

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention de Diplôme de Master en Génie Mécanique
Spécialité Energétique

Titre :
Etude des performances de la turbine à gaz MS6001B
« Raffinerie d'Alger »

Promoteur :

Mr. SAID

Réalisé par :

Mr. DAGHBEDJ TAHAR SABER

Mr. LARFI MOHAMMED AMINE

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Merci bon dieu pour la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de ces années d'étude et durant la préparation et l'élaboration de ce modeste travail.

On voudra remercier ensuite notre famille pour leur précieux soutien moral et physique et leurs encouragements pour poursuivre notre mémoire de fin d'études.

Ce mémoire est non seulement le résultat de notre courage, sacrifice, patience et endurance mais aussi une intervention, conscience, d'un grand nombre de personnes. On souhaite ici les en remercier.

On tient également à remercier très chaleureusement Mr. SAID qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, ainsi que sa disponibilité et son dévouement pour notre réussite à l'élaboration de ce modeste mémoire il trouve ici notre profonde gratitude et nos sincères remerciements.

On tient à remercier le département de Mécanique, c'est l'une des meilleures expériences qu'on a vécues. On remercie également nos amis et nos enseignants du département de mécanique spécialement ceux de l'option énergétique.

Nous remercions vont également les ingénieurs de département de la mécanique spécialement section des turbines au niveau de la raffinerie d'Alger SIDI ARCINE SONATRACH pour avoir fourni suffisamment d'informations pour mener à bien ce mémoire de la meilleure façon possible.

Au terme de ce parcours, on remercie enfin celles et ceux qui nous sont chers, leurs attentions et encouragements nous ont accompagnés tout au long de ces années. On est redevable à nos parents et à notre famille, pour leur soutien moral et matériel et leur confiance indéfectible dans nos choix.

DEDICACES

C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail accompagné d'une profonde gratitude,

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour éternel incessible, à la mère des sentiments fragiles qui ne cesse et ne m'oubliera jamais de la faveur de ces prières,
ma chère mère.

Loin de vous, votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour
préserver et pour prospérer dans la vie.

A mes amis chacun en son nom.

A mes collègues, de la promotion énergétique.

A mon binôme LARFI AMINE, qui a contribué pour la réalisation de ce modeste travail.

DAGHBEDJ TAHAR SABER

DEDICACES

Je dédie ce travail à mes très chers parents que j'aime pour ceux qui m'ont comblé d'amour et de joie et qui m'ont également porté assistance, et assure le confort et la sécurité.

À mes frères à ma sœur. A tout ma famille à mon binôme DAGHBEDJ TAHAR SABER

A tous mes amis à tous les énergéticiens de la promotion 2024.

À tous ceux qui ont été à mes cotes jusqu'à aujourd'hui

LARFI MOHAMED AMINE

ملخص

سنعرض في هذا العمل حالة تشغيل التوربين الغازي من نوع MS6001B الموجود بمصفاة الجزائر العاصمة (مصفاة براقى سوناطراك).

في هذه الحالة قمنا بإظهار الخصائص والأداء ودراسات الطاقة للتوربين من النوع MS6001B وقمنا بحساب درجات الحرارة والضغط وعمل هذا التوربين.

RESUME

Dans ce notre travail nous allons présenter l'état de fonctionnement de la turbine à gaz de type MS6001B situé à la raffinerie d'Alger (Raffinerie de Baraki SONATRACH).

Dans ce cas nous avons démontré les caractéristiques et les performances et les études énergétiques de la turbine de type MS6001B et on a calculer les températures et les pressions et les travaux de cette turbine.

SUMMARY

In this our work we will present the operating state of the MS6001B type gas turbine located at the Algiers refinery (Baraki SONATRACH Refinery).

In this case we have demonstrated the characteristics and performances and the energy studies of the MS6001B type turbine and we have calculated the temperatures and pressures and the work of this turbine.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

NOMENCLATURE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre 01. Présentation de la raffinerie d'Alger.....	2
1.1. Introduction	2
1.2. Historique de la raffinerie d'Alger	2
1.3. Présentation de la raffinerie d'Alger.....	3
1.4. Structure de la raffinerie d'Alger :	4
1.5. Capacité de production de la raffinerie d'Alger :	4
1.6. Description des principales installations de la raffinerie d'Alger :	5
1.7. Unités de production de la raffinerie d'Alger :	5
1.7.1. Unité 100 : Unité de distillation atmosphérique :	6
1.7.2. Unité 200 : Unité de plateforme (reforming catalytique) :	8
1.7.3. Unité 300 : Unité gaz-plant (traitement et séparation) :	10
1.8. Salle de contrôle :	12
1.9. Atelier de maintenance :	12
1.10. Laboratoire :	13
1.12. La sécurité dans la raffinerie d'Alger :	14
1.12.1. Service prévention :	14
1.12.2. Service intervention :	15
1.12.3. Service accueil et identification :	15
1.12.4. Cellule environnement	15
1.12.5. Lutte contre les incendies :	15
Chapitre 02. Présentation de la turbine à gaz MS6001B.....	16
2.1. Introduction :	16
2.2. Caractéristique de la turbine à gaz MS6001B :	18
2.3. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS60001B :	19
2.4. Sections principales de la turbine à gaz MS6001B :	20
2.4.1. Turbine base :	20
2.4.2. Turbine supports :	21
2.5. Section compresseur :	22

2.5.1. Généralité :	22
2.5.2. Rotor du compresseur :	23
2.5.3. Stator de compresseur :	24
2.6. Section de combustion :	26
2.6.1. Bougies :	27
2.6.2. Détecteurs de flamme :	28
2.6.3. Buses de carburant :	29
2.7. Section turbine :	30
2.7.1. Rotor de la turbine :	30
2.7.2. Augets :	31
2.7.3. Stator de la turbine :	32
2.7.4. Caisse de la turbine (Coque) :	32
2.7.5. Cadre d'échappement et diffuseur :	32
2.8. Avantages et inconvénients de la turbine à gaz MS6001B :	33
Chapitre 03. Généralité sur la turbine à gaz	35
3.1. Introduction :	35
3.2. Historique des turbines à gaz :	36
3.3. Les composants de la turbine à gaz :	36
3.3.1. Le compresseur :	37
3.3.2. La chambre de combustion :	38
3.3.3. Turbine :	39
3.4. la turbine à gaz dans l'industrie :	40
3.5. Classification des turbines à gaz :	40
.....	41
.....	41
3.5.1. Par le mode de construction :	41
1.5.2. Par le mode de travail :	43
1.5.3. Par le mode de fonctionnement :	43
1.6. Fonctionnement de la turbine à gaz :	46
1.7. Théorie de la turbine à gaz :	46
1.7.1. Cycle de base (cycle de Brayton) :	46
1.7.2. Equation de base :	48
Chapitre 04. Calcule énergétique de la turbine à gaz MS6001B	51
Problématique.....	51
4.1. Puissance de la turbine à gaz MS6001b :	52

4.2 Calcule énergétique de la turbine à gaz MS6001B	56
4.2.3 calcule les températures dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° de l'air ambiante	56
4.2.4 calcule les pressions dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° de l'air ambiante	57
4.2.5. La chaleur reçue à pression constante (chambre de combustion)	59
4.2.6. La chaleur perdue à pression constante (échappement)	59
4.2.7. Travail du compresseur	59
4.2.8. Travail de la turbine.....	60
4.2.9. Travail de la turbine libre	60
4.2.10. Le rendement.....	60
Conclusion générale.	69

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 01.

Chapitre 02.

Tableau 2.1 : caractéristique de la turbine à gaz MS6001B.....18

Chapitre 03.

Chapitre 04.

Tableau 1 : Relevés des mesures de puissance de la turbine à gaz MS6001B sur site au cours du 1er trimestre 2024.....55

Tableau 2: caractéristique du (C_p [KJ/Kg. K], γ) avant la chambre de Combustion et après la chambre de combustion.....57

Tableau 3: caractéristique du (T [K°], P [Kpa]) dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur.....59

Tableau 5 : caractéristique du (T [K], q_{in} [KJ/Kg], q_{out} [KJ/Kg], W_c [KJ/Kg] , W_t [KJ/Kg], η [%]) dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur.....61

Tableau 6 : caractéristique du (W_{TL} [KJ/Kg])dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur.....62

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01.

Figure 1 Présentation de la raffinerie d'Alger.....	1
Figure 2 : Unité 100 Unité de distillation atmosphérique.....	7
Figure 3 : Unité 200 Unité de plateforme (reforming catalytique).....	9
Figure 4 : Unité 300 Unité gaz-plant (traitement et séparation).....	11
Figure 5 : schéma d'Atelier de maintenance.....	12

Chapitre 02.

Figure 1 : turbine à gaz MS6001B.....	17
Figure 2 : Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS60001B.....	20
Figure 3 : Turbine base.....	21
Figure 4 : Turbine supports.....	22
Figure 5 : compresseur de turbine à gaz MS6001B.....	23
Figure 6 : Rotor du compresseur axial.....	24
Figure 7 : Stator de compresseur.....	25
Figure 8 : chambre de la combustion annulaire de la turbine à gaz MS6001B.....	27
Figure 9 : Bougies de la turbine MS6001b.....	28
Figure 10 : Détecteurs de flamme de la turbine à gaz MS6001B.....	29
Figure 11 : La figure suivant nous montre les différents les composants principaux de la section de combustion.....	29
Figure 12 : Section turbine de la turbine à gaz MS6001B.....	30
Figure 13 : Augets de la turbine à gaz MS6001B.....	31
Figure 14 : Cadre d'échappement et diffuseur.....	33

Chapitre 03.

Figure 1 : schéma de la turbine à gaz.....	35
Figure 2 : Les composants de la turbine à gaz.....	36
Figure 3 : Le compresseur axial.....	37
Figure 4 : La chambre de combustion.....	38

Figure 5 : Turbine.....	39
Figure 6 : schéma de Classification des turbines à gaz	41
Figure 7 : Les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre.....	42
Figure 8 : Le deuxième type est la turbine à d deux arbre bi-arbre.....	42
Figure 9 : Turbine à gaz cycle fermé.....	43
Figure 10 : Turbine à cycle simple.....	44
Figure 11 : Turbine à cycle régénéré.....	44
Figure 12 : Turbine à gaz cycle combine (mixte).....	45
Figure 13 : Le cycle de Baryton est illustré par les diagrammes P-v et T-s.....	47
Figure 14 : Cycle théorique et réel de la turbine à gaz (cycle de baryton).....	48
Figure 15 : Cycle réel de la turbine à gaz point 1-2-2' (cycle de brayton).....	49
Figure 16 : Cycle réel de la turbine à gaz point 3-4-4' (cycle de brayton).....	50

Chapitre 04.

Figure 1 : Relevés des mesures de puissance de la turbine à gaz MS6001B sur site au cours du 1er trimestre 2024.....	52
Figure 2 : schéma de la turbine à gaz MS6001B et caractéristique du (T [K°], P [Kpa]) Dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° qui entre dans le compresseur.....	56
Figure 3 : Le cycle de Baryton est illustré par le diagramme de (T-S) dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° de l'air ambiante par le programme EES.....	58
Figure 4 : schéma qui définit w_{TL}	62
Figure 5 :diagramme de q_{in} qui définit le tableau 4.4.....	63
Figure 6 : diagramme de q_{out} qui définit le tableau 4.4	64
Figure 7 : diagramme de W_c qui définit le tableau 4.4.....	65
Figure 8 : diagramme de W_T qui définit le tableau 4.4.....	66
Figure 9 : diagramme de W_{net} qui définit le tableau 4.4.....	67
Figure 10 : diagramme de η % qui définit le tableau 4.4.....	68

NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
q_{in}	La chaleur reçue (chambre de combustion)	[KJ/Kg]
q_{out}	La chaleur perdue (échappement)	[KJ/Kg]
C_p	Chaleur Spécifique Froid (air) avant la chambre de Combustion	[KJ/Kg.K]
C_p'	Chaleur Spécifique Chaud (air + combustible) Après la chambre de combustion	[KJ/Kg.K]
T	Température	[C° ou K]
P	Pression	[Kpa]
Δh (KJ/Kg)	L'enthalpie	
γ	Indice adiabatique Froid (air) avant la chambre de Combustion	
γ'	Indice adiabatique Chaud (air + combustible) Après la chambre de combustion	
W_{net}	Travail nette	[KJ/Kg]
W_T	Travail de la turbine	[KJ/Kg]
W_{TL}	Travail de la turbine libre	[KJ/Kg]
W_C	Travail du compresseur	[KJ/Kg]
P	Puissance	[Kw]
η	Le rendement	%
η_{comp}	Le rendement du compresseur	%
η_T	Le rendement de la turbine	%

INTRODUCTION GENERALE.

L'industrie augmente dans les machines, les installations et la complexité croissante, en particulier les turbines à gaz. Au cours des dernières années, de nombreuses applications industrielles ont été importantes, notamment dans le domaine du transport de gaz et de la réindice, en particulier en Algérie. La société nationale des transports et du marketing (Sonatrach) joue un rôle important dans l'économie nationale et estime qu'ils sont obligés de respecter cette situation, afin de remplir ses contrats et de renforcer son 14 centre mondial. L'industrie pétrolière de notre pays est principalement utilisée pour produire de l'énergie électrique dans les centrales électriques, telles qu'utilisées dans le transfert et la réinjection de gaz, la turbine à gaz est importante dans l'économie nationale. Les turbines industrielles sont exclusivement des turbines molles sont conçues et fabriquées pour se rencontrer, avec ses conditions d'assistance, de fiabilité et de durabilité directement rémunérées qui sont généralement conservées dans l'industrie. Caractéristiques de la turbine à gaz (rapport de pression, débit, énergie) est donnée en termes iso. Cela nous amènera à examiner l'impact de différents facteurs pouvant causer des problèmes lors de la conduite d'une turbine, ce qui limite sa défaillance et sa performance, telles que toute autre grande machine rotative, nécessitent un programme de tests planifiés, avec réparation et remplacement de pièces pour une disponibilité et une fiabilité maximale. Le développement et le succès des turbines à gaz ont été liés à l'amélioration de ces performances techniques. Exigences de sécurité élevées, réduire les coûts d'exploitation, contrôler la disponibilité de l'équipement et améliorer notre objectif est d'étudier les excides et la pression et le retour de la turbine à gaz MS6001B située à l'intérieur de la raffinerie algérienne (raffinerie Baraki Sonatrach) pour évaluer ses performances et cette section a été opérée.

Quatre chapitres :

- Chapitre 1er : Présentation de la raffinerie d'Alger.
- Chapitre 2eme : Présentation générales sur la turbine dans la raffinerie Algérie MS6001B.
- Chapitre 3eme : généralité sur les turbines à gaz.
- Chapitre 4eme : Calcule énergétique (les températures les pressions) de la turbine à gaz MS6001B

Chapitre 01. Présentation de la raffinerie d'Alger

1.1. Introduction

En Algérie, a été découvert à travers la production de pétrole brute à Hassi Messaoud, comme notre pays possède d'importante réserve de pétrole, Il faut construire des complexes pour traiter cette richesse pour obtenir des produits utilisables ou matières premières utilisables dans d'autre domaine. Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie a commencé au développement économique avec la construction et la mise en place d'une grande industrie pétrolière par la transformation systématique des hydrocarbures.

1.2. Historique de la raffinerie d'Alger

LA RAFFINERIE D'ALGER « ex NAFTEC est une filiale de SONATRACH spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien. Elle a été mise en service en février 1964. A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP- NAFTAL). En 1988, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution est érigé en Entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Algérie. En avril 1998, l'Entreprise devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding raffinage et chimie du Groupe SONATRACH avec un capital social de 12 000 000 000 de DA dénommée Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Spa. En 2009, la société NAFTEC a été dissoute et a été récupérée par la société mère, sous le nom de SONATRACH Activité Aval Division Raffinage. Depuis le 10 Janvier 1964 jusqu'à 1971 la raffinerie d'Alger était alimentée par Tankers du port pétrolier de Bejaia au port pétrolier d'Alger, et puis par pipe de diamètre 26" jusqu'au parc de stockage. En 1971, un piquage a été effectué au niveau de Beni-Mansour à partir de la pipe de 24" reliant Hassi-Messaoud par un oléoduc de 16" alimentant la raffinerie en pétrole brut ainsi que l'extension du parc de stockage (un bac de brut, divers bacs de produits finis et semi-finis et une sphère de butane). La raffinerie d'Alger est donc approvisionnée par le pétrole de Hassi- Messaoud qui est caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers.

