $F = 240 \text{ m}^3/\text{h}$.

III.11.2. Comparaison énergétique

Le complexe GPIZ est doté de deux systèmes d'entraînement du compresseur centrifuge de la section de réfrigération : dans la phase I il est entraîné par une turbine à vitesse variable alors que dans la phase II il est entraîné par moteur électrique à vitesse constante. Suite aux deux modes d'entraînement des compresseurs centrifuges, nous avons jugé utile de faire une comparaison du coût énergétique de la tonne de GPL entre les deux phases.

En comparant un train de la phase I avec un train de la phase II on constate :

- La section de déshydratation de la phase II comporte seulement deux — sécheurs alors que celle de la phase I en comporte trois sécheurs. Toutefois la quantité de gaz naturel utilisée pour la régénération des sécheurs est la même pour les deux phases.
- La section séparation est identique pour les deux phases.
- La section de réfrigération des deux phases diffère par.
- Le compresseur centrifuge de la phase I est entraîné par une turbine, alors que celui de la phase II est entraîné par un moteur électrique.
- La variation de la charge de la section de réfrigération de la phase I est contrôlée par la variation de la vitesse de la turbine d'entraînement. Celle de la phase II est contrôlée par des vannes de laminage aux aspirations du compresseur.
- Dans la section four de la phase I, les gaz chauds de la turbine sont récupérés dans la zone de convection du four. Dans la phase II cette récupération n'existe pas.

En se basant sur ces faits, on a jugé utile de faire trois genres de comparaisons.

1-- Le prix de revient de la tonne de GPL en tenant seulement compte du gaz naturel brûlé dans la turbine dans la phase I et l'électricité consommable par le moteur de la phase II.

2- Le prix de revient de la tonne de GPL en tenant compte d'une part du gaz naturel utilisé par la turbine et par le four dans la phase I et d'autre part de l'électricité consommée par le moteur et le gaz naturel brûlé au niveau du four dans la phase II.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

3- Le prix de revient de la tonne de GPL en tenant compte d'une part du gaz naturel utilisé par la déshydratation, par la turbine et par le four dans la Phase I (GN entrée train) de la phase I et d'autre part de l'électricité consommée par le moteur et le gaz naturel brûlé au niveau de la déshydratation et du four (GN entrée train) dans la phase II.

III.11.3. Méthodologie de travail

Durant la période de test allant du 31/01/2025 au 02/03/2025, des relevés horaires des cinq trains en service (trois trains de la phase I et deux trains de la phase II ont été pris à partir du DCS.

Ces relevés concernent les paramètres suivants :

FQ N002 : Compteur de la charge GPL à l'entrée du train NOO.

FIC N002 : Débit horaire de la charge GPL à l'entrée du train NOO.

FI N205 : Débit horaire du butane réfrigéré du train NOO.

FIC N201 : Débit horaire du propane réfrigéré du train NOO.

FIC N 104 : Débit horaire du butane ambiant du train NOO.

FIC N202 : Débit horaire du propane réfrigéré du train NOO.

FI_5553 FI_5554 FI_5556 FI_6553 FI_6554 : débit horaire du GN a l'entrée du 5 train

FI N210 : Débit horaire du GN consommé au niveau de la turbine du train NOO de la phase I.

A_M5001 et A_M6001 : l'intensité horaire du courant consommé par les Moteurs du train 500 et du train 600 de la phase II. Durant ce test la vanne des gaz récupérés reliant les deux fours de la phase I a été maintenue fermée pour avoir une comparaison réelle. Durant ce test pour ne pas perturber le planning de la production, on a pris les Traitements des trains tels qu'ils sont.

III.11.4. Résultats

Les calculs ont été effectués sur la base des prix actuels:

Le prix de 1 000 Cm³ de gaz naturel est de 1 023.34 DA.

Le prix de l'électricité est composé comme suit :

✓ *Energie active*

Heures creuses (22^h 30 à 6^h 00 GMT) : 31 cDA/KWH.

Heures de pointe (17^h 00 à 21^h 00 GMT) : 346.9 cDAJKWH.

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Heures pleines (6^h 00 à 17^h 00 et 21^h 00 à 22^h 30 GMT) : 71.7cDA/KWH.

✓ *Puissance mise à disposition* 19.91 DA/KW/mois.

✓ *Puissance maximale atteinte* 99.44 DA/KW/mois.

Dans nos calculs la puissance mise à disposition et la puissance maximale atteinte seront augmentées de 4500 KW pour un moteur.

Les résultats pour un traitement moyen, un traitement bas et un traitement élevé peuvent se résumer comme suit (Pour le train 100 les autres trains dans annexe):

Train 100 :

Durant cette période, le déethaniseur a été aligné durant un mois.

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine :

- pour un traitement moyen de 94% est de 12 DA.
- Pour un traitement bas de 42 % est de 24.53 DA.
- Pour un traitement élevé de 120% est de 9.23 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine et par le four :

- pour un traitement moyen de 94% est de 20.89 DA
- pour un traitement bas de 42% est de 24.53 DA.
- Pour un traitement maximal de 120% est de 17.72DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par tout le train :

- pour un traitement moyen de 94% est de 30.06 DA
- pour un traitement bas de 42% est de 60.64 DA.
- Pour un traitement maximal de 120% est de 24.37DA

Avec prix de GN consommer et calculer avec la relation suivante :

$$\frac{1023.34 * \text{la sommes de la consommation journalié}}{1000}$$

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Tbleau.III.6. Les principaux résultats se résument comme suit.

Train	Traitement(%)	Prix de revient de la tonne de GPL dans le cas N° 1 (DA)	Prix de revient de la tonne de GPL dans le cas N° 2 (DA)	Prix de revient de la tonne de GPL dans le cas N° 3 (DA)
T100	94	12	20.89	30.06
	42	24.53	41.43	60.64
	120	9.23	17.72	24.37
T200	91	12.53	18.36	27.54
	49	20.72	34.72	48.24
	117	11.17	14.54	22.67
T400	94	11.67	21.97	31.10
	67	15.20	32.37	44.53
	120	9.88	12.99	21.48
T500	93	39.59	46.41	54.98
	31	103.34	120.85	162.89
	66	50.01	55.76	72.75
	118	31.22	34.78	43.78

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

T600	94	37.73	43.63	50.84
	60	52.65	60.71	85.89
	117	31.75	36.94	41.19

III.11.5. Les lois de calculs

- Prix de GN consommés en DA $Pr(gn) = \frac{1023.34 * Q(gn \text{ entrée})}{1000}$

- Prix de GN consommés par la Turbine en DA

$$Pr(gn \text{ de turbine}) = \frac{1023.34 * Q(gn \text{ de turbine})}{1000}$$

- Taux de traitement % $T\% = \frac{Q(gpl) * 100}{3030}$

- Prix de GN /tonnes de GPL produit en DAP $(gn/gpl) = \frac{Pr(gn)}{Q(gpl)}$

- Prix du GN de la turbine /tonne de GPL produite en DAP $(gn \text{ tu}/gpl) = \frac{Pr(gn \text{ turb})}{Q(gpl)}$

- Consommation énergétique de la turbine en équivalent tonnes de GPL

$$C = \frac{Q(gn)}{1000} * \frac{9400}{11963}$$

- Prix de GN entrée dans le train en DA $P(gn \text{ e}) = \frac{1023.34 * Q(gn \text{ e})}{1000}$

- Prix de GN de four et turbine en DAP $(gn \text{ f t}) = \frac{1023.34 * Q(gn \text{ f t})}{1000}$

- Prix de GN consommés par la turbine en DAP $(gn \text{ t}) = \frac{1023.34 * Q(gn \text{ t})}{1000}$

- Prix de GN de four et de turbine pour une tonne de GPL produit en DA

$$P(gn \text{ tu f}/gpl) = \frac{Pr(gn \text{ f t})}{Q(gpl)}$$

Pour Phase II et III on aux mêmes méthodes de calculs suivant

III.11.6. La puissance en KW

- Prix de l'énergie / tonne de GPL produit en DA

$$Pr \text{ e}/gpl = \frac{\text{prix de l'électricité active consommée en DA}}{Q(gpl)}$$

- La puissance en KW

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

$$P = \frac{19.91 \cdot 5000 + 99.44 \cdot 4500}{30} = 18234.33$$

- Prix de la puissance /tonne de GPL produit en DA

$$Pr(p/gpl) = \frac{19.91 \cdot 5000 + 99.44 \cdot 4500}{Q/gpl}$$

- Prix de l'électricité /tonne de GPL produite en DA

$$Pr (el/gpl) = \frac{Pr(e/gpl)}{Pr (P/gpl)}$$

- Prix de revient total / tonne de GPL produit

$$Pr (revient) = Pr (el/gpl) + Pr (gn/gpl)$$

- Prix de GN entrée dans le train pour une tonne de GPL

$$Pr(gn train) = \frac{Pr(gnentrétrain)}{Q/gpl}$$

- Prix du GN de four pour une tonne de GPL

$$Pr(gn four) = \frac{Pr(gnfour)}{Q/gpl}$$

Les résultats est résumé dans les tableaux suivants.

Tableau.III.7. Le cout énergétique journalière du train 100 Phase I

Journée	Quantité de GPL	Quantité de GPL	Quantité de GN entrée	Quantité de GN four	Prix de GN consom	Quantité de GN consom	Prix de GN consom	Taux de traitement	Prix GN /tonnes de GPL
31/1/25	2 631	2 770	34 753	34 753	34 753	30 857	31 577	86,82	13,21
1/1/25	3 095	3 191	36 777	36 777	36 777	33 445	34 226	102,16	11,88
2/2/25	3 575	3 623	43 882	43 882	43 882	33 622	34 407	117,97	12,28
3/2/25	3 099	3 198	48 639	48 639	48 639	31 479	32 214	102,28	15,70
4/2/25	2 510	2 694	42 422	42 422	42 422	30 401	31 110	82,83	16,90
5/2/25	2 525	2 640	47 315	47 315	47 315	31 986	32 733	83,33	18,74

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

6/2/25	3 023	3 087	52 806	52 806	52 806	32 850	33 617	99,77	17,47
7/2/25	2 213	2 403	42 897	42 897	42 897	31 349	32 081	73,05	19,38
8/2/25	2 329	2 461	46 267	46 267	46 267	31 903	32 647	76,88	19,86
9/2/25	2 575	2 699	50 546	50 546	50 546	32 511	33 270	84,98	19,63
10/2/25	3 569	3 569	44 164	44 164	44 164	34 618	35 426	117,78	12,38
11/2/25	2 604	2 604	45 360	45 360	45 360	31 481	32 216	85,95	17,42
12/2/25	2 794	2 794	72 199	65 996	72 199	31 938	32 684	92,20	25,84
13/2/25	3 087	3 087	71 169	65 033	71 169	31 079	31 805	101,89	23,05
14/2/25	3 087	3 087	70 665	64 561	70 665	31 550	32 286	101,89	22,89
15/2/25	3 087	3 087	73 220	66 951	73 220	31 322	32 053	101,89	23,72
16/2/25	2 242	2 242	69 029	63 030	69 029	31 484	32 219	74,00	30,79
17/2/25	2 258	2 258	71 222	65 082	71 222	30 749	31 467	74,53	31,54
18/2/25	1 279	1 279	57 027	51 802	57 027	30 667	31 383	42,23	44,57
19/2/25	3 047	3 047	70 359	64 275	70 359	31 649	32 388	100,57	23,09
20/2/25	3 131	3 131	67 963	62 033	67 963	31 541	32 277	103,34	21,70
21/2/25	2 270	2 270	64 899	59 166	64 899	31 037	31 761	74,92	28,59
22/2/25	2 124	2 124	65 180	59 429	65 180	31 784	32 526	70,09	30,69
23/2/25	3 159	3 159	67 539	61 637	67 539	30 439	31 150	104,26	21,38
24/2/25	3 044	3 044	68 830	62 844	68 830	30 946	31 668	100,46	22,61
25/2/25	3 117	3 117	69 941	63 883	69 941	31 073	31 798	102,88	22,44
26/2/25	2 653	2 653	67 802	61 882	67 802	32 507	33 266	87,56	25,55
27/2/25	3 087	3 087	66 694	60 846	66 694	32 034	32 782	101,89	21,60
28/2/25	3 450	3 450	72 431	66 213	72 431	32 902	33 669	113,85	21,00
1/3/25	3 520	3 520	70 096	64 029	70 096	35 343	36 168	116,19	19,91
2/3/25	3 693	3 693	69 996	63 935	69 996	33 314	34 092	121,86	18,96
Totale	87 880	89 071	1 842 093	1 728 456	1 842 093	989 863	1 012 966	2900,32	674,76
moyenne	2 835	2 873	59 422	55 757	59 422	31 931	32 676	93,56	21,77

Tableau.III.7. Le cout énergétique journalière du train 100 Phase I (La suite).