1.3. Présentation de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine sur la commune de Baraki à 20km à l'est d'Alger et se trouve à une altitude de 20 m. Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) et est délimitée :

- Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre enfuteur.
- Au Nord par les habitants d'El Harrach.
- Au Sud par les habitations de Baraki.
- Au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE et le siège de SONATRACH/TRC.
- Au Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Est par des terrains agricoles.

La raffinerie d'Alger est liée au port pétrolier par une nappe de pipes d'une longueur de 14 km. Cette nappe est essentiellement souterraine. Néanmoins elle présente quelques portions aériennes :

- À l'intérieur de dépôts à accès réglementé (2 portions aériennes).
- À proximité d'habitations et d'infrastructures de transport pour la traversée de cours d'eau notamment (3 portions aériennes).

Le port pétrolier se trouve dans l'enceinte du port d'Alger du côté Est, appelé aussi Quai 37.



Figure 1.1 Présentation de la raffinerie d'Alger

1.4. Structure de la raffinerie d'Alger :

Pour assurer le bon fonctionnement et le déroulement du travail ainsi que la continuité de la production, la raffinerie d'Alger est composée de plusieurs départements à savoir :

- Production.
- Travaux neufs.
- Hygiène, sécurité, environnement HSE.
- Finances.
- Moyens généraux.
- Technique.
- Maintenance.
- Approvisionnement.
- RH.
- SIG.

1.5. Capacité de production de la raffinerie d'Alger :

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière.

La raffinerie a une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont :

- Butane et propane commerciaux.
- Naphta (30% essence SR+70% solvant total).
- Essences normales et super.
- Jet (Kérosène).
- Gas-oil.
- Fuel lourd.

La capacité de production de la raffinerie d'Alger est de 2 700 000 tonnes/an.

1.6. Description des principales installations de la raffinerie d'Alger :

La Raffinerie d'Alger est composée de plusieurs installations qui sont :

- Unité de distillation atmosphérique de 2 700 000 tonnes/an.
- Une unité de reforming catalytique de 2 500 m³/j dont le rôle est de transformer une coupe pétrolière à bas indice d'octane (mélange de solvant léger et de solvant lourd) provenant de l'unité de distillation en un reformat à haut indice d'octane qui est la base principale pour la fabrication des carburants automobiles (essence normale et essence super).
- Unité Gas-plant pour la séparation et traitement des GPL.
- Un parc de stockage pour le pétrole brut et pour les produits finis et semi-finis.
- Une unité de pomperie pour les expéditions de produits par pipes aux dépôts El-Harrach, Caroubier, du Port pétrolier, de l'Aéroport d'Alger au dépôt Chiffa (Blida).
- Unité de mélange (Ethylation) pour la fabrication des essences (Normal et Super).
- D'un port pétrolier équipé de trois postes de chargement et déchargement ainsi qu'une station de déballastage et d'écémage d'hydrocarbures.
- D'un laboratoire de contrôle de la qualité des produits.
- Une centrale thermoélectrique constituée d'un groupe turboalternateur qui développe 35 MW d'énergie électrique, la centrale a pour but d'assurer les besoins énergétiques de la raffinerie (vapeur, eau, électricité, air).
- Deux chaudières à vapeur de 47 tonnes/h chacune.
- Deux stations de traitement des eaux.
- D'un poste de commandement d'intervention en 24/24h.
- Plusieurs ateliers de maintenance et de magasins.
- D'une rampe de chargement GPL alimentant les régions du centre du pays.

1.7. Unités de production de la raffinerie d'Alger :

Dans la forme générale, Unités de productions se compose de trois éléments principaux :

- Distillation atmosphérique (Unité 100).
- Reforming catalytique (Unité 200).
- Gaz Plant (Unité 300).

1.7.1. Unité 100 : Unité de distillation atmosphérique :

A partir des bacs de stockage A301, A302, A303 le pétrole brut de Hassi- Messaoud ou le mélange de brut Hassi-Messaoud avec des proportions variables n'excédant pas 28% en poids de condensât Hassi-R'Mel, est pompé à une température de 27°C au moyen des pompes verticales P101A, P101B, P101C.

Cette unité a pour but de fractionner le brut en produits finis : Kérosène ; gas-oil moteur ; fuel et GPL (Butane et Propane) qui seront directement stockés avant d'être commercialisés, ainsi qu'en produits intermédiaires : solvants léger et lourds qui serviront de charge pour l'unité de reforming catalytique. Sa capacité de traitement est de 2 700 000 tonnes/an.

L'unité de distillation atmosphérique comprend :

- Un train de préchauffe.
- Un ballon de flash D102.
- Un ballon fuel-Gas D107 pour alimenter le four F101.
- Une colonne de distillation atmosphérique C101.
- Une Tour de débutanisations C104.
- Une Tour de redistillation C105.

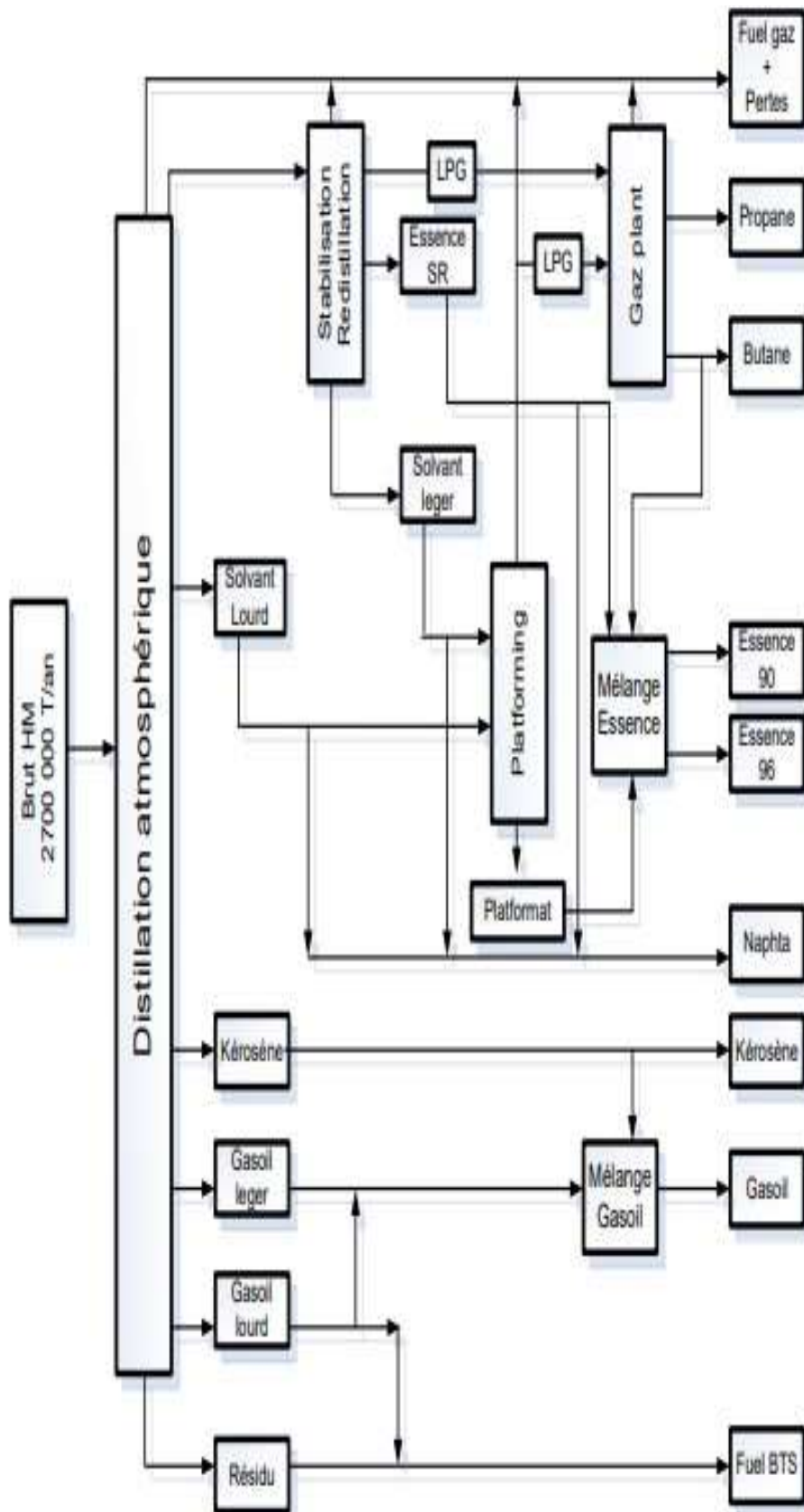


Figure 1.2 : Unité 100 Unité de distillation atmosphérique

1.7.2. Unité 200 : Unité de plateforme (reforming catalytique) :

La charge (solvant) venant soit de l'unité 100 (distillation atmosphérique) soit des bacs A102, A103, A104 est reprise par la pompe P204 A ou B.

Cette unité a pour objectif d'augmenter l'indice d'octane du mélange solvant léger-solvant lourd par les réactions catalytiques pour obtenir à la sortie le "plat-format" destiné à la fabrication des essences. Sa capacité de traitement est de 2500m³/j.

L'unité de reforming catalytique comprend :

- Un train de préchauffe.
- Un réacteur de garde (R201) utilisant un catalyseur pour retenir les poisons contenus dans la charge.
- Une section catalytique avec deux fours (F202 et F203 avec petite et grande cellule), trois réacteurs (R202, R203, R204) et un ballon séparateur d'hydrogène D203.
- Un ballon fuel-Gas D214 pour alimenter les fours F202, F203, F204.
- Un turbocompresseur (K201).
- Une section de stabilisation avec une colonne (C202) et un four F204 : pour chauffer le fond de la colonne afin de séparer les GPL du plat-format et l'envoyer vers l'unité de gaz-plant.

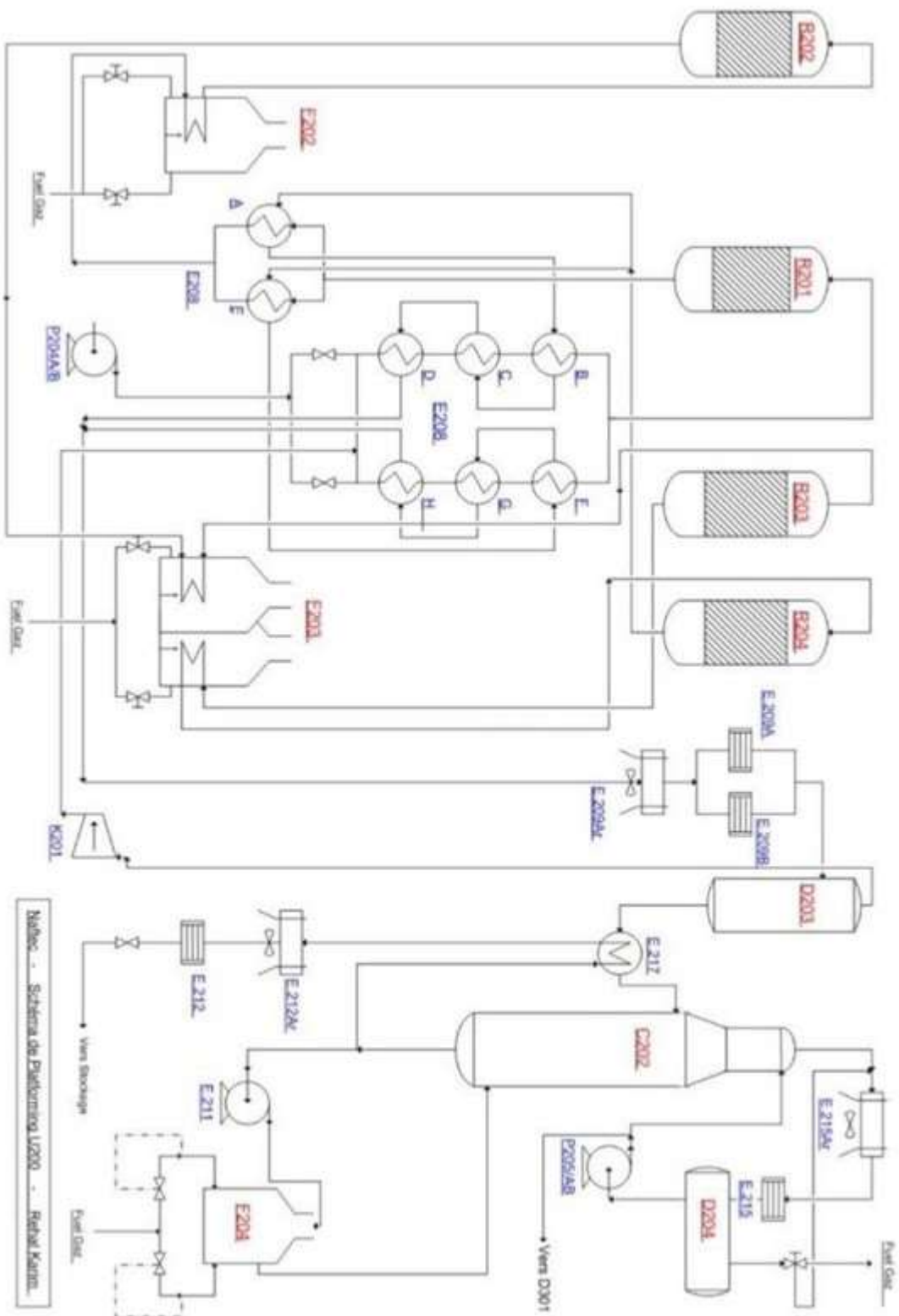


Figure 1.3 : Unité 200 Unité de plateforme (reforming catalytique)

1.7.3. Unité 300 : Unité gaz-plant (traitement et séparation) :

Cette unité permet la séparation et le traitement des gaz venant des deux unités précédentes, pour produire le propane et le butane commerciaux liquéfiés.

Elle a été dimensionnée pour traiter le produit liquide venant des accumulateurs de tête des débutaniseurs de l'unité de distillation et de l'unité de reforming afin d'obtenir du propane et du butane commerciaux. Ces derniers vont traverser des systèmes de purification contenant des tamis moléculaires afin de les débarrasser de toute trace d'humidité et de produits sulfurés.

L'unité 300 comprend :

- Un ballon tampon D301.
- Un dééthaniseur C301.
- Un ballon séparateur D302.
- Un dépropaniseur C302.
- Un ballon séparateur D303.
- Traitement butane et propane par des tamis moléculaires (C303A et D305 pour C3, C303B et D307 pour le C4).