Journée	Prix GN turb/ton ne de GPL	Consom mation énergéti ques de	Prix de GN entrée train en DA	Prix GN four et turbine en DA
----------------	---	---	--	--

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

31/1/25	12,00	24,25	79 776	35 565
1/1/25	11,06	26,28	80 148	37 636
2/2/25	9,63	26,42	61 763	44 906
3/2/25	10,39	24,73	66 371	49 774
4/2/25	12,40	23,89	75 480	43 413
5/2/25	12,96	25,13	71 916	48 420
6/2/25	11,12	25,81	62 276	54 038
7/2/25	14,49	24,63	73 553	43 899
8/2/25	14,02	25,07	69 074	47 347
9/2/25	12,92	25,55	63 874	51 726
10/2/25	9,93	27,20	76 432	45 195
11/2/25	12,37	24,74	69 268	46 418
12/2/25	11,70	25,10	92 103	67 536
13/2/25	10,30	24,42	91 117	66 550
14/2/25	10,46	24,79	90 635	66 068
15/2/25	10,38	24,61	93 081	68 514
16/2/25	14,37	24,74	89 069	64 502
17/2/25	13,93	24,16	91 168	66 601
18/2/25	24,53	24,10	77 578	53 012
19/2/25	10,63	24,87	90 342	65 775
20/2/25	10,31	24,78	88 048	63 481
21/2/25	13,99	24,39	85 114	60 547
22/2/25	15,32	24,97	85 383	60 816
23/2/25	9,86	23,92	87 642	63 075
24/2/25	10,40	24,32	88 878	64 311
25/2/25	10,20	24,42	89 941	65 374
26/2/25	12,54	25,54	87 894	63 327
27/2/25	10,62	25,17	86 833	62 266
28/2/25	9,76	25,85	92 325	67 758
1/3/25	10,27	27,77	90 090	65 523
2/3/25	9,23	26,18	89 994	65 427
Totale	372,09	777,79	2 537 167	1 768 798

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

moyenne	12,00	25,09	81 844	57 058
----------------	-------	-------	--------	--------

Tableau.III.8. Le cout énergétique journalière du train 200 PHASE I.

Journée	Quantité de GPL	Quantité de GPL	Quantité de GN entrée	Quantité de GN four et	Prix de GN consomm	Quantité de GN consomm	Prix de GN consomm	Taux de traiteme	Prix GN /tonnes de GPL
31/1/25	2 684	2 772	42 264	42 264	43 251	32 742	33 506	88,57	25,13
1/1/25	3 059	3 166	42 288	42 288	43 275	34 587	35 394	100,97	25,11
2/2/25	2 993	3 112	44 320	44 320	45 354	33 003	33 773	98,79	21,41
3/2/25	2 828	2 914	46 996	46 996	48 093	32 002	32 749	93,34	23,99
4/2/25	2 617	2 689	41 892	41 892	42 870	31 519	32 255	86,38	30,93
5/2/25	2 392	2 398	40 310	40 310	41 251	29 520	30 209	78,95	34,81
6/2/25	2 444	2 462	46 858	46 858	47 952	31 039	31 764	80,65	30,29
7/2/25	2 619	2 692	55 306	55 306	56 597	31 558	32 294	86,42	26,00
8/2/25	3 487	3 569	45 312	45 312	46 369	32 943	33 712	115,09	23,50
9/2/25	2 593	2 632	45 069	45 069	46 121	31 737	32 478	85,56	30,28
10/2/25	2 751	2 793	55 254	55 254	56 543	31 887	32 631	90,80	24,36
11/2/25	3 013	3 087	47 302	47 302	48 406	31 985	32 732	99,44	26,30
12/2/25	2 966	3 087	43 288	43 288	44 299	32 132	32 882	97,87	27,25
13/2/25	3 003	3 087	51 651	51 651	52 857	32 727	33 491	99,11	21,47
14/2/25	2 197	2 261	46 735	46 735	47 826	32 704	33 467	72,49	32,40
15/2/25	2 217	2 259	67 897	67 897	69 482	31 598	32 336	73,16	34,53
16/2/25	1 497	1 355	50 788	50 788	51 973	30 305	31 012	49,41	48,24
17/2/25	2 989	3 054	47 061	47 061	48 160	32 334	33 089	98,63	24,86
18/2/25	3 039	3 131	39 561	39 561	40 484	32 471	33 229	100,30	25,39
19/2/25	2 296	2 282	51 650	51 650	52 856	31 844	32 588	75,76	28,13
20/2/25	2 069	2 120	50 184	50 184	51 355	36 329	37 177	68,27	35,19
21/2/25	3 083	3 173	42 637	42 637	43 632	33 973	34 765	101,76	25,96

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

22/2/25	2 957	3 048	49 837	49 837	51 001	32 675	33 437	97,61	24,20
23/2/25	3 015	3 117	53 962	53 962	55 222	32 542	33 302	99,49	23,72
24/2/25	2 484	2 475	44 364	44 364	45 399	32 562	33 322	81,98	32,37
25/2/25	2 936	3 087	47 893	47 893	49 011	33 190	33 965	96,91	25,19
26/2/25	3 440	3 450	52 216	52 216	53 435	37 569	38 446	113,53	19,18
27/2/25	3 149	3 247	46 533	46 533	47 620	41 471	42 439	103,94	25,82
28/2/25	3 532	3 620	50 191	50 191	51 363	38 565	39 465	116,57	22,67
Totale	80 348	82 139	1 389 621	1 389 621	1 422 055	959 516	981 911	2651,76	798,71
Moyenne	2 771	2 832	47 918	47 918	49 036	33 087	33 859	91,44	27,54

Tableau.III.8. Le cout énergétique journalière du train 200 PHASE I. (La suite).

Journée	prix de GN turb/tonne de GPL produit	Prix de GN four et turbine/tonne de GPL produit	Consommation énergétique de la turbine en équivalent tonne de GPL	prix de GN entré train en DA	Prix de GN four et turbine en DA
31/1/25	12,48	16,12	25,73	67 451	43 251
1/1/25	11,57	14,14	27,18	76 837	43 275
2/2/25	11,28	15,15	25,93	64 101	45 354
3/2/25	11,58	17,00	25,15	67 850	48 093
4/2/25	12,32	16,38	24,77	80 954	42 870
5/2/25	12,63	17,24	23,20	83 273	41 251
6/2/25	13,00	19,62	24,39	74 021	47 952
7/2/25	12,33	21,61	24,80	68 073	56 597
8/2/25	9,67	13,30	25,89	81 958	46 369
9/2/25	12,53	17,79	24,94	78 503	46 121
10/2/25	11,86	20,55	25,06	67 036	56 543
11/2/25	10,86	16,07	25,13	79 247	48 406
12/2/25	11,09	14,94	25,25	80 816	44 299
13/2/25	11,15	17,60	25,72	64 476	52 857

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

14/2/25	15,24	21,77	25,70	71 174	47 826
15/2/25	14,59	31,34	24,83	76 544	69 482
16/2/25	20,72	34,72	23,81	72 223	51 973
17/2/25	11,07	16,11	25,41	74 302	48 160
18/2/25	10,93	13,32	25,51	77 176	40 484
19/2/25	14,20	23,03	25,02	64 583	52 856
20/2/25	17,97	24,83	28,55	72 791	51 355
21/2/25	11,28	14,15	26,69	80 030	43 632
22/2/25	11,31	17,24	25,67	71 585	51 001
23/2/25	11,05	18,32	25,57	71 497	55 222
24/2/25	13,41	18,28	25,59	80 409	45 399
25/2/25	11,57	16,69	26,08	73 959	49 011
26/2/25	11,18	15,53	29,52	65 967	53 435
27/2/25	13,48	15,12	32,59	81 304	47 620
28/2/25	11,17	14,54	30,30	80 085	51 363
Totale	363,51	532,52	753,95	2 148 224	1 422 055
Moyenne	12,53	18,36	26,00	74 077	49 036

Tableau.III.9. Le cout énergétique journalière du train 400 PHASE I

Journée	Quantité de GPL produite en tonnes	Quantité de GPL brut en tonnes GPL	Quantité de GN entrée en Cm³	Quantité de GN four et turbine en Cm³	Prix de GN consommée en DA	Quantité de GN consommée par la turbine en DA	Prix de GN consommée par la turbine en DA	Taux de traitement	Prix GN /tonnes de GPL produit
31/1/25	2 773	2 773	91 258	67 252	93 388	31 376	32 108	91,53	33,67
1/1/25	3 192	3 192	94 294	70 287	96 495	31 527	32 263	105,34	30,23
2/2/25	3 117	3 117	91 620	67 613	93 758	30 773	31 491	102,88	30,08
3/2/25	2 819	2 819	95 456	71 449	97 684	30 409	31 118	93,03	34,65
4/2/25	2 676	2 676	86 388	62 382	88 405	29 892	30 590	88,31	33,04
5/2/25	2 394	2 394	85 895	61 889	87 900	28 239	28 898	79,02	36,71
6/2/25	2 461	2 461	86 130	62 123	88 140	31 310	32 041	81,23	35,81

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

7/2/25	2 567	2 567	85 558	61 551	87 555	31 031	31 755	84,72	34,11
8/2/25	3 324	3 324	99 848	75 841	102 179	31 825	32 568	109,71	30,74
9/2/25	2 685	2 685	94 636	70 629	96 845	30 556	31 269	88,61	36,07
10/2/25	2 700	2 700	92 176	68 170	94 328	30 318	31 025	89,10	34,94
11/2/25	3 090	3 090	95 180	71 173	97 402	30 107	30 810	101,96	31,53
12/2/25	3 095	3 095	94 086	70 079	96 281	30 713	31 430	102,14	31,11
13/2/25	3 081	3 081	103 063	79 057	105 469	31 448	32 182	101,68	34,23
14/2/25	2 317	2 317	90 464	66 457	92 575	31 821	32 563	76,46	39,96
15/2/25	2 259	2 259	88 509	64 502	90 575	30 444	31 155	74,56	40,09
16/2/25	2 021	2 021	87 932	63 925	89 984	30 005	30 705	66,69	44,53
17/2/25	3 046	3 046	74 085	49 882	75 814	32 797	33 562	100,51	24,89
18/2/25	3 131	3 131	78 620	41 141	80 455	31 582	32 320	103,33	25,70
19/2/25	2 301	2 301	66 210	51 056	67 756	31 280	32 010	75,94	29,45
20/2/25	2 127	2 127	72 610	52 978	74 305	34 554	35 360	70,19	34,94
21/2/25	3 157	3 157	79 665	40 932	81 524	32 764	33 528	104,18	25,83
22/2/25	3 086	3 086	69 947	47 520	71 580	32 117	32 866	101,84	23,20
23/2/25	3 101	3 101	68 064	52 958	69 652	32 467	33 225	102,35	22,46
24/2/25	2 473	2 473	78 165	41 101	79 989	31 597	32 335	81,60	32,35
25/2/25	3 088	3 088	74 152	47 550	75 883	33 318	34 096	101,91	24,57
26/2/25	3 431	3 431	66 490	55 040	68 042	34 364	35 166	113,23	19,83
27/2/25	3 183	3 183	79 663	43 011	81 522	37 920	38 805	105,04	25,61
28/2/25	3 705	3 705	77 779	47 019	79 594	35 759	36 593	122,27	21,48
Totale	82 397	82 397	2 447 943	1 724 568	2 505 078	922 313	943 840	2719,38	901,82
Moyenne	2 841	2 841	84 412	59 468	86 382	31 804	32 546	93,77	31,10

Tableau.III.9. Le cout énergétique journalière du train 400 PHASE I. (La suite).