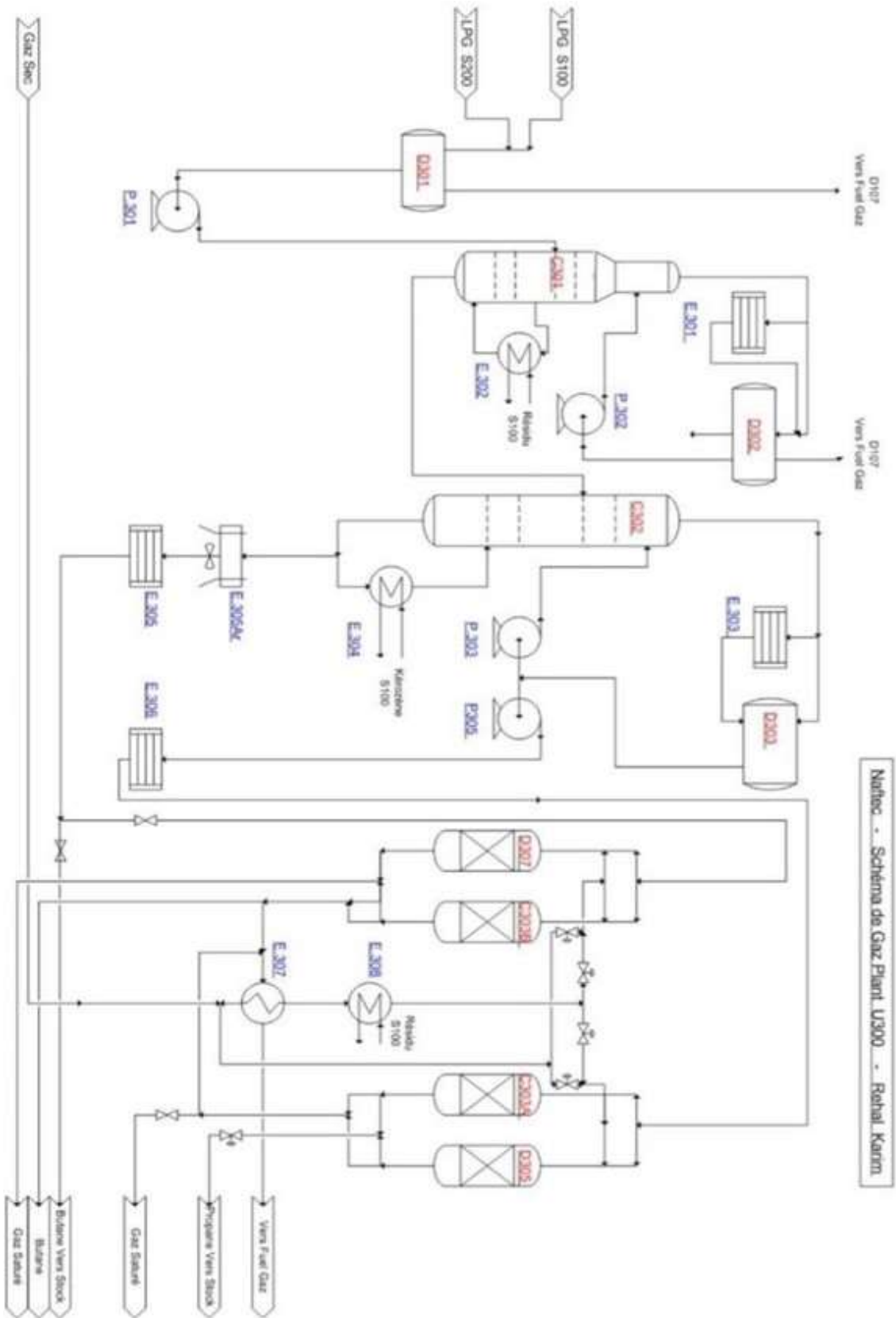


Figure 1.4 : Unité 300 Unité gaz-plant (traitement et séparation)

1.8. Salle de contrôle :

Le nombre important d'appareils de mesure équipant une unité de raffinage a conduit à la nécessité de contrôler dans une salle de contrôle toutes les informations nécessaires à la marche de l'unité (températures, pression, débit, niveau, contrôle des vannes ...)

1.9. Atelier de maintenance :

Dans cet atelier, l'équipe de maintenance est chargée pour réparer les équipements de différentes unités tel que : pompes, échangeurs, vannes, moteurs... etc.

Maintenance (G) : planning et méthode : C'est la plaque tournante de la maintenance à travers le programme journalier de travail.

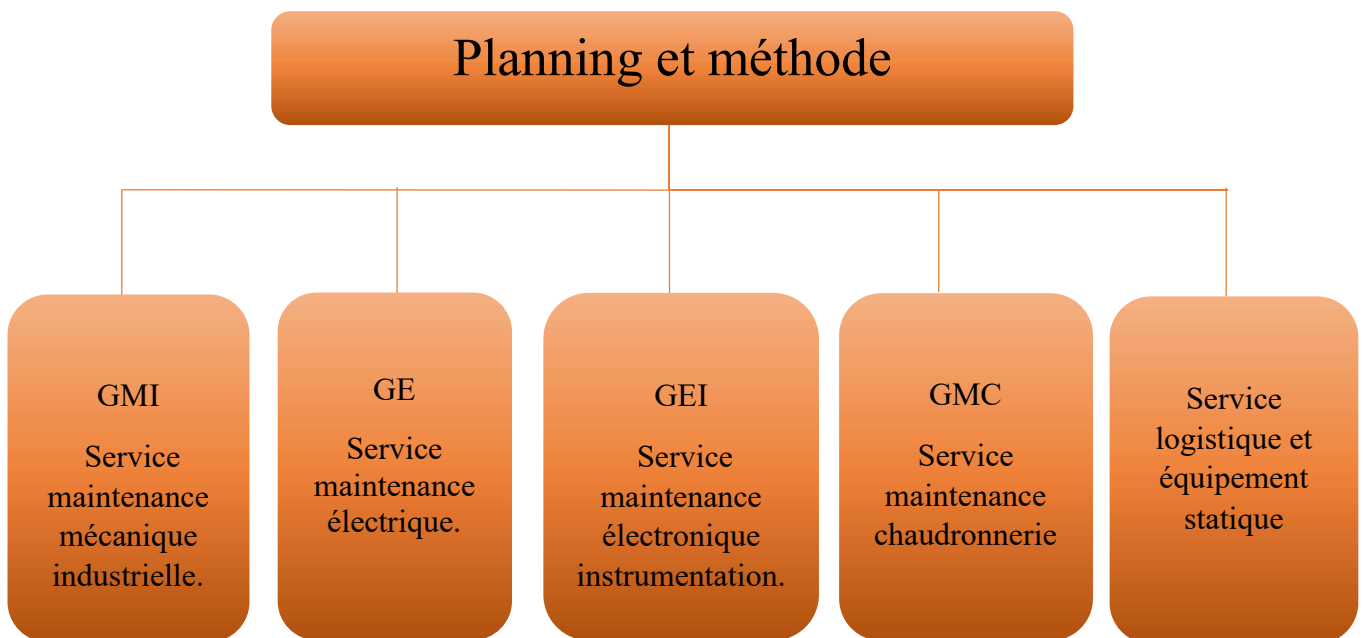


Figure1.5 : schéma d'Atelier de maintenance

En cas de problème, l'opérateur doit en informer le chef d'équipe puis le service compétent (GMI, GE, GEI, GMC, Service logistique et équipement statique). L'intervention a lieu sur place en fonction de la sévérité du permis de travail (froid ou chaud). La décision est prise après une réunion des responsables : de la région, de la sécurité et du chef du service compétent.

Les différentes régions sont :

- Zone 01 : Unités 100 200 300.
- Domaine 02 : Pompage, transport et gaz liquéfiés.
- Zone 03 : Installations et sécurité.
- Zone 04 : Port Pétrolier.
- Zone 05 : Divers.

Entrepôts publics pour stocker le matériel et les outils.

1.10. Laboratoire :

La raffinerie d'Alger dispose d'un laboratoire dans le but d'analyser les différents produits provenant du processus de raffinage. Pour un bon produit il doit correspondre aux critères et normes nationales et internationales. Le service laboratoire dépend du département technique, le laboratoire de la raffinerie est un laboratoire de contrôle des unités et d'analyse des produits finis commercialisés soit sur le marché intérieur ou extérieur.

1.12. La sécurité dans la raffinerie d'Alger :

La raffinerie d'Alger engage de façon régulière des actions de prévention sur les équipements et les installations au niveau de l'ensemble de la raffinerie.

Le suivi des différents travaux opérés les différentes zones par les procédures d'autorisation de travail, le contrôle périodique des installations et des unités de production, l'entretien préventif des moyens de sécurité, de surveillance et suivi des travaux de maintenance, sensibilisation du personnel par des actions d'induction sur les consignes de sécurité.

Le département sécurité dans la raffinerie d'Alger est composé des services suivants :

1.12.1. Service prévention :

Comme son nom l'indique, ce service a pour rôle d'établir les statistiques d'accidents, et de surveiller les travaux afin d'éviter tout incident, ce service est géré par 4 éléments :

- Un chef de service.
- Un inspecteur principal.
- Deux inspecteurs.

Chaque inspecteur est territorialement responsable d'une zone bien déterminée de la raffinerie

La prévention exercée par des éléments de l'entreprise ayant une maîtrise technique et une certaine notoriété et dotée d'un sens d'observation aigu leur permet de jouer un rôle important en matière de prévention.

La prévention joue un rôle important en collaboration avec le travail qui assure la protection des travailleurs par rapport aux maladies professionnelles qui contrairement aux accidents possèdent un caractère progressif de l'exposition des travailleurs aux :

- Produits toxiques comme le plomb.
- Des agents physiques comme le bruit engendre la surdité professionnelle.
- Des poussières : amiante élément cancérigène (asbestose).
- Les virus, microbes...etc.

Enfin, la mission opérationnelle exercée par le service de prévention consistera à superviser les différentes interventions demandées par les différents départements, les exécuter par les services internes (électrique, mécanique, chaudronnier, logistique) ou par un autre entrepreneur à la raffinerie.

1.12.2. Service intervention :

Ce service a pour but d'intervenir rapidement dans le cas où la prévention a été insuffisante. Son rôle est de minimiser les dégâts et d'éviter que l'incendie se propage.

1.12.3. Service accueil et identification :

Le service accueil a pour mission :

- Le contrôle des accès et des sorties des personnes et des véhicules.
- L'accueil et l'orientation des visiteurs en veillant à la bonne application des règles de sécurité.
- L'explication des systèmes de surveillance (vidéo surveillance, contrôle d'accès anti-intrusion)

1.12.4. Cellule environnement

Cette cellule est chargée de faire respecter et appliquer les lois pour la protection de l'environnement au sein de la raffinerie.

1.12.5. Lutte contre les incendies :

Ce service possède les matériaux suivants :

- Des extincteurs.
- Des lances à vapeurs.
- Des ambulances de secours.
- Des bouches d'incendie alimentées par bacs d'eau.

Des détecteurs de gaz électronique équipé par de membranes sensibles qui transmettent le signal à la moindre fuite.

Chapitre 02. Présentation de la turbine à gaz MS6001B

2.1. Introduction :

Une turbine à gaz de grande puissance est un moteur de puissance mécanique installé dans une usine, dans la plus par des temps pour piloter un générateur pour alimente un réseau électrique ou parfois piloter un compresseur pour plan de traitement de gaz.

Le moteur de la turbine à gaz comprend un compresseur d'air axial, un système multi chambre de combustion et une turbine de trois étages.

Le compresseur d'air axial est un compresseur de 17 étages :

- Aubes directrices d'entrée réglables pour contrôler le débit d'air pendant le démarrage et le changement de séquence.
- Vannes de purge pour contourner une partie du flux d'air pour le démarrage et l'arrêt pour échapper à la surtension.

Le système de combustion comprend :

- Injecteurs de carburant montés sur le couvercle de la chambre de combustion.
- Dix chambres de combustion où le carburant brûle en permanence de la vitesse d'allumage à la pleine charge.
- Dix tubes de feu croisés reliant la chambre de combustion.
- Dix pièces de transition en aval de la chambre de combustion reliées à la première turbine.
- Buse de scène.
- Un ensemble de détecteurs de flamme.

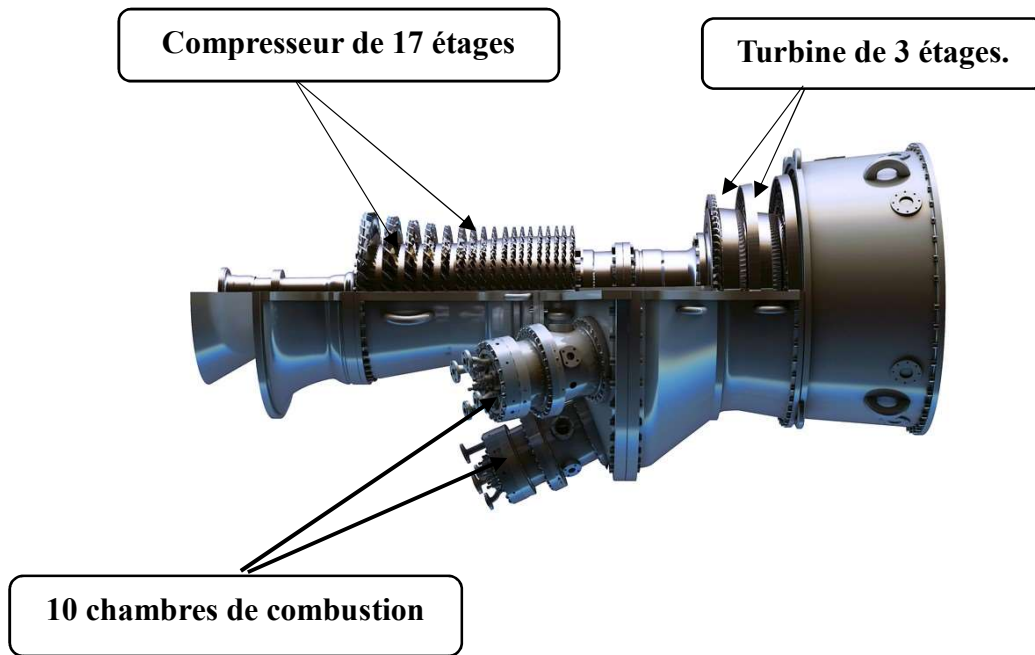


Figure 2.1 : turbine à gaz MS6001B

2.2. Caractéristique de la turbine à gaz MS6001B :

Marque	GE OIL&GAS
Application de la turbine à gaz	Production de l'Énergie électrique
Série de model	MS6001B
Cycle	Récupération de chaleur d'échappement
Rotation de l'arbre	Sens inverse des aiguilles d'une moteur
Types de fonctionnement	Continu
Vitesse de roue HP	5163 tr/min
Vitesse de roue BP	4700 tr/min
Protection (type de base)	Survitesse, surchauffe, vibration, détection de flamme
Mécanisme de refroidissement	Réducteur avec vireur
Système de démarrage	Moteur électrique
Plaque d'identification du régime normal de la turbine à gaz	
Sortie de base	35062 KW (47000hp)
Température d'aspiration	15°C
Pression d'échappement	0.9652 bars (14.7 PSI)
Section du compresseur	
Nombre des étages du compresseur axial	17 étages
Types de compresseur	Flux axial
Type d'aubes directrices d'entrée	Variable
Section de la turbine	
Nombre des étages de la turbine	3 étages
Directrice de premier étage	Fixe
Directrice de deuxième étage	Variable
Section combustion	
Type	10 chambres
Configuration des chambres	Annulaire
Injecteur de combustible	1 par chambre
Bougies d'allumages	2 types électrode
Détecteur de flemmes	4 types ultraviolet

Tableau 2.1 : caractéristique de la turbine à gaz MS6001B

2.3. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS60001B :

Pendant que la turbine à gaz tourne, l'air ambiant filtré est aspiré à travers le plenum d'admission assemblé puis comprimé dans le compresseur de 17 étages, l'air comprimé s'écoule dans l'espace annulaire entourant toutes les dix chambres de combustion, ensuite l'air continue son chemin vers la zone de combustion à travers des trous dans chacune des chambres de combustion.

Les buses de carburant introduisent le carburant dans chacune des dix chambres de combustion où il se mélange.

Avec l'air de combustion et les brûlures. Les gaz chauds des chambres de combustion se dilatent dans les dix pièces de transition séparées fixées à l'extrémité aval des chemises de la chambre de combustion et s'écoulent de là vers la section de turbine à trois étages de la machine.

Chaque étage est constitué d'une rangée de buses fixes suivie d'une rangée d'aubes de turbine. Dans chaque rangée de buses, l'énergie cinétique du jet est augmentée, avec une perte de charge associée, et dans chaque rangée suivante d'aubes mobiles, une partie de l'énergie cinétique du jet est absorbée sous forme de travail utile sur le rotor de la turbine.

Après avoir traversé les godets de la 3^e étape, les gaz d'échappement sont dirigés vers l'échappement Boîtier et diffuseur qui contient une série d'aubes directrices pour faire tourner les gaz d'une direction à une direction radiale, minimisant ainsi les pertes par hotte aspirante. Ensuite, les gaz passent dans le plénum d'échappement et sont introduits dans l'atmosphère par la cheminée d'échappement.

La rotation résultante de l'arbre fait tourner le rotor du générateur pour générer de l'énergie électrique ou pour entraîner un compresseur centrifuge dans les applications électriques industrielles et entraîne les auxiliaires à travers la boîte de vitesses accessoire.