Journée	Prix de GN four et turbine / tonne de GPL produit	Consommation énergétique de la turbine en équivalent tonne de GPL	prix de GN entré train en DA	Prix de GN four et turbine en DA	prix de GN turb/ tonne de GPL produit
31/1/25	24,82	24,65	68 821	68 821	11,58
1/1/25	22,53	24,77	71 928	71 928	10,11

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

2/2/25	22,20	24,18	69 191	69 191	10,10
3/2/25	25,94	23,89	73 117	73 117	11,04
4/2/25	23,86	23,49	63 838	63 838	11,43
5/2/25	26,45	22,19	63 333	63 333	12,07
6/2/25	25,83	24,60	63 573	63 573	13,02
7/2/25	24,54	24,38	62 988	62 988	12,37
8/2/25	23,35	25,01	77 612	77 612	9,80
9/2/25	26,92	24,01	72 278	72 278	11,65
10/2/25	25,84	23,82	69 761	69 761	11,49
11/2/25	23,57	23,66	72 835	72 835	9,97
12/2/25	23,17	24,13	71 715	71 715	10,16
13/2/25	26,26	24,71	80 902	80 902	10,45
14/2/25	29,36	25,00	68 009	68 009	14,06
15/2/25	29,22	23,92	66 008	66 008	13,79
16/2/25	32,37	23,58	65 417	65 417	15,20
17/2/25	16,76	25,77	51 047	51 047	11,02
18/2/25	13,45	24,82	42 101	42 101	10,32
19/2/25	22,71	24,58	52 248	52 248	13,91
20/2/25	25,49	27,15	54 214	54 214	16,63
21/2/25	13,27	25,74	41 888	41 888	10,62
22/2/25	15,76	25,24	48 629	48 629	10,65
23/2/25	17,47	25,51	54 194	54 194	10,71
24/2/25	17,01	24,83	42 060	42 060	13,08
25/2/25	15,76	26,18	48 660	48 660	11,04
26/2/25	16,42	27,00	56 325	56 325	10,25
27/2/25	13,83	29,80	44 015	44 015	12,19
28/2/25	12,99	28,10	48 116	48 116	9,88
Totale	637,13	724,71	1 764 820	1 764 820	338,57
Moyenne	21,97	24,99	60 856	60 856	11,67

Tableau.III.10. Le cout énergétique journalière du train 500 PHASE II

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

journée	Quantité de GPL produite en tonnes GPL	Quantité de GPL brut en tonnes GPL	Quantité de GN entrée train en Cm³	Quantité de GN four en Cm³	Quantité de électricité consommé aux niveau du moteur en KWH	Prix de l'énergie électricité aux niveau du moteur en DA	taux de traitement	Prix de GN / tonnes de GPL produit	prix de GN four / tonne de GPL produit
1/1/25	2 668	2 795	27 899	21 694	83 411	105 733	88,06	10,70	8,32
2/1/25	3 311	3 436	29 300	2 631	90 716	113 543	109,28	9,06	0,81
3/1/25	3 417	3 550	37 124	7 884	87 916	109 889	112,76	11,12	2,36
4/1/25	3 072	3 188	27 633	21 345	82 568	104 830	101,37	9,21	7,11
5/1/25	2 966	3 092	47 810	18 198	79 799	100 821	97,88	16,50	6,28
6/1/25	2 978	3 087	39 266	11 989	82 320	103 876	98,30	13,49	4,12
7/1/25	3 038	3 144	35 520	29 222	82 817	104 885	100,25	11,97	9,84
8/1/25	3 581	3 705	43 992	12 486	89 936	111 796	118,20	12,57	3,57
9/1/25	2 717	2 861	41 069	10 363	82 465	102 053	89,66	15,47	3,90
10/1/25	2 613	2 709	41 505	30 986	79 494	102 471	86,25	16,25	12,13
11/1/25	2 968	3 087	46 468	15 187	82 675	104 722	97,97	16,02	5,24
12/1/25	2 977	3 087	44 794	17 953	82 774	106 007	98,26	15,40	6,17
13/1/25	2 967	3 087	28 661	20 430	86 982	108 184	97,92	9,89	7,05
14/1/25	2 007	2 372	44 573	11 266	79 614	100 360	66,23	22,73	5,75
15/1/25	1 933	2 027	34 171	34 171	77 556	99 175	63,78	18,09	18,09
16/1/25	937	1 064	54 507	16 025	71 541	96 810	30,92	59,54	17,51
17/1/25	2 826	2 930	44 433	11 211	83 150	105 865	93,27	16,09	4,06
18/1/25	2 898	3 033	18 150	18 150	85 123	106 741	95,64	6,41	6,41
19/1/25	2 220	2 316	42 334	13 076	79 539	101 454	73,25	19,52	6,03
20/1/25	2 588	2 679	35 085	27 007	82 550	104 636	85,42	13,87	10,68
21/1/25	3 011	3 123	42 841	15 760	83 788	105 876	99,36	14,56	5,36
22/1/25	2 977	3 090	38 986	22 741	82 216	104 846	98,27	13,40	7,82
23/1/25	2 842	2 958	34 786	24 196	82 057	103 586	93,81	12,52	8,71
24/1/25	2 978	3 086	41 550	12 301	83 517	105 801	98,28	14,28	4,23
25/1/25	2 966	3 088	45 236	11 829	84 258	105 574	97,87	15,61	4,08
26/1/25	2 993	3 087	36 540	21 952	82 762	105 610	98,78	12,49	7,51

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

27/1/25	3 102	3 218	32 349	14 086	88 477	111 652	102,38	10,67	4,65
28/1/25	3 100	3 214	41 231	10 203	85 882	108 969	102,30	13,61	3,37
totale	78 650	82 113	1 077 812	484 346	2 325 902	2 945 763	2595,72	431,04	191,14
moyenne	2 809	2 933	38 493	17 298	83 068	105 206	92,70	15,39	6,83

Tableau.III.10. Le cout énergétique journalière du train 500 PHASE II. (La suite).

journee	Prix de GN four en DA	prix de l'électricité totale aux niveaux du moteur/ tonne de GN produit	Prix de revient total du GN four et de l'électricité du moteur pour une tonne de GN en DA	Prix de revient total du GN entrée train et de l'électricité du moteur pour une tonne de GN en DA	consomationenergi tique du moteur en équivalent tonne	prix de GN entré train en DA
1/1/25	22 200	39,62507355	47,94491242	50,32464461	24,98	28 550
2/1/25	2 692	34,2913426	35,10436551	43,3469179	27,17	29 984
3/1/25	8 068	32,16342089	34,52496325	43,28277638	26,33	37 990
4/1/25	21 844	34,12966402	41,24128295	43,33605698	24,73	28 278
5/1/25	18 623	33,99507554	40,27445766	50,49186992	23,90	48 926
6/1/25	12 269	34,87634167	38,99561003	48,36753317	24,66	40 182
7/1/25	29 904	34,52799248	44,37246235	46,49418364	24,81	36 349
8/1/25	12 778	31,2151929	34,78286452	43,78496652	26,94	45 018
9/1/25	10 605	37,56403978	41,4675815	53,03366088	24,70	42 028
10/1/25	31 709	39,21086941	51,34443251	55,46359886	23,81	42 474
11/1/25	15 542	35,27812968	40,51372936	51,29741384	24,76	47 553
12/1/25	18 372	35,60366253	41,77397802	50,99950898	24,79	45 840
13/1/25	20 907	36,46271565	43,50936664	46,3482309	26,05	29 330
14/1/25	11 529	50,01383389	55,75946206	72,74504345	23,85	45 613
15/1/25	34 969	51,31539973	69,40913162	69,40913162	23,23	34 969
16/1/25	16 399	103,3448003	120,8510368	162,8884241	21,43	55 779

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

17/1/25	11 473	37,45947044	41,51891484	53,54861851	24,91	45 470
18/1/25	18 574	36,83396122	43,24342961	43,24342961	25,50	18 574
19/1/25	13 381	45,70905389	51,73789749	65,22726872	23,82	43 322
20/1/25	27 638	40,42630574	51,10423594	54,29797926	24,73	35 904
21/1/25	16 128	35,16759926	40,52466945	49,72986297	25,10	43 841
22/1/25	23 272	35,21338563	43,02954244	48,61272153	24,63	39 896
23/1/25	24 761	36,44394106	45,15542611	48,96814402	24,58	35 598
24/1/25	12 588	35,5291565	39,75643316	49,80778625	25,02	42 520
25/1/25	12 105	35,59930332	39,68102374	51,20876712	25,24	46 292
26/1/25	22 465	35,28550005	42,79128667	47,77894163	24,79	37 393
27/1/25	14 415	35,99361697	40,64065881	46,66545087	26,50	33 104
28/1/25	10 441	35,15442097	38,52280244	48,76628165	25,72	42 193
totale	495 651	1108,43327	1299,575958	1539,469214	696,69	1 102 968
moyenne	17 702	39,58690249	46,41342707	54,98104335	24,88	39 392

Tableau.III.11. Le cout énergétique journalière du train 600 PHASE II.

journée	Quantité de GPL produite en tonnes GPL	Quantité de GPL brut en tonnes GPL	Quantité de GN entrée train en Cm³	Quantité de GN four en Cm³	Quantité de électricité consommé aux niveau du moteur en KWH	Prix de l'énergie électriqueaux niveau du moteur en DA	taux de traitement	Prix de GN / tonnes de gpl produit	prix de GN four / tonne de GPL produit
1/1/25	2 695	2 794	36 780	5 876	82 418	104 246	88,93	13,97	2,23
2/1/25	3 328	3 436	18 599	1 966	89 115	111 821	109,85	5,72	0,60
3/1/25	3 433	3 550	21 530	7 251	86 331	108 561	113,31	6,42	2,16
4/1/25	3 094	3 188	40 451	7 750	81 774	103 710	102,12	13,38	2,56
5/1/25	3 087	3 174	33 278	18 477	81 504	102 785	101,90	11,03	6,12
6/1/25	2 996	3 087	33 648	17 264	83 304	104 308	98,87	11,49	5,90
7/1/25	3 038	3 120	42 571	9 307	84 844	107 393	100,26	14,34	3,14
8/1/25	3 538	3 643	32 637	17 948	90 288	112 353	116,78	9,44	5,19

**CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET
LE MOTEUR**

9/1/25	2 739	2 862	37 864	19 808	82 874	102 071	90,39	14,15	7,40
10/1/25	2 636	2 707	43 565	10 040	79 978	102 968	87,01	16,91	3,90
11/1/25	2 994	3 087	36 457	21 516	85 426	106 905	98,80	12,46	7,36
12/1/25	2 999	3 087	36 106	27 837	85 059	108 321	98,96	12,32	9,50
13/1/25	2 987	3 086	21 332	21 332	82 613	106 145	98,57	7,31	7,31
14/1/25	2 046	2 131	31 559	31 559	75 312	95 581	67,51	15,79	15,79
15/1/25	1 958	2 023	39 302	15 152	78 028	100 465	64,63	20,54	7,92
16/1/25	1 810	2 067	58 780	14 255	73 009	95 278	59,72	33,24	8,06
17/1/25	2 945	3 035	28 351	28 351	85 606	107 616	97,21	9,85	9,85
18/1/25	2 911	3 021	27 708	9 686	84 169	105 090	96,08	9,74	3,40
19/1/25	2 239	2 316	32 582	18 690	78 823	100 665	73,88	14,89	8,54
20/1/25	2 562	2 612	43 548	11 922	82 634	105 312	84,54	17,40	4,76
21/1/25	3 072	3 173	31 073	14 046	85 200	108 279	101,39	10,35	4,68
22/1/25	2 988	3 089	36 933	14 663	87 900	106 943	98,60	12,65	5,02
23/1/25	2 826	2 934	35 467	14 692	83 991	105 861	93,28	12,84	5,32
24/1/25	2 974	3 055	35 507	20 879	84 581	107 222	98,14	12,22	7,19
25/1/25	2 988	3 087	41 550	24 626	84 645	106 490	98,61	14,23	8,43
26/1/25	2 989	3 087	41 239	12 064	85 194	108 385	98,63	14,12	4,13
27/1/25	2 979	3 075	34 053	11 138	89 306	112 415	98,31	11,70	3,83
28/1/25	3 050	3 213	25 554	15 123	88 019	111 217	100,65	8,57	5,07
totale	79 899	82 742	978 024	443 219	2 341 946	2 958 404	2636,94	367,07	165,37
moyenne	2 854	2 955	34 929	15 829	83 641	105 657	94,18	13,11	5,91

Tableau.III.11. Le cout énergétique journalière du train 600 PHASE II.(La suite).