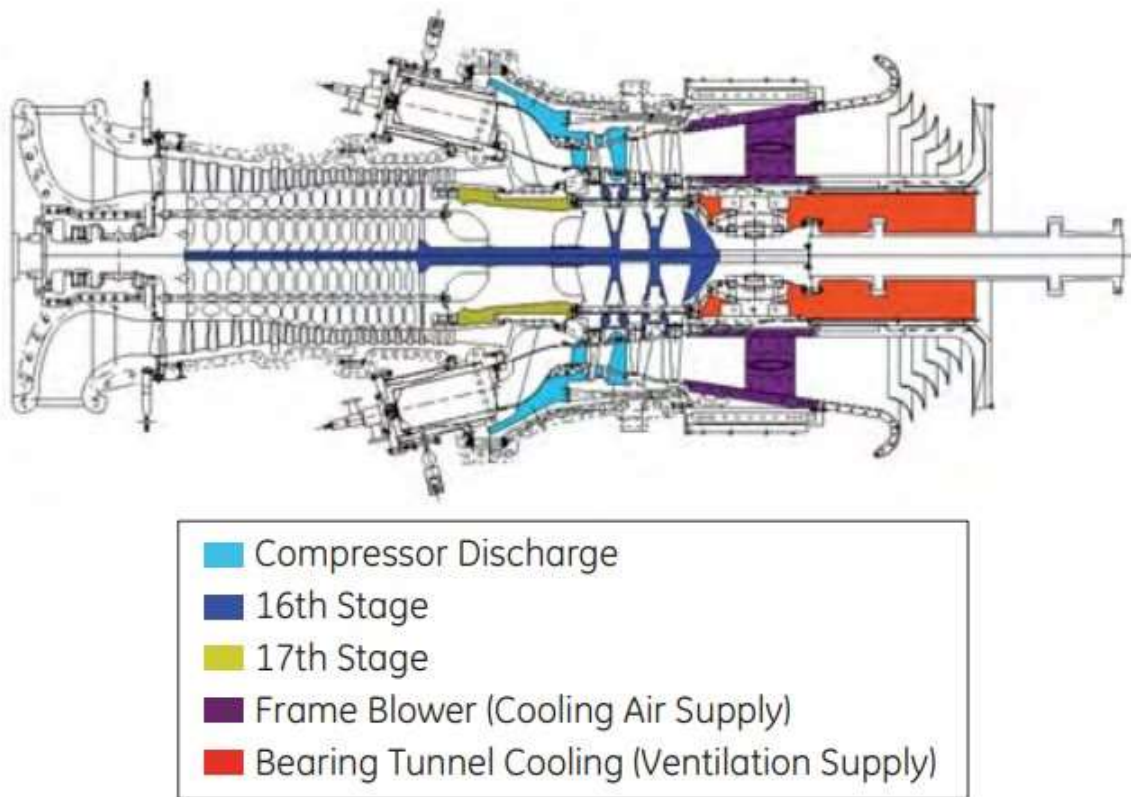


Figure2.2 : Principe de fonctionnement de la turbine à gaz MS60001B

2.4. Sections principales de la turbine à gaz MS6001B :

2.4.1. Turbine base :

La base sur laquelle la turbine à gaz et ses accessoires sont montés est une structure en acier fabrication. Il forme une plate-forme unique qui supporte l'unité de turbine à gaz de base et l'équipement accessoire.

De plus, la base supporte les plenums d'admission et d'échappement de la turbine à gaz L'extrémité avant de la base, sous le compartiment des accessoires, fonctionne également comme une huile de lubrification réservoir de stockage.

Un canal de vidange d'huile est construit le long de l'âme du longeron gauche. Le canal s'étend du réservoir d'huile à l'extrémité arrière de la base, fournissant un passage pour l'en-tête d'huile de lubrification.

Les connexions d'alimentation et de vidange d'huile de lubrification sont faites à l'extrémité arrière de ce canal de vidange.

Des patins finis au bas de la base facilitent son montage sur la fondation du site.

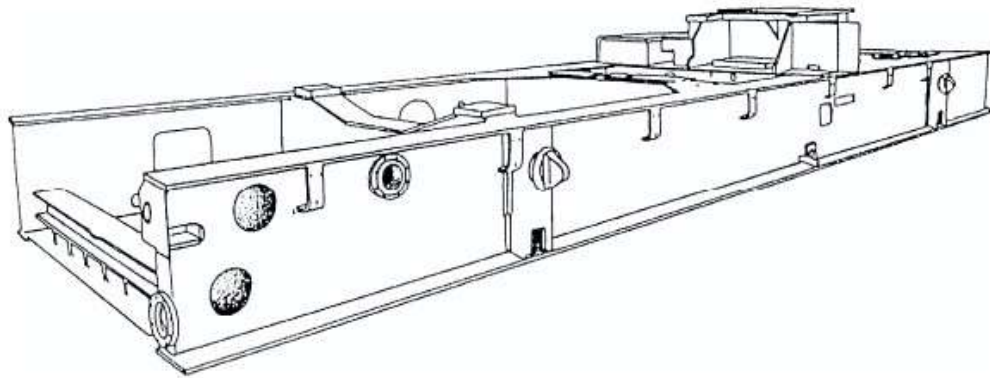


Figure2.3 : Turbine base

2.4.2. Turbine supports :

La turbine à gaz est montée sur sa base par des supports verticaux à trois endroits. Le support avant est situé à la moitié inférieure de la bride verticale du carter du compresseur avant, et les deux pieds de support arrière sont situés de part et d'autre de la coque de la turbine.

Le support avant est une plaque souple qui repose sur deux patins de la machine fixés sur la poutre transversale avant de la base de la turbine. La plaque de support est boulonnée et soudée à ces plaquettes et aux flasques avant du carter de compresseur avant.

Les supports arrière sont des supports de type pied, situé un de chaque côté de la coque de la turbine.

Sur la surface intérieure de chaque pied de support, une chemise d'eau est fournie, par lequel l'eau de refroidissement circule pour minimaliser la dilatation thermique et pour aider à maintenir l'alignement entre la turbine et le générateur, les supports de type pied maintiennent la position axiale et verticale de la turbine, tandis qu'une clé de GIB couplé avec les jambes de support maintient sa position latérale.

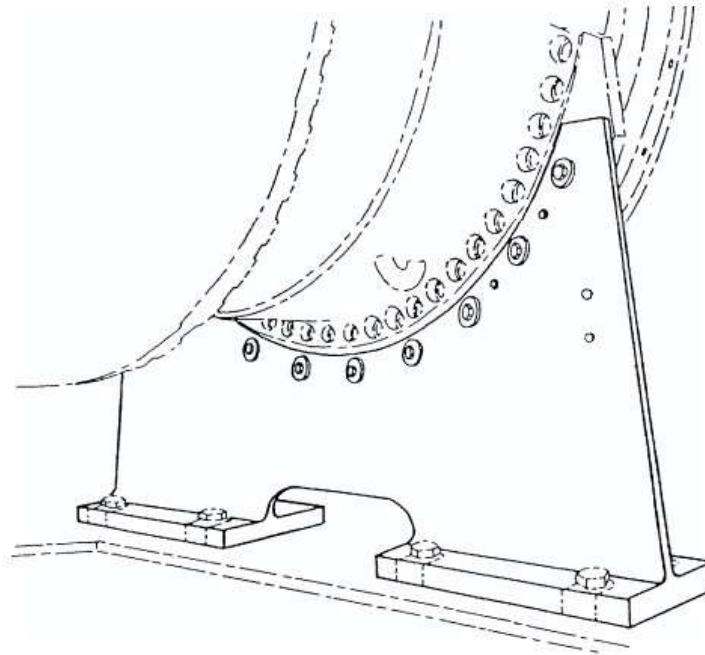


Figure 2.4 : Turbine supports

2.5. Section compresseur :

2.5.1. Généralité :

La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, les 17 étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage (appelées E.G.V.) Exit Guide Valve.

Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente.

Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant. A la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres de combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande du dispositif anti pompage. Afin d'obtenir des performances élevées, les jeux entre rotor et stator doivent être très réduits et les pièces doivent être fabriquées et assemblées avec une très grande précision.

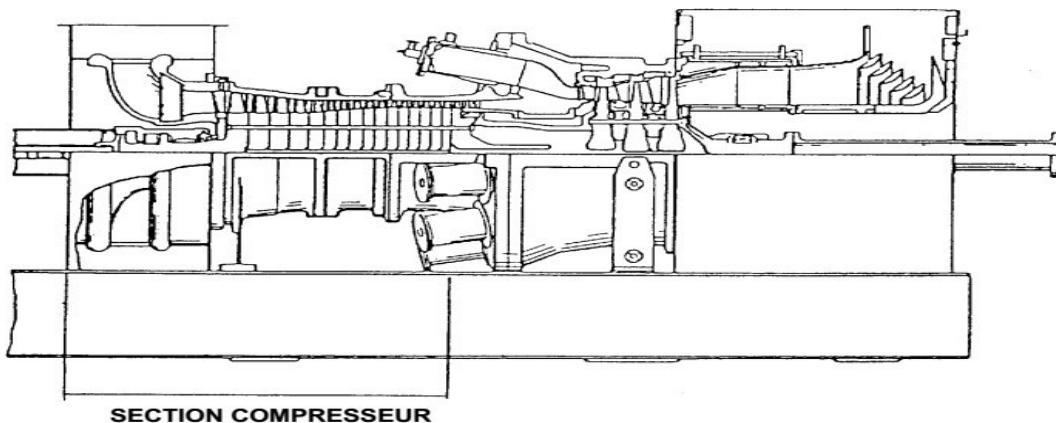


Figure 2.5 : compresseur de turbine à gaz MS6001B

2.5.2. Rotor du compresseur :

Le rotor du compresseur se compose de quinze disques, de deux arbres et de tirants. Chacun des disques est doté d'entailles brochées à leur périphérie. Les aubes du rotor sont insérées dans ces entailles et sont maintenues en position axiale par des cales à chaque extrémité des entailles. Disques et arbres sont centrés les uns dans les autres par des emboîtements cylindriques puis ils sont maintenus par des tirants de telle sorte que le balourd soit minimal.

Chaque disque est contrôlé pour déterminer le défaut de parallélisme des faces et le balourd résiduel. Ces informations sont entrées dans un ordinateur qui, en retour, nous donne la position angulaire des éléments les uns par rapport aux autres, ceci afin de minimiser le balourd résiduel du rotor complet.

L'arbre avant comporte une partie usinée qui constitue la fusée du palier n° 1, ainsi que les surfaces d'étanchéité. Après montage, le rotor est équilibré dynamiquement avec une très grande précision.

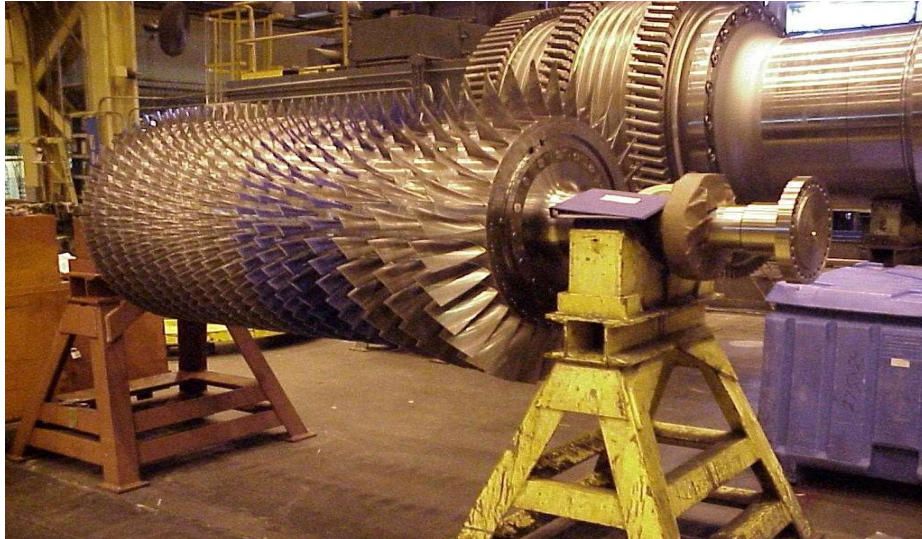


Figure 2.6 : Rotor du compresseur axial

2.5.3. Stator de compresseur :

L'ensemble de la section compresseur se compose de trois parties principales :

- Le corps d'admission.
- Le corps du compresseur.
- Le corps d'échappement du compresseur.

Ces éléments, avec le corps turbine et le cadre d'échappement constituent la structure principale de la turbine à gaz. Ils supportent le rotor au droit des paliers et constituent l'enveloppe extérieure de la veine des gaz chauds.

Pour obtenir un rendement maximum, l'alésage des corps est réalisé avec des tolérances très serrées afin d'obtenir un jeu minimum en bout d'aubes durant le fonctionnement.

STATOR DU COMPRESSEUR (EN NOIR)

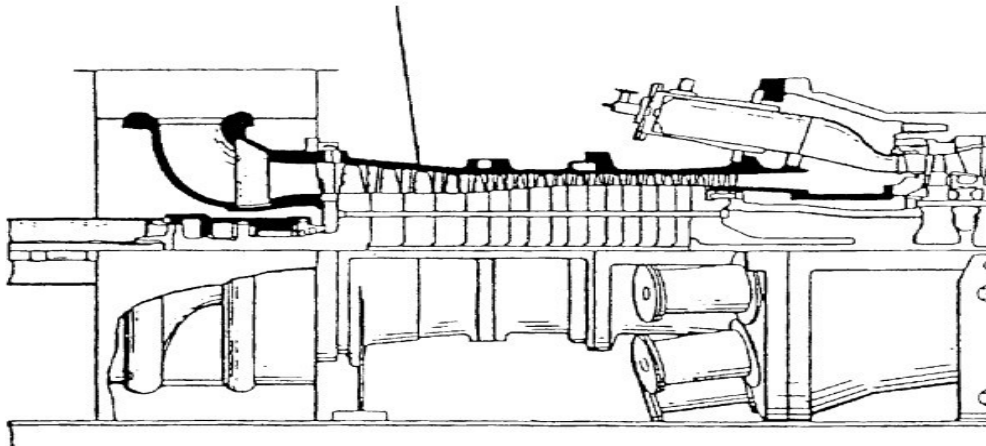


Figure 2.7 : Stator de compresseur

- Le corps d'admission : Sa fonction principale est de diriger l'air uniformément dans le compresseur et il est situé à l'avant des turbines. Le corps supporte chacun des roulements du corps inférieur du logement formant un corps séparé, qui a des brides et boulonné à la moitié inférieure du corps d'admission. L'évasement intérieur est relié à l'évasement extérieur au moyen de sept supports radiaux aérodynamiques spécifiques et de sept bras de liaison pivotants, et dans les parois de l'envasement il y a des entretoises et les triangles. La turbine accélère rapidement et en douceur, sans impulsion du compresseur, à l'aide d'aubes variables. L'huile hydraulique est utilisée pour aider à faire tourner les aubes variables via une grande couronne dentée et un ensemble de petits pignons d'engrenages. Au lancement les aubes sont réglées à 44° degrés afin de former un centre fermé.
- Le corps du compresseur : Le corps avant du compresseur englobe les dix premiers étages. Il transfère également les charges structurelles provenant du corps adjacent au support avant, qui est lui-même boulonné et chevillé à la bride avant du corps du compresseur. L'air en provenance des 5ème, 11ème et 13ème étage du compresseur est prélevé par des orifices percés au niveau des bossages correspondants. L'air du 5ème et du 11ème étage est utilisé pour permettre le refroidissement et assurer l'étanchéité ainsi que pour commander le système anti-pompage au démarrage et à l'arrêt de la turbine. L'air du 13ème étage est utilisé pour le refroidissement de la directrice du second étage.

➤ Le corps d'échappement du compresseur : Le corps d'échappement du compresseur est la partie arrière de la section compresseur. C'est la pièce la plus longue obtenue de fonderie. Elle se situe à mi-distance entre les supports avant et arrière et est effectivement la pièce maîtresse de la structure de la turbine à gaz. Le corps d'échappement du compresseur contient les sept derniers étages de compression, et forme à la fois les parois interne et externe du diffuseur du compresseur. Le corps d'échappement se compose de deux parties, l'une étant une extension des corps du compresseur et l'autre, un cylindre interne entourant le rotor du compresseur. La concentricité de ces deux parties est assurée par dix entretoises radiales. Ces entretoises s'étendent du cylindre intérieur jusqu'à la cloison supportant les chambres de combustion. Cette cloison est dotée de dix ouvertures circulaires permettant à l'air de pénétrer dans le système de combustion.

2.6. Section de combustion :

Le système de combustion est du type à flux inversé qui comprend 10 chambres de combustion ayant les composants suivants :

- Doublures (doublures).
- Manche fluides.
- Pièces de transition.
- Tube de feux croisés.

Les détecteurs de flamme, les tubes feu croisés, les injecteurs de carburant et les allumeurs de bougies d'allumage font également partie du Système.

Les gaz chauds, générés par la combustion du carburant dans les chambres de combustion, sont utilisés pour entraîner la turbine.

Dans le système à flux inversé, l'air haute pression provenant de la décharge du compresseur est dirigé autour des pièces de transition et dans les espaces annulaires qui entourent les 10 doublures (liners) de combustion.

L'air de refoulement de compresseur entoure le revêtement, s'écoule radialement vers l'intérieur à travers de petits trous dans la paroi du revêtement. Cet air s'écoule directement vers l'extrémité de décharge du revêtement et forme d'air qui protège la paroi du revêtement des gaz de combustion chauds. Le carburant est fourni à chaque chambre de combustion par une buse.

Les dix chambres de combustion sont interconnectées à travers des tubes de feu croisés. Ces tuyaux permettent à la flamme des chambres allumées contenant des bougies d'allumage de se propager aux chambres non allumées.

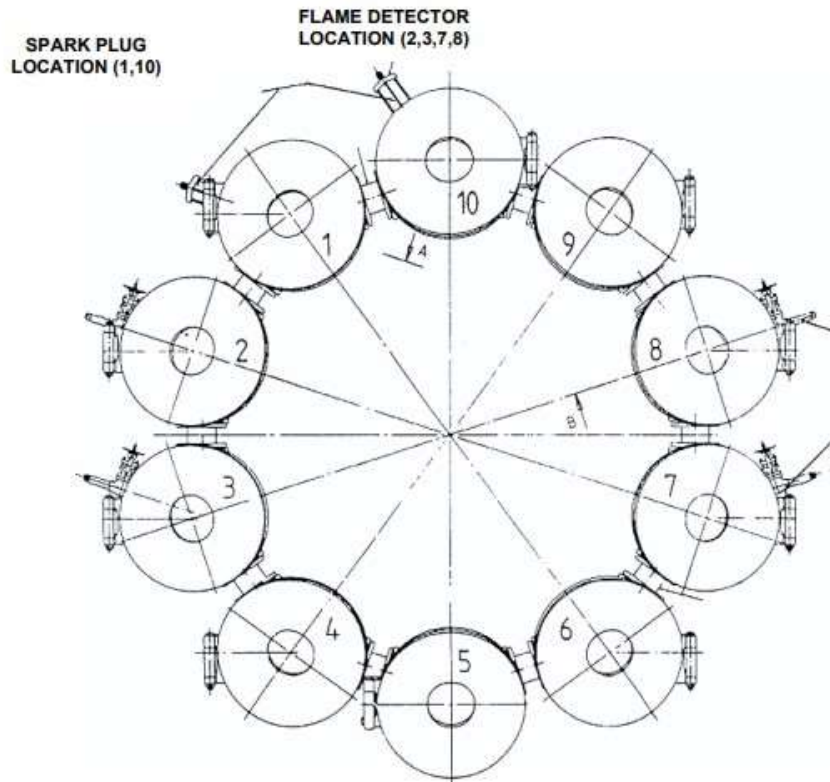


Figure 2.8 : chambre de la combustion annulaire de la turbine à gaz MS6001b

Cette figure nous montre les dix chambres de combustion et leurs arrangements ainsi que l'emplacement des détecteurs de flamme (2, 3, 7, 8).

2.6.1. Bougies :

La combustion est initiée au moyen de la décharge de deux hautes tensions. Bougies à électrodes rétractables installées dans les chambres de combustion adjacentes (N° 1 et 10). Au moment de la mise à feu, une étincelle à l'une de ces bougies ou aux deux allume le gaz de combustion dans les chambres.

Les gaz des chambres restantes sont enflammés par feu croisé à travers les tubes qui relient les zones de réaction des chambres restantes. Lorsque la vitesse de rotor augmente, la pression de la chambre provoque la rétractation des bougies et les électrodes sont retirées de la zone de combustion.

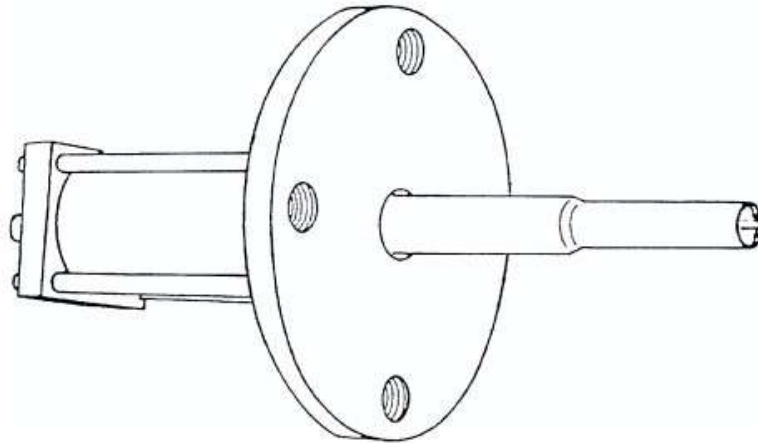


Figure 2.9 : Bougies de la turbine MS6001b

2.6.2. Détecteurs de flamme :

Pendant la séquence de démarrage, il est essentiel qu'une indication de la présence ou de l'absence de la flamme soit transmise au système de contrôle. Pour cette raison, une surveillance de flamme primaire système est utilisée composée de quatre capteurs qui sont installés sur quatre adjacentes chambres de combustion (N° 2 et 3, 7 et 8) et un amplificateur électronique qui est monté le panneau de commande de la turbine.

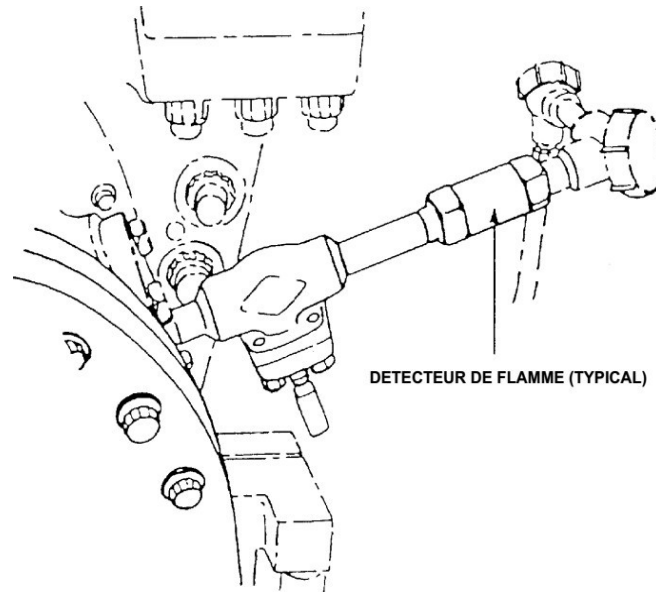


Figure 2.10 : Détecteurs de flamme de la turbine à gaz MS6001B

2.6.3. Buses de carburant :

Chaque chambre de combustion est équipée d'une buse de carburant qui émet une quantité dosée de carburant requis dans revêtements de combustion. La buse de carburant a pour fonction de distribuer le combustible gazeux dans la zone de réaction du revêtement de combustion, d'une manière qui favorise une combustion uniforme, rapide et complète.

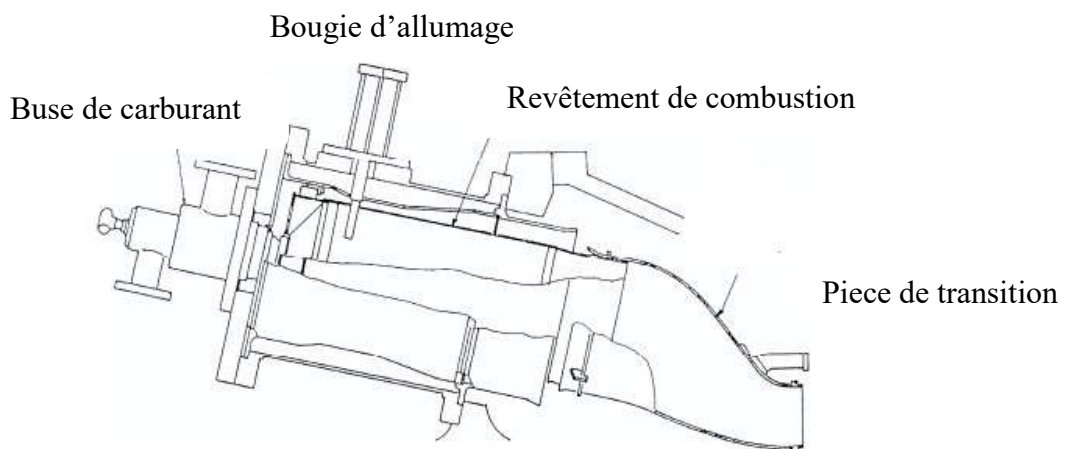


Figure 2.11 : La figure suivante nous montre les différents les composants principaux de la section de combustion.

2.7. Section turbine :

C'est dans la zone des trois étages turbine que l'énergie, sous forme de gaz sous pression produite par le compresseur et le système de combustion, est convertie en énergie mécanique.

Chaque étage turbine se compose d'une directrice et d'une roue avec son aubage. La section turbine comprend le rotor, le corps, les directrices, les segments de protection, le cadre d'échappement et le diffuseur d'échappement.

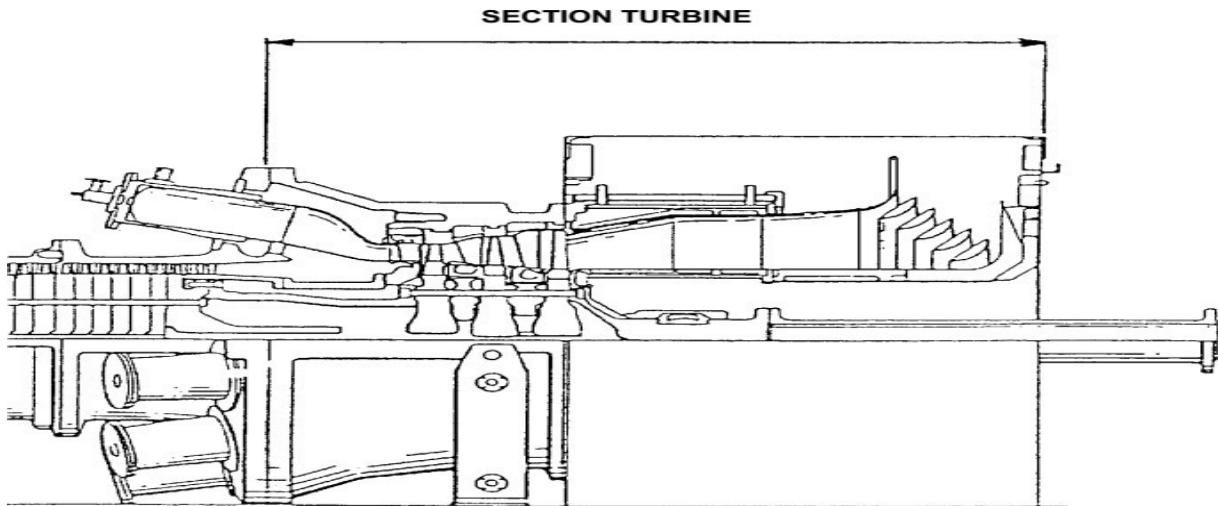


Figure 2.12 : Section turbine de la turbine à gaz MS6001B

2.7.1. Rotor de la turbine :

Le rotor de la turbine, se compose des arbres de roues de turbine avant et arrière, des roues de turbine du premier, deuxième et troisième étage, avec des entretoises et des augets de la turbine. Le contrôle de la concentricité est effectué grâce à des rainures d'accouplement sur les roues de la turbine, les arbres de roue et les entretoises. Les roues sont maintenues ensemble avec des boulons. Un positionnement sélectif des membrures du rotor est effectué afin de minimiser les corrections d'équilibre.

2.7.2. Augets :

Les augets de la turbine sont assemblés dans les roues avec des queues d'aronde axiales, et en forme de sapin, introduites dans des découpes correspondantes, dans les couronnes des roues de la turbine.

Tous les trois étages de la turbine ont un moulage de précision et ils disposent d'augets à bras long. La conception des augets à bras long permet de protéger efficacement les couronnes des roues et les fixations du fond des augets contre les hautes températures dans le passage du gaz chaud, en permettant également d'amortir mécaniquement les vibrations des augets.

Les augets des deuxièmes et troisièmes étages disposent d'épaulements de verrouillage à leurs extrémités, ce qui permet également d'amortir les vibrations. Ces épaulements permettent également de renforcer l'efficacité de la turbine, en minimisant la fuite aux extrémités. La denture radiale sur les épaulements des augets s'associe aux surfaces étagées sur le stator, pour fournir un joint à labyrinthe contre les fuites de gaz à travers les extrémités des augets.

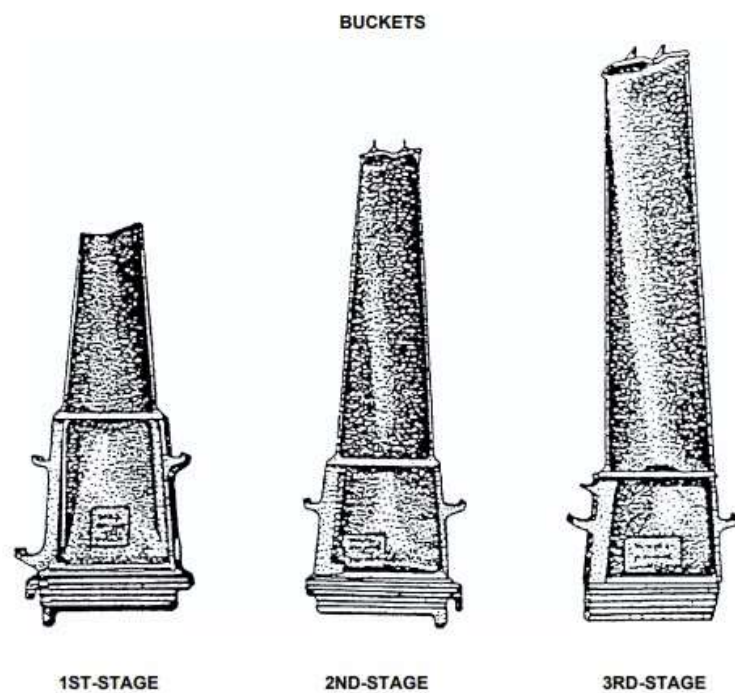


Figure 2.13 : Augets de la turbine à gaz MS6001B

2.7.3. Stator de la turbine :

La coque de la turbine et le bâti d'échappement constituent la partie principale de la structure du stator de la turbine à gaz MS6001B. Les gicleurs de la turbine, les épaulements et le diffuseur d'échappement de la turbine sont supportés intérieurement à partir de ces composants.

2.7.4. Caisse de la turbine (Coque)

La coque de la turbine commande les positions axiales et radiales des épaulements et des gicleurs. Elle détermine les passages de la turbine et les positions correspondantes des gicleurs par rapport aux augets de la turbine. Ce positionnement est important pour le fonctionnement adéquat de la turbine à gaz.

Les gaz chauds contenus par la coque de la turbine constituent une source de flux de chaleur dans la coque. Pour contrôler le diamètre de la coque, il est important de réduire le flux de chaleur dans la coque et de limiter sa température. Les restrictions du flux de chaleur concernent également les structures à plusieurs couches, le refroidissement et le calorifugeage. La surface externe de la coque comprend des passages d'air de refroidissement. Le flux à travers ses passages est généré par un ventilateur hors base.