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

journée	Prix de GN four en DA	prix de l'électricité totale aux niveaux du moteur/ tonne de GPL produit	Prix de revient total du GN four et de l'électricité du moteur pour une tonne de GPL en DA	Prix de revient total du GN entrée train et de l'électricité du moteur pour une tonne de GPL en DA	Consommation énergétique du moteur en équivalent tonne de GPL	prix de GN entré train en DA
1/1/25	6 013	38,68809819	40,91966972	52,65642878	24,69	37 638
2/1/25	2 012	33,59594526	34,20032962	39,31442691	26,69	19 033
3/1/25	7 420	31,62064438	33,78179514	38,0381438	25,86	22 033
4/1/25	7 931	33,51581705	36,0787163	46,89344415	24,49	41 395
5/1/25	18 909	33,29125238	39,41561853	44,32120535	24,41	34 054
6/1/25	17 667	34,81747588	40,71467519	46,31100817	24,95	34 433
7/1/25	9 524	35,34978686	38,48485035	49,68963279	25,41	43 565
8/1/25	18 367	31,75285509	36,94372797	41,19201425	27,04	33 399
9/1/25	20 271	37,26704071	44,66799775	51,41436687	24,82	38 748
10/1/25	10 275	39,05658825	42,9538799	55,96684252	23,96	44 582
11/1/25	22 019	35,7117931	43,06715359	48,17450485	25,59	37 308
12/1/25	28 487	36,1247188	45,62493609	48,44705732	25,48	36 949
13/1/25	21 830	35,53782786	42,84675369	42,84675369	24,75	21 830
14/1/25	32 295	46,72277891	62,50978126	62,50978126	22,56	32 295
15/1/25	15 506	51,30375021	59,22191087	71,8423697	23,37	40 219
16/1/25	14 588	52,65208812	60,71359659	85,8931162	21,87	60 152
17/1/25	29 013	36,53608614	46,38606263	46,38606263	25,64	29 013
18/1/25	9 912	36,09957698	39,5042993	45,83954025	25,21	28 354
19/1/25	19 126	44,96860517	53,51264808	59,86314174	23,61	33 342
20/1/25	12 200	41,10998809	45,87241894	58,50633282	24,75	44 564
21/1/25	14 373	35,24522969	39,92384833	45,59551624	25,52	31 798
22/1/25	15 006	35,79633434	40,81908675	48,44731417	26,33	37 795
23/1/25	15 035	37,45435991	42,77396459	50,29571918	25,16	36 295

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

24/1/25	21 367	36,05767466	43,24303621	48,27716679	25,33	36 336
25/1/25	25 201	35,64035607	44,07456557	49,8710253	25,35	42 520
26/1/25	12 345	36,26708605	40,39804867	50,38834582	25,52	42 202
27/1/25	11 398	37,73916239	41,56565226	49,43786564	26,75	34 847
28/1/25	15 476	36,46742514	41,54196222	45,04191505	26,36	26 150
totale	453 564	1056,390346	1221,760986	1423,461042	701,49	1 000 851
moyenne	16 199	37,72822663	43,63432093	50,83789437	25,05	35 745

III.12. RESUME DES RESULTATS

	Turbine	Moteur électrique
Revue énergétique	Donne une grande puissance (8465.49 KW) qui été largement suffisant pour tourner le compresseur axiale (3298KW)	est capable de délivrer cette puissance (3298 KW). Mais on remarque que la marge entre la puissance fournie par le moteur (3429,5 KW) et celle consommée par le compresseur (3298KW) est faible
Cout énergétique	Prix de revient entre 21.48 jusqu'à 24.37 Da dans le cas de traitement maximale (on virant de 120 %)	Prix de revient entre 41.19 jusqu'à 43.78 Da dans le cas de traitement maximale (on virant de 120 %)

CHAPITRE III. COMPARAISON DE REVUE ENERGITIQUE ENTRE LA TURBINE ET LE MOTEUR

Maintenance	<p>Le coût total de la maintenance est de 143 850 286 DA. Le prix de revient de la tonne de GPL basé sur 100 000 heures de fonctionnement (équivalent à 12 000000 de tonnes de GPL) subi une augmentation de 13.87 DA due à la maintenance.</p>	<p>le changement du moteur et du multiplicateur après 20 ans de service, le coût estimé est de 2 000 000 \$ le prix de revient de la tonne de GPL basé sur une production de 21 024000 de tonnes augmente de 6.5 DA.</p>
--------------------	---	--

CONCLUSION GENERALE

Le travail qui nous a été attribué concerne une étude comparative basée sur le suivi des énergies consommées, cout énergétique et maintenance entre la turbine (dans la phase I) et un moteur électrique (dans la phase II et III) au niveau de la section réfrigération.

Une étude comparative entre le moteur et la turbine à gaz, a montré que la puissance développée par cette dernière pour faire tourner le compresseur de propane est nettement supérieure à celle du moteur qui est à son maximum.

Après avoir effectué une étude économique sur ces deux équipements on a constaté que le prix que doit payer le complexe en utilisant un moteur est supérieur à celui qu'il doit payer en utilisant une turbine. On notera que l'énergie consommé par la turbine est supérieur a l'énergie consommé par le moteur.

Et par suite nous avons constaté que le prix de revient énergétique d'une tonne de GPL du train 400 ,500 est supérieur à celui du train 100, 200, 400 comme repaire de comparaison et aussi nous avons trouvé que la maintenance du moteur électrique est moins chère et ne prend pas du temps comme la maintenance de la turbine.

A partir de notre étude on trouve que la meilleure machine pour faire tourner le compresseur de propane, c'est la turbine à gaz car tous les résultats obtenus penchent vers l'utilisation de cette dernière du point de vue énergétique et économique.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] Manuel opératoire du complexe GP1/Z
- [2] T.AMINE, thème : effet de la variation des paramètres économique sur la rentabilité des turbines à gaz et des cycles combinés, spécialité : conversion d'énergie Master en génie mécanique UNIVERSITE M'HAMEDBOUGARA DE BOUMERDES promotion 2016/2017
- [3] C.IMANE, thème : turbine à gaz Sulzer S3, spécialité : génie mécanique UNIVERSITE DE TLEMCEM promotion 2015/2016
- [4]- P.Chambadale « La turbine à gaz »
- [5] P.Whuithier : Raffinage et génie chimique, Tome I et Tome II « Raffinage et génie chimique ». Edition Technip 1972.
- [6] Formation d'ingénieur, bloc 11, module 03: déshydratation, GP1/Z 8/12/1992.