Structurellement, la bride avant de la coque est boulonnée à des brides sur l'extrémité arrière du carter de refoulement du compresseur. Le boîtier de combustion est également branché à cette bride. La bride arrière de la coque est boulonnée à la bride avant du bâti d'échappement. Des tourillons aux côtés de la coque sont utilisés avec des tourillons similaires à l'avant de la caisse du compresseur, pour soulever la turbine de gaz lorsqu'elle est séparée de son socle.

2.7.5. Cadre d'échappement et diffuseur

Le diffuseur d'échappement situé à l'arrière de la turbine est boulonné au bâti d'échappement. Les gaz échappés du troisième étage de la turbine entrent dans le diffuseur, où leur vitesse est réduite par diffusion et où il y a un retour de pression. À la sortie du diffuseur, des aubes directrices dirigent les gaz dans le plénum d'échappement.

Les plaquettes radiales du bâti d'échappement traversent le flux gazeux d'échappement. Ces plaquettes positionnent le cylindre interne et le palier N°3 par rapport à la caisse externe de la turbine de gaz. Les plaquettes doivent être maintenues à une température constante, afin de contrôler la position centrale du rotor par rapport au stator.

Cette stabilisation de température est effectuée en protégeant les plaquettes contre les gaz d'échappement avec un carénage en métal qui forme un espace d'air autour de chaque plaquette et fournit une forme pivotante et combinée de la surface portante.

Le refoulement du flux d'air de refroidissement de la coque de la turbine a lieu à travers les plaquettes et le boîtier, afin de maintenir une température constante des plaquettes.

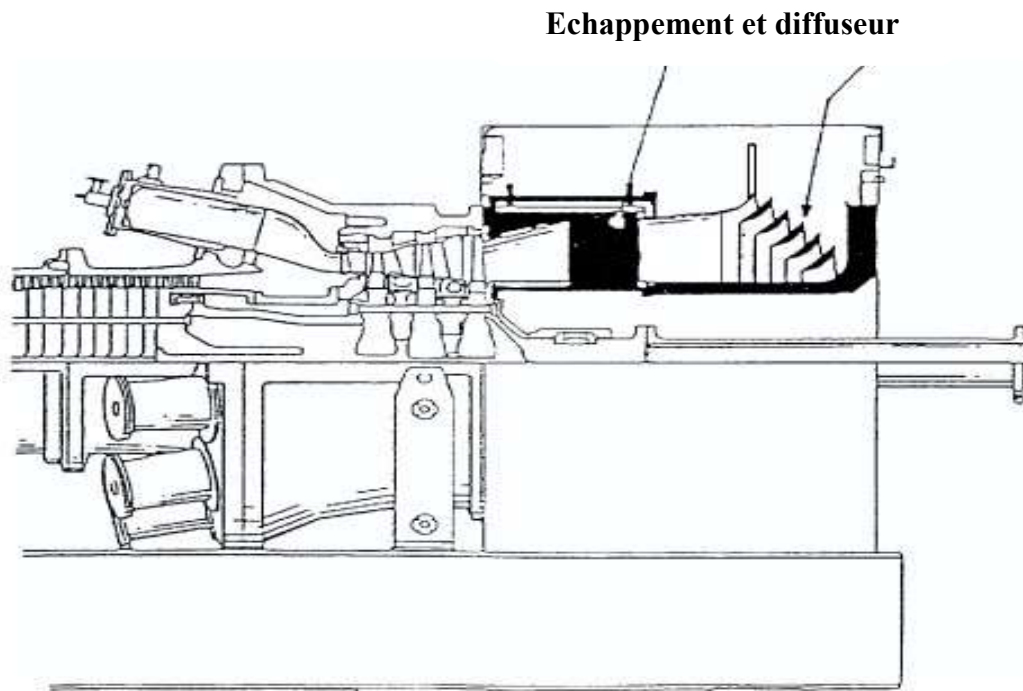


Figure 2.14 : Cadre d'échappement et diffuseur

2.8. Avantages et inconvénients de la turbine à gaz MS6001B :

➤ Avantages

- Une grande puissance dans un espace confiné ou un moteur diesel de même puissance et rendement ne peut pas être logé.
- Détente plus complète des gaz brûlés.
- La puissance est produite d'une façon continue.
- Démarrage facile même dans les basses températures.

➤ **Inconvénient**

- Moins de 3000KW le prix d'installation est plus élevé qu'un moteur diesel.
- Le temps de lancement plus long que celui d'un groupe diesel.
- Difficultés d'obtenir des matériaux résistants aux hautes températures.
- Le besoin d'un compresseur et une pompe à carburant

Chapitre 03. Généralité sur la turbine à gaz

3.1. Introduction :

Une turbine à gaz, également appelée turbine à combustion, est un moteur thermique qui produit de l'énergie mécanique à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (combustible gazeux ou liquide). Elle est composée de trois éléments principaux : (Compresseur, Chambre de combustion, Turbine).

Il s'agit d'une machine tournante appartenant à la famille des moteurs à combustion interne, elle est considérée comme un système autosuffisant dans le rôle de produire de l'énergie mécanique sous la forme de la rotation d'un arbre, grâce à l'énergie cinétique produite par la combustion d'un hydrocarbure (gaz de combustion) qui subissent à une détente dans la turbine.

Le carburant (l'air ambiant) est comprimé avant d'entrer dans la chambre de combustion, grâce à son propre compresseur rotatif entraîné par le même arbre de la turbine. Ce dernier augmente la puissance énergétique de l'air qui entre dans la chambre de combustion de la turbine, une énergie mécanique se produit pendant le processus de détente dans la section de turbine, cette énergie mécanique est transmise à une machine réceptrice pour produire l'énergie utile du processus industriel.

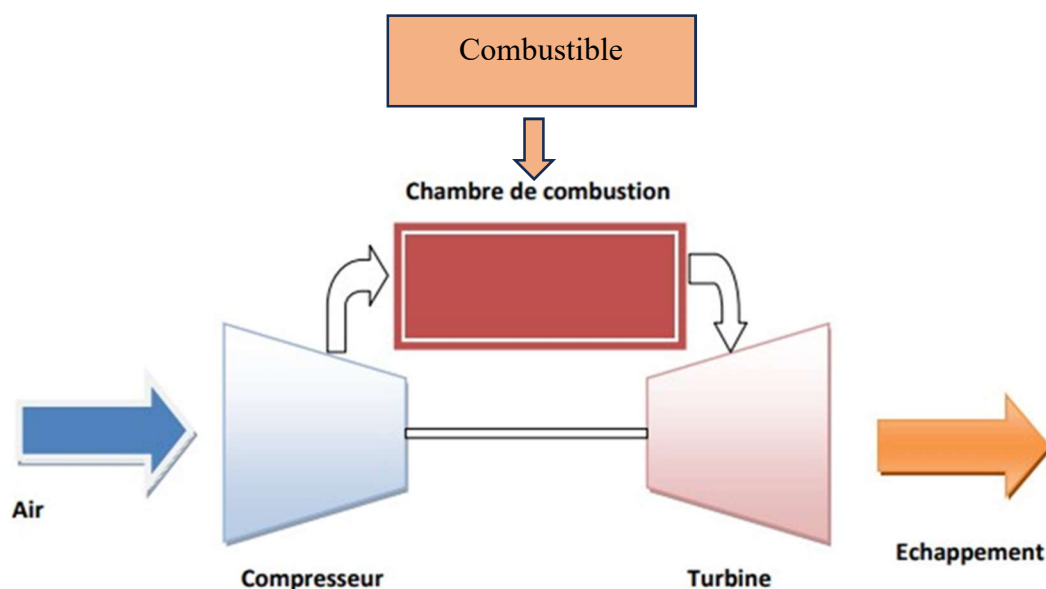


Figure 3.1 : schéma de la turbine à gaz

3.2. Historique des turbines à gaz :

Les turbines à gaz ou exactement turbine à combustion sont apparues à la fin des années 1940. Ils travaillent généralement dans les chemins de fer et avait l'avantage de brûler de carburons liquide même en basse qualité (en raison d'opérations limitées de raffinage), la turbine MS3001 fabriquée par GE (General Electric) développe une puissance de 3,312 MW environ 4500 HP (horse power), a été utilisée spécifiquement pour le service locomotive, les améliorations dans le domaine de technologie des matériaux ont aidé à améliorer d'une façon rapide les performances de ce genre d'appareil en termes d'efficacité, force spécifique et en rendement aussi, dans ce domaine nous pouvons distinguer trois générations en fonction des périodes des températures extrêmes en (C°) des gaz à l'entrée de la première roue de la turbine.

1^{ère} génération : $760 < T_{\max} < 950$.

2^{ème} génération $955 < T_{\max} < 1124$.

3^{ème} génération $1149 < T_{\max} < 1288$.

Il est évident que l'augmentation des températures d'entre à la première turbine a comme conséquence une augmentation dans le rendement thermodynamique.

3.3. Les composants de la turbine à gaz :

Dans la forme générale la turbine à gaz se compose de trois éléments principaux :

- Le compresseur
- La chambre de combustion
- La turbine

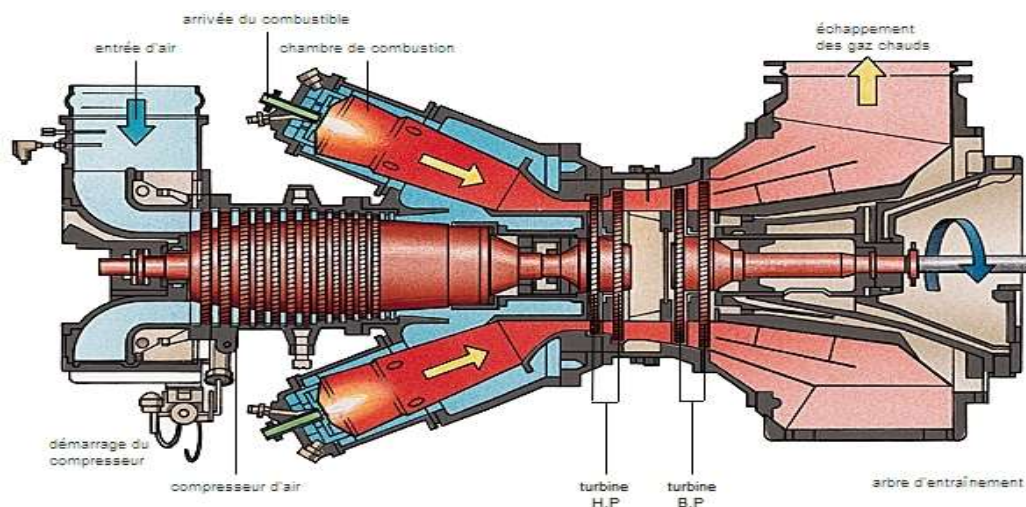


Figure 3.2 : Les composants de la turbine à gaz

3.3.1. Le compresseur :

Le rôle de compresseur produit des débits d'air élevé nécessaires pour obtenir des forces élevées avec des petites dimensions.

Un compresseur se compose d'une série d'étage à pales réglable ce qui permet d'augmenter la vitesse de l'air ainsi que son énergie cinétique suivie alternativement par des lames fixe qui permet de convertir cette énergie en une plus haute pression d'air.

Sur la partie aspiration du compresseur, on trouve des lames variables à l'admission, ces lames ont comme but de diriger l'air vers le premier étage des lames (aubes) du rotor.

Sur la partie refoulement du compresseur, on trouve quelques étages des lames variables dans la sortie, cela pour la récupération de la plus haute pression d'air avant qu'il entre dans la chambre de combustion.

Le compresseur fourni aussi une partie d'air pour refroidir des différents éléments de la turbine (les parois des directrices, les lames (aubes), les disques de la turbine et l'huile d'étanchéité des joints à labyrinthe du palier).

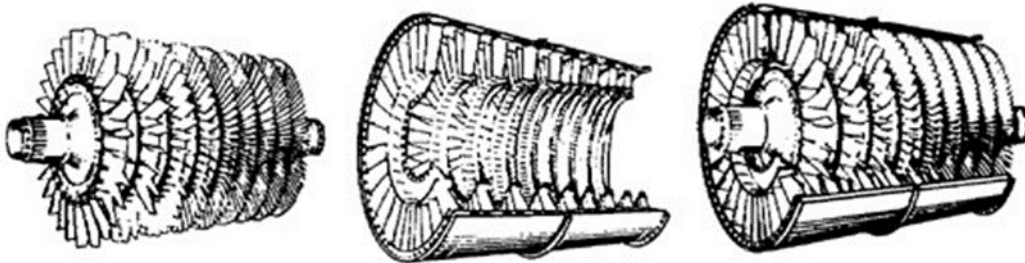


Figure 3.3 : Le compresseur axial

3.3.2. La chambre de combustion :

La chambre de combustion est principalement conçue pour brûler le mélange (air/ combustible) et alimenter les turbines avec des gaz de température stable.

La température du gaz ne doit pas dépasser la température structurelle admissible dans les turbines.

Une quantité de l'air entrant se dirige vers le brûleur est consommée en se mélangeant avec le carburant.

L'autre quantité d'air restante est utilisée pour le refroidissement (refroidissement de la surface de brûleur est d'autres produits de combustion).

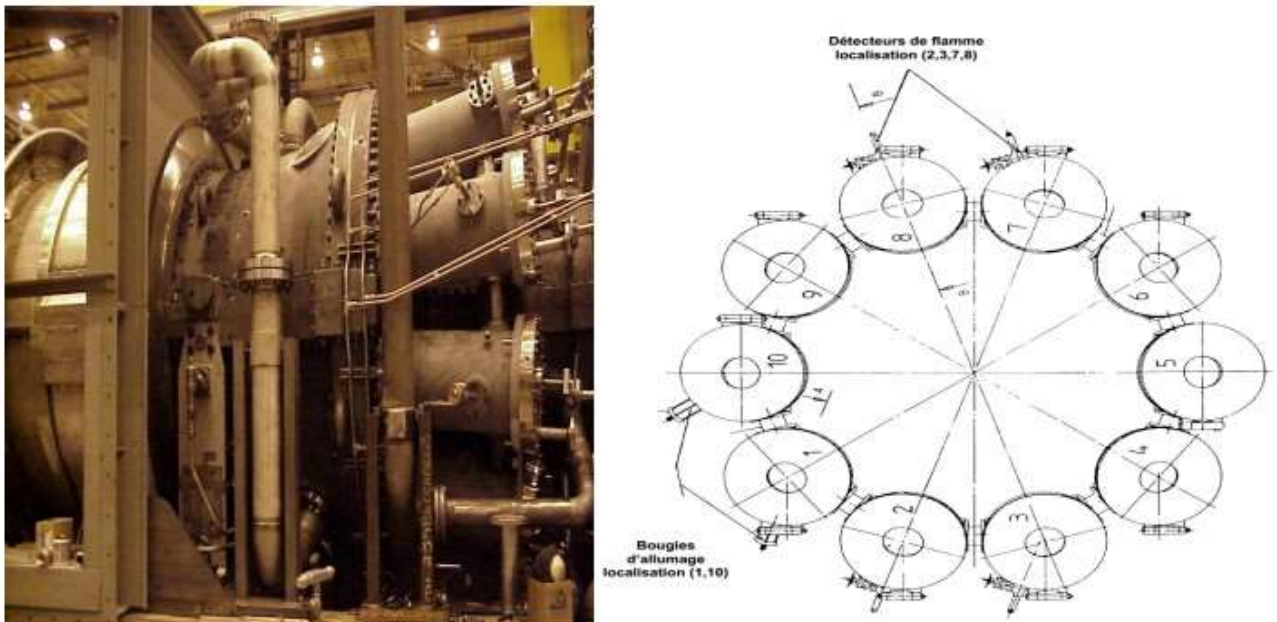


Figure 3.4 : La chambre de combustion

3.3.3. Turbine :

La turbine est un ensemble de palettes concentrique avec l'axe de la turbine, ces palettes son placer d'une façon pour former un angle pour qui permet de diverses les gaz sur la lame de la turbine.

Comme le compresseur la turbine possède plusieurs étagés mais en nombre inférieur en la comparant avec le compresseur car dans la turbine la pression est décroissante (processus de détente) par contre dans le compresseur la pression augmente (processus de compression).

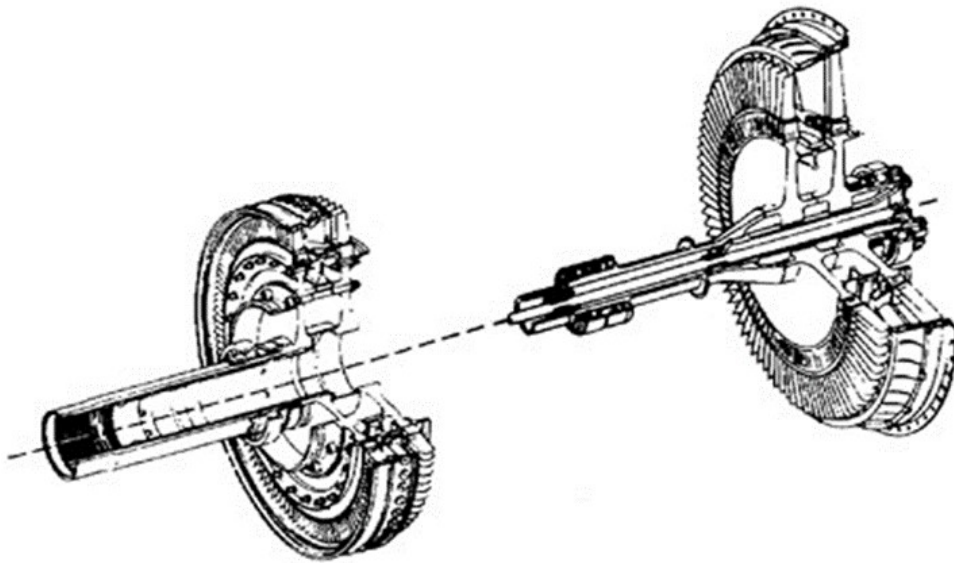


Figure 3.5 : Turbine

3.4. la turbine à gaz dans l'industrie :

La turbine à gaz joue un rôle important dans plusieurs domaines, notamment :

- **Production d'énergie** : Les turbines à gaz sont utilisées pour produire de l'énergie mécanique, électrique et thermique. Elles peuvent être couplées à un alternateur pour produire de l'électricité, ce qui en fait une source d'énergie autonome et flexible.
- **Industrie aéronautique** : Les turbines à gaz sont particulièrement bien adaptées aux applications aéronautiques en raison de leur puissance spécifique élevée. Elles sont utilisées dans les turbomoteurs, les turbopropulseurs et les turboréacteurs pour fournir une puissance mécanique.
- **Cogénération** : Les turbines à gaz peuvent être utilisées en cogénération pour récupérer les quantités importantes d'énergie contenues dans les gaz d'échappement. Cela permet de produire de l'eau chaude ou de la vapeur en plus de l'électricité.
- **Moteur stationnaire** : Les turbines à gaz sont utilisées dans les industries pétrolière et gazière pour entraîner des pompes pour les pipelines et des compresseurs pour les gazoducs.
- **Secours de réseau** : Les turbines à gaz peuvent servir de machines de secours pour aider à reconstituer le réseau électrique après un incident généralisé.

3.5. Classification des turbines à gaz :

Les turbines peuvent être classées selon différents points comme suit :

- Par le mode de construction.
- Par le mode de travail.
- Par le mode de fonctionnement.

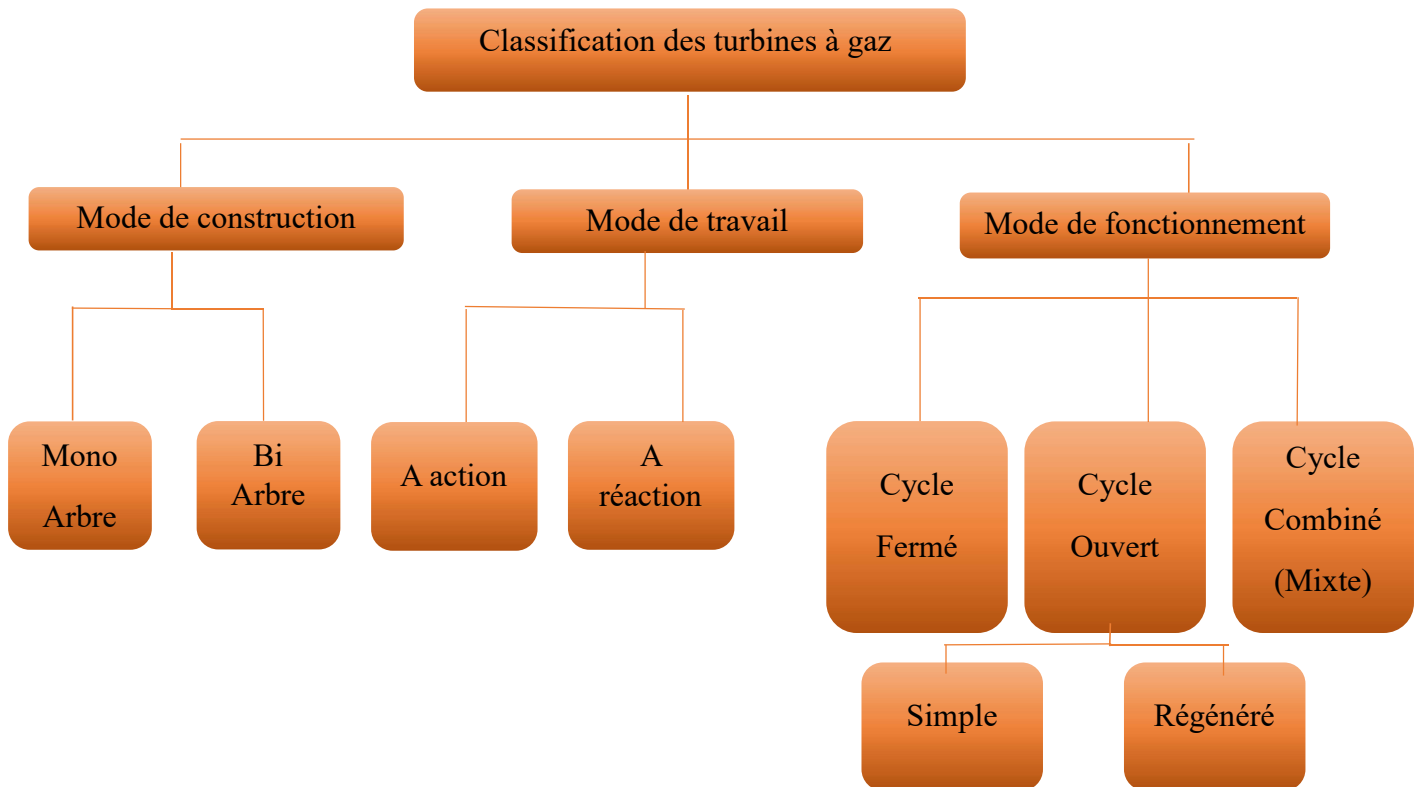


Figure 3.6 : schéma de Classification des turbines à gaz

3.5.1. Par le mode de construction :

Afin de choisir le type de turbine à gaz à choisir, il est nécessaire de connaître le but pour lequel elle sera utilisée, et dans l'industrie on trouve plusieurs types de turbines, notamment :

- Les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre : Il est utilisé lors de la recherche d'un, fonctionnement avec une charge constant (pour entraîner les générateurs d'électricité).

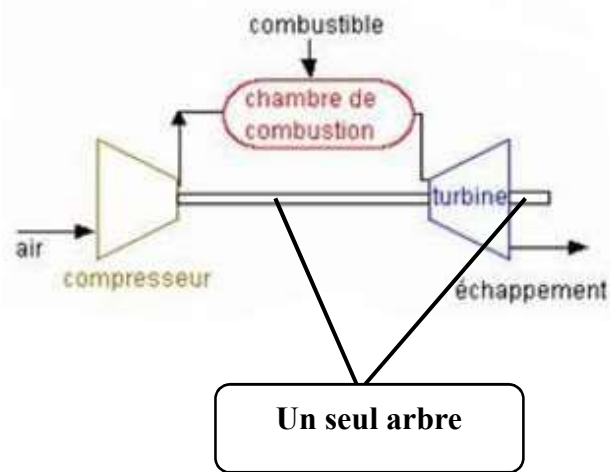


Figure 3.7 : Les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre

- Le deuxième type est la turbine à deux arbres bi-arbre : Elle peut entraîner des appareils avec des charges variables (pompes, compresseur) elle se compose de deux turbines, une turbine de charge faisant tourner le compresseur axial et l'équipement auxiliaire et une turbine de puissance libre pour produire de la puissance utile.

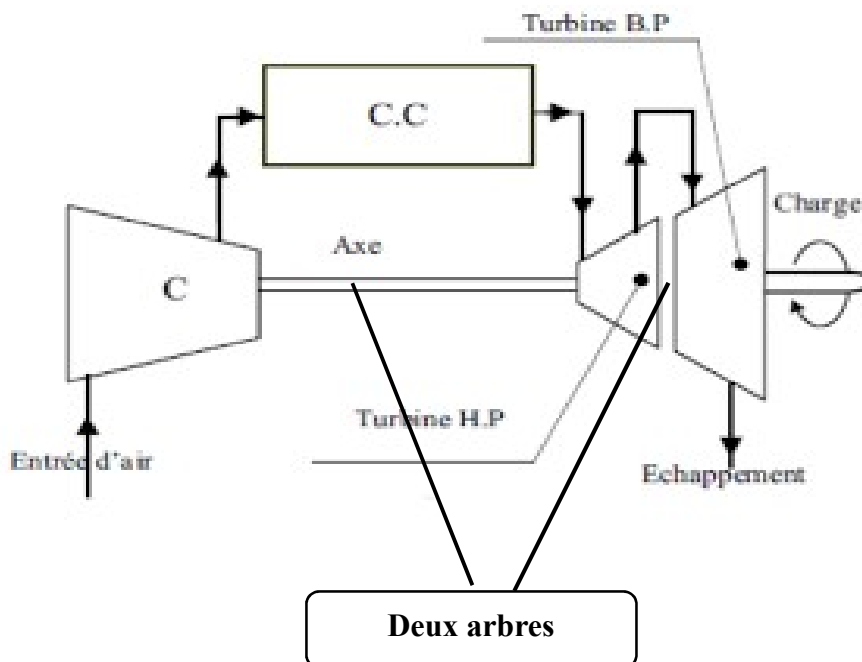


Figure 3.8 : Le deuxième type est la turbine à deux arbres bi-arbre

1.5.2. Par le mode de travail :

Il existe deux types :

- Turbine à action : Ici l'énergie thermique est complètement convertie en énergie cinétique au niveau de la directrice. Les gaz évoluent dans la roue sans changer la pression statique $P_1 > P_2 = P_3$.
- Turbine à réaction : Ici une partie de l'énergie thermique est convertie en énergie cinétique et mécanique au niveau de la roue, les gaz sont évolués dans la roue avec changement de la pression statique $P_1 > P_2 > P_3$. Le taux de réaction e caractérise le % d'énergie thermique totale.

1.5.3. Par le mode de fonctionnement :

Il existe trois cycles :

- Turbine à gaz cycle fermé : Le même fluide est utilisé après chaque cycle.

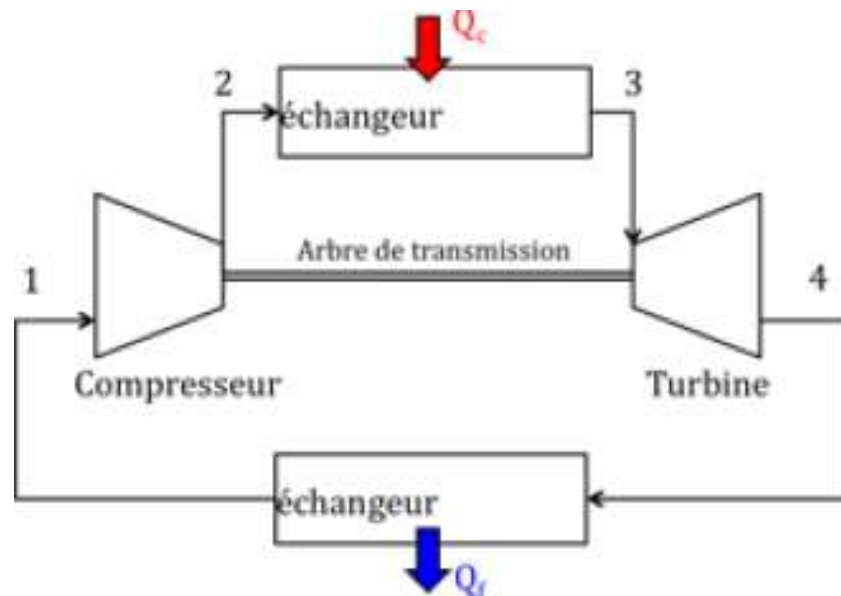


Figure 3.9 : Turbine à gaz cycle fermé

➤ Turbine à gaz cycle ouvert : Ce type de turbine est le plus répandu. Il possède l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère, ce type est divisé par deux classes :

- Turbine à cycle simple : C'est une turbine qui produit de l'énergie mécanique à l'aide d'un seul fluide, après détente, les gaz contiennent encore de l'énergie qui est perdue dans l'atmosphère par l'échappement.

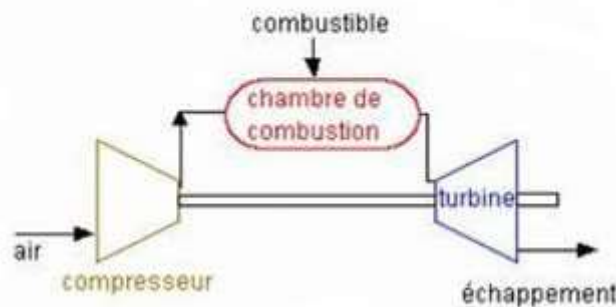


Figure 3.10 : Turbine à cycle simple

- Turbine à cycle régénéré : C'est une turbine à cycle thermodynamique dont la fabrication intervient plusieurs fluides moteurs pour augmenter le rendement de l'installation, de nos jours, les turbines à gaz sont largement utilisées, notamment dans le domaine des hydrocarbures, en raison de leur grande puissance et leurs propres avantages.

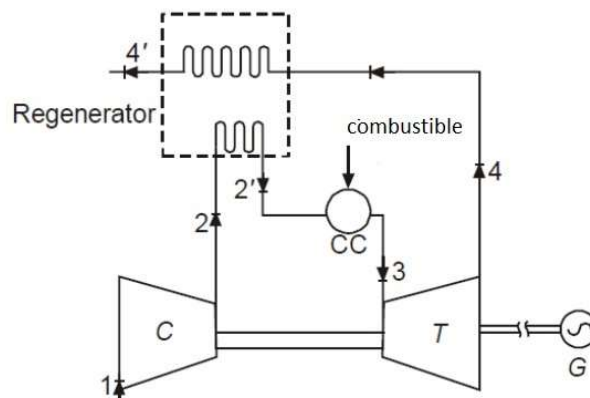


Figure 3.11 : Turbine à cycle régénéré

- Turbine à gaz cycle combine (mixte) : Le principe d'un cycle combiné consiste à faire fonctionner en cascade une ou plusieurs turbines à gaz, suivies d'une centrale à vapeur dont la source chaude est la source froide des turbines à gaz. Dans ces conditions, les gaz d'échappement de la turbine à gaz sont valorisés dans une chaudière de récupération où l'on produit de la vapeur qui est ensuite détendue dans une turbine. Le cycle combiné ainsi obtenu est un mariage particulièrement réussi dans la recherche de l'amélioration du rendement thermique : avec les matériels disponibles.