Annexe

Tableau.1 revue énergétique du complexe GP1Z

PHASE	train		Puissance théorique en KW	e consommé	temps de fonctionnement en h	consommé théorique en KWH	énergie consommé réel en KWH	conso réel/global	efficacité énergétique	Potentiel de gain	
PHASE I	Train 100	Turbine	21887	13705,8	456	9980472	6249844,613	4,504623	81,271842	8	
		Four	55438	22183,6	456	25279728	10115739,27	7,290996	81,669912	8	
	Train 200	Turbine	21887	13135,6	456	9980472	5989833,162	4,3172178	84,799755	8	
		Four	55438	17002,5	456	25279728	7753127,36	5,5881255	103,47312	2	
	Train 300	Turbine									
		Four									
Train 400	Turbine	21887	13931,8	456	9980472	6352903,504	4,5789035	79,953424	10		
	Four	55438	19709,9	456	25279728	8987698,422	6,477952	90,86336	6		
PHASE II	Train 500	Moto compresseur	4750	3207,4	384	1824000	1231643,155	0,8877162	86,474917	8	
		Four	55438	25103,8	384	21288192	9639848,832	6,9479943	84,685766	8	
	Train 600	Moto compresseur									
PHASE III	Train 700	Moto compresseur	4750	3264,47	456	2166000	1488599,869	1,0729197	84,963167	8	
		Four	55089	23037,4	456	25120584	10505075,42	7,571613	75,678145	10	
	Train 800	Moto compresseur	4750	3370,55	456	2166000	1536972,778	1,1077848	82,289135	8	
		Four	55089	22728,4	456	25120584	10364153,05	7,4700421	79,485547	10	
	Train 900	Moto compresseur	4750	3429,28	384	1824000	1316841,668	0,9491236	80,880065	8	
		Four	55089	26972,3	384	21154176	10357360,26	7,4651462	73,050606	10	
						consomation Glo	138742900	66,230158			

Tableau.2. La consommation de GN dans la turbine

FQ_1210.PV _Timestamp	FQ_1210.PV_ Value	FQ_2210.PV _Value	FQ_3210.PV _Value	FQ_4210.PV_ Value	
31/01/2025	108,63	109,1	107,39	113,92	
01/02/2025	139,11	139,12	137,16	145,98	
02/02/2025	168,86	169,19	166,58	177,96	
03/02/2025	199,07	198,87	196,14	209,44	
04/02/2025	228,92	229,08	226,13	240,55	
05/02/2025	259	258,87	255,8	271,68	
06/02/2025	288,76	288,59	285,72	302,94	
07/02/2025	318,63	318,44	315,61	333,98	
08/02/2025	349	348,36	345,5	365,71	
09/02/2025	379,56	378,76	375,06	397,2	
10/02/2025	409,3	408,31	404,98	397,2	
11/02/2025	439,7	438,13	435,01	397,2	
12/02/2025	469,54	467,6	464,94	397,2	
13/02/2025	499,89	497,95	495,03	397,2	
14/02/2025	529,49	527,5	524,48	411,87	
15/02/2025	559,99	527,5	554,19	440,58	
16/02/2025	590,36	527,5	584,16	470,06	
17/02/2025	621	527,5	614,26	500,28	
18/02/2025	650,9	527,5	643,95	530,29	
19/02/2025	681,77	527,5	674,61	561,08	
20/02/2025	711,28	527,5	703,73	591,3	
21/02/2025	741,02	527,5	733,17	621,83	
22/02/2025	771,07	527,5	762,68	653	
23/02/2025	800,97	527,5	791,49	684,03	
24/02/2025	831,04	527,5	820,58	714,74	
25/02/2025	861,35	527,5	849,63	744,3	
26/02/2025	891,52	527,5	878,94	773,89	
27/02/2025	921,49	527,5	908,47	803,28	
28/02/2025	951,09	527,5	937,54	832,47	
01/03/2025	981,1	527,5	967,09	862,21	
	100	200	300	400 total	
	841,99	388,38	829,93	716,23	2776,53

COMPARAISON DE COUT

Train 200:

Durant cette période, le déethaniseur a été aligné durant 29 jours.

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine :

- pour un traitement moyen de 91% est de 12.53 DA.
- Pour un traitement bas de 49 % est de 20.72 DA.

- Pour un traitement élevé de 117% est de 11.17 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine et par le four :

- pour un traitement moyen de 91% est de 18.36 DA
- pour un traitement bas de 49% est de 34.72 DA.
- Pour un traitement maximal de 117% est de 14.54DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par tout le train :

- pour un traitement moyen de 91% est de 27.54 DA
- pour un traitement bas de 49% est de 48.24 DA.
- Pour un traitement maximal de 117% est de 22.67DA

Train 400 :

Durant cette période, le déethaniseur a été aligné durant 28 jours.

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine :

- pour un traitement moyen de 94% est de 11.67 DA.
- Pour un traitement bas de 67 % est de 15.20 DA.
- Pour un traitement élevé de 120% est de 9.88 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par la turbine et par le four :

- pour un traitement moyen de 94% est de 21.97 DA
- pour un traitement bas de 67% est de 32.37 DA.
- Pour un traitement maximal de 120% est de 12.99DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par tout le train :

- pour un traitement moyen de 94% est de 31.10 DA
- pour un traitement bas de 67% est de 44.53 DA.
- Pour un traitement maximal de 120% est de 21.48DA

Train 500 :

Durant cette période, le déethaniseur a été aligné durant 28 jours.

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par le moteur :

- pour un traitement moyen de 93% est de 39.59 DA.
- Pour un traitement de 31 % est de 103.34 DA.
- Pour un traitement de 66 % est de 50.01DA.
- Pour un traitement élevé de 118% est de 31.22 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par le moteur et par le four :

- pour un traitement moyen de 93% est de 46.41 DA.
- Pour un traitement de 31 % est de 120.85 DA.
- Pour un traitement de 66 % est de 55.76 DA.
- Pour un traitement élevé de 118% est de 34.78 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par tout le train :

- pour un traitement moyen de 93% est de 54.98 DA.
- Pour un traitement de 31 % est de 162.89 DA.
- Pour un traitement de 66 % est de 72.75 DA.
- Pour un traitement élevé de 118% est de 43.78 DA

Train 600:

Durant cette période, le déethaniseur a été aligné durant tout le mois.

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par le moteur :

- pour un traitement moyen de 94% est de 37.73 DA.
- Pour un traitement bas de 60 % est de 52.65 DA.
- Pour un traitement élevé de 117% est de 31.75 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par le moteur et par le four :

- pour un traitement moyen de 94% est de 43.63 DA
- pour un traitement bas de 60% est de 60.71 DA.
- Pour un traitement maximal de 117% est de 36.94 DA

Le prix de revient de la tonne de GPL en gaz naturel consommé par tout le train :

- pour un traitement moyen de 94% est de 50.84 DA
- pour un traitement bas de 60% est de 85.89 DA.
- Pour un traitement maximal de 117% est de 41.19 DA