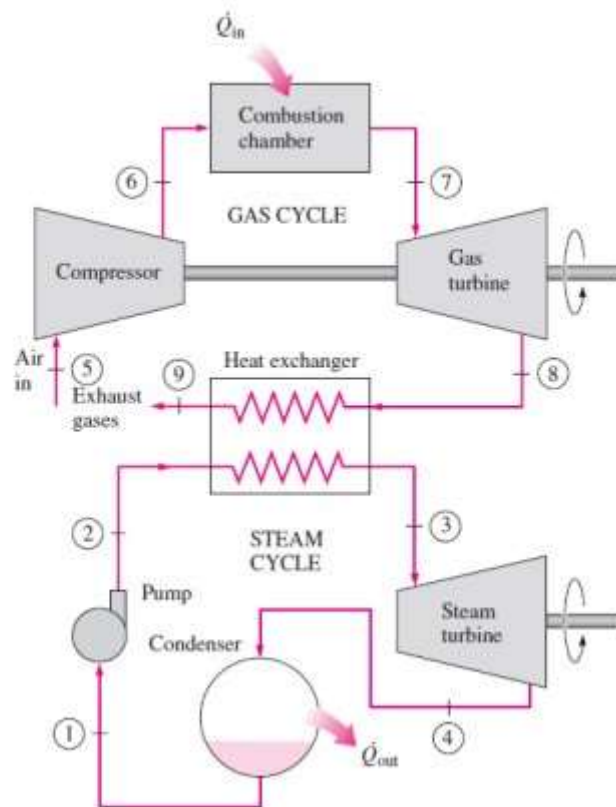


Figure 3.12 : Turbine à gaz cycle combine (mixte)

1.6. Fonctionnement de la turbine à gaz :

La turbine à gaz est une machine qui compte sur l'Énergie cinétique d'un fluide pour tourner l'arbre de transmission. La turbine à gaz a pour principe de la détente d'un fluide dans la turbine résultant de la combustion de l'air comprimé dans son propre compresseur avec le combustible (gaz) au niveau de la chambre de combustion donc :

- Elle aspire l'air de l'environnement.
- Elle le comprime l'air à plus haute pression.
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en le burlant avec le combustible dans la chambre de combustion de la turbine.
- Elle transfère l'air à haute pression et température à la section de la turbine ensuite l'énergie thermique sera convertie en énergie mécanique, cela permet de faire tourner l'arbre, cela sert à fournir l'énergie nécessaires à la machine conduite couplé avec la machine grâce à un accouplement et de d'autre part, fournir l'énergie pour comprimer l'air dans le compresseur qui est directement relié à la section turbine.
- Elle émet les gaz à pression faible et températures résultantes à l'atmosphère.

1.7. Théorie de la turbine à gaz :

1.7.1. Cycle de base (cycle de Brayton) :

Cycle de base de la turbine à gaz est appelé cycle de Brayton. Il comprend les phases suivantes :

Compression (1-2) : L'air est comprimé par le compresseur.

Alimentation de la chaleur (2-3) : Le combustible est injecté et brûlé avec l'air comprimé.

Détente (3-4) : Les gaz chauds sont détendus par la turbine, produisant du travail utile.

Le cycle de Brayton théorique est le cycle idéal correspondant à la turbine à gaz élémentaire, la turbine à gaz à cycle ouvert utilisant une combustion interne et la turbine à gaz à cycle fermé utilisant un Échangeur de chaleur sont schématisées.

Les transformations thermodynamiques qui ont lieu au cours du cycle de Brayton sont les suivantes :

(1-2) Compression adiabatique dans le compresseur.

(2-3) La chaleur constante q_{in} est reçue à pression dans la chambre de combustion.

(3-4) Détente Adiabatique (travail produit par le fluide) la turbine.

(4-1) Rejet de la chaleur q_{out} à pression constante dans l'atmosphère.

➤ Le cycle de Baryton est illustré par les diagrammes P-v et T-s de la figure ci-contre :

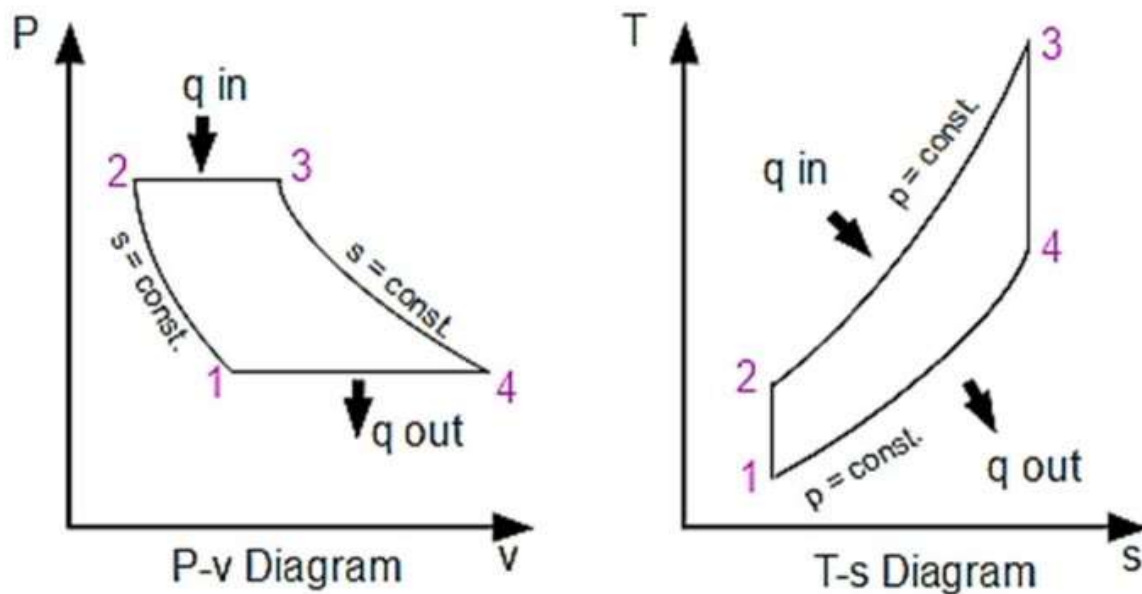


Figure 3.13 : Le cycle de Brayton est illustré par les diagrammes P-v et T-s

1.7.2. Equation de base :

➤ Etude thermodynamique :

$$\eta = \frac{|w_{net}|}{q_{in}} = \frac{q_{in} + q_{out}}{q_{in}} = 1 + \frac{q_{out}}{q_{in}}$$

La chaleur reçue à pression constante $q_{in} = c_p(T_3 - T_2)$

La chaleur perdue à pression constante $q_{out} = c_p(T_1 - T_4)$

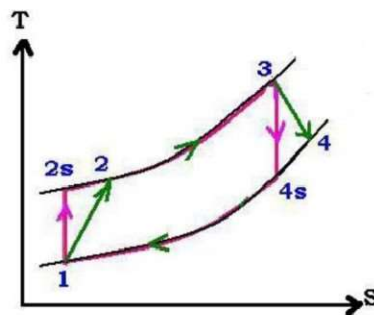
Par conséquent $\eta = 1 + \frac{c_p(T_1 - T_4)}{c_p(T_3 - T_2)}$; donc $\eta = 1 + \frac{T_1(1 - \frac{T_4}{T_1})}{T_2(\frac{T_3}{T_2} - 1)}$

Pour le processus adiabatique 1-2 et 3-4 :

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \text{ et } \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \text{ comme } P_2 = P_3 \text{ et } P_1 = P_4 \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \text{ et } \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}$$

Par conséquent $\eta = 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$ avec $r = \frac{P_2}{P_1}$

- En conclusion le rendement du cycle de Brayton Théorique est par conséquent une fonction du rapport de pression isentropique.
- Le cycle de la turbine à gaz réelle s'écarte du cycle idéal tant par l'irréversibilité dans le compresseur et dans la turbine que par la chute de pression dans les canaux d'écoulement et dans la chambre de combustion (échangeur pour un cycle fermé). La représentation du cycle au moyen des coordonnées T-S est comme suit :



Cycle réel de Brayton

Figure 3.14 : Cycle théorique et réel de la turbine à gaz (cycle de brayton)

- Les rendements du compresseur et de la turbine sont déterminés par rapport aux évolutions isentropiques. Pour les états représentés ci-dessus, on définit ces rendements comme suit :
- Le rendement du compresseur

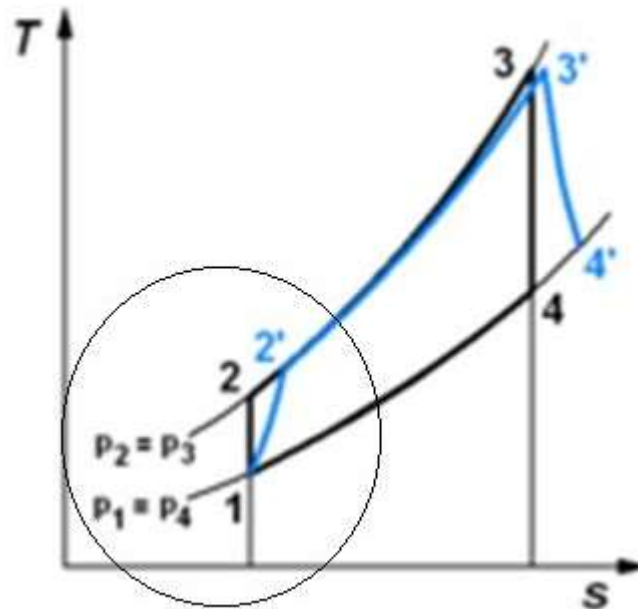


Figure 3.15 : Cycle réel de la turbine à gaz point 1-2-2' (cycle de brayton)

$$\eta_c = \frac{H_2 - H_1}{H_{2'} - H_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1}$$

- Le rendement de la turbine

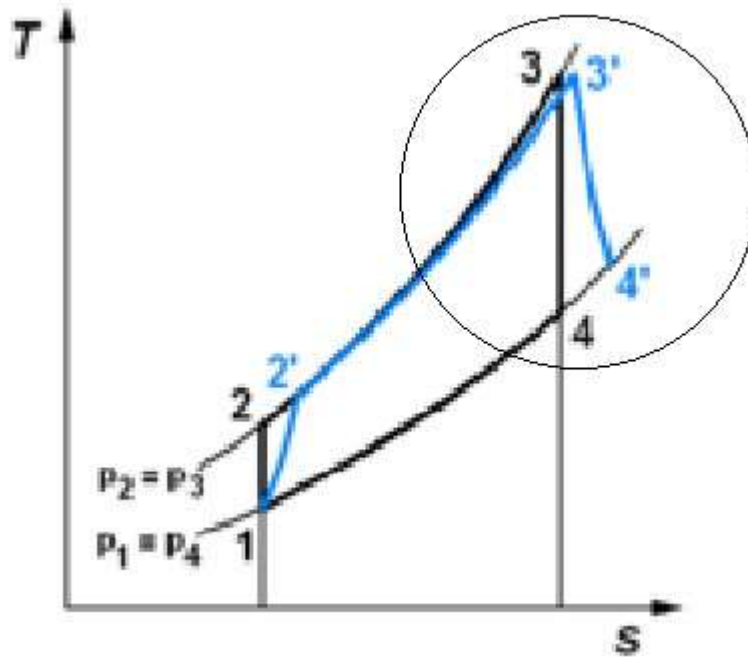


Figure 3.16 : Cycle réel de la turbine à gaz point 3-4-4' (cycle de brayton)

$$\eta_T = \frac{H_3 - H_{4'}}{H_3 - H_4} = \frac{T_3 - T_{4'}}{T_3 - T_4}$$

Alors :

$$\eta_{comp} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \text{ et } \eta_{tub} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

Chapitre 04. Calcule énergétique de la turbine à gaz MS6001B

Problématique :

Les turbines à gaz sont conçues à partir de condition ambiante bien précises (condition ISO) à savoir une température ambiante de 15°C, une pression relative à 1,013 bar, et une altitude de 0 mètre. En exploitation ces condition ne sont pas toujours réunies puisqu'elles dépendent des conditions météorologiques variables d'un jour à l'autre et d'une région à l'autre (climat sec, humide, aride, chaud).

A cet effet, les performances de la même turbine à gaz ne sont pas constantes et varient au cours de l'année. Le cycle d'une turbine à gaz est un cycle très souple de sorte que ses paramètres de performance puissent être améliorés, ce travail concernera l'étude de plusieurs paramètres tels que la température ambiante, et pression atmosphérique et l'humidité du climat sur les performances de turbines à gaz MS6001B.

4.1. Puissance de la turbine à gaz MS6001b :

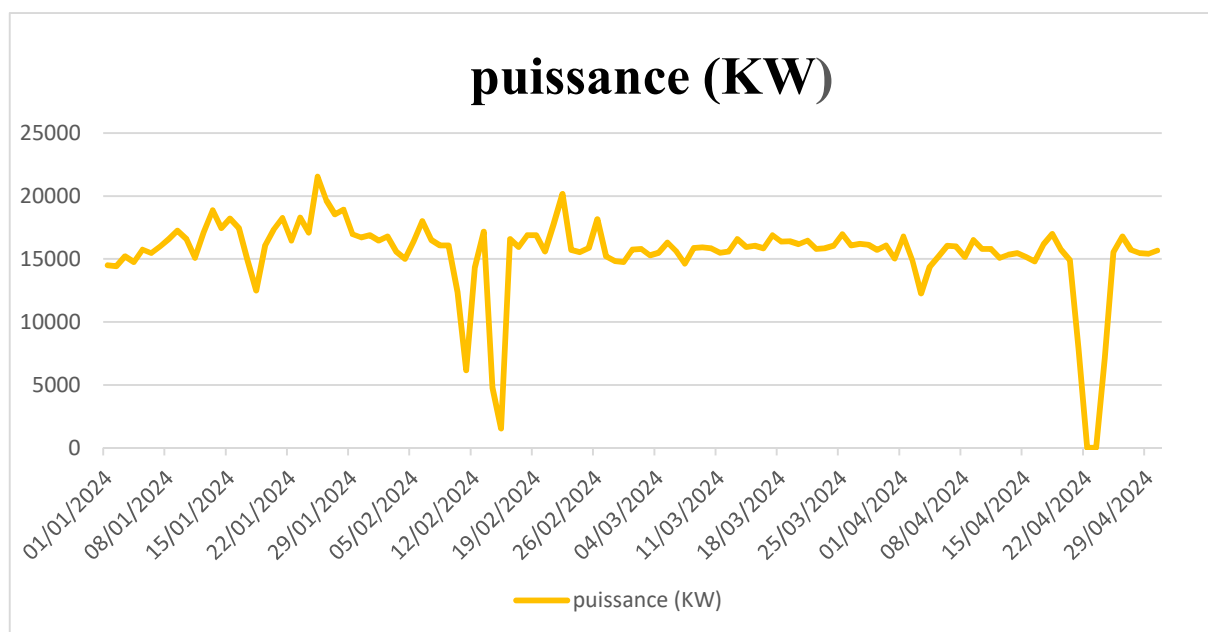


Figure 4.1 : Relevés des mesures de puissance de la turbine à gaz MS6001B sur site au cours du 1er trimestre 2024

Date	Puissance (KW)
01/01/2024	14500
02/01/2024	14417
03/01/2024	15208
04/01/2024	14750
05/01/2024	15750
06/01/2024	15458
07/01/2024	16000
08/01/2024	16583
09/01/2024	17250
10/01/2024	16583
11/01/2024	15083
12/01/2024	17083
13/01/2024	18875
14/01/2024	17458
15/01/2024	18208
16/01/2024	17458
17/01/2024	14875
18/01/2024	12500

19/01/2024	16083
20/01/2024	17333
21/01/2024	18250
22/01/2024	16458
23/01/2024	18292
24/01/2024	17083
25/01/2024	21542
26/01/2024	19667
27/01/2024	18542
28/01/2024	18917
29/01/2024	16958
30/01/2024	16708
31/01/2024	16875
01/02/2024	16458
02/02/2024	16792
03/02/2024	15583
04/02/2024	15000
05/02/2024	16417
06/02/2024	18000
07/02/2024	16500
08/02/2024	16083
09/02/2024	16083
10/02/2024	12375
11/02/2024	6167
12/02/2024	14333
13/02/2024	17167
14/02/2024	4792
15/02/2024	1542
16/02/2024	16583
17/02/2024	15958
18/02/2024	16875
19/02/2024	16875
20/02/2024	15583
21/02/2024	17750
22/02/2024	20167
23/02/2024	15708
24/02/2024	15542
25/02/2024	15875
26/02/2024	18167
27/02/2024	15208
28/02/2024	14833
29/02/2024	14750
01/03/2024	15750
02/03/2024	15792
03/03/2024	15292

04/03/2024	15500
05/03/2024	16292
06/03/2024	15625
07/03/2024	14625
08/03/2024	15875
09/03/2024	15917
10/03/2024	15833
11/03/2024	15500
12/03/2024	15583
13/03/2024	16583
14/03/2024	15958
15/03/2024	16042
16/03/2024	15833
17/03/2024	16875
18/03/2024	16375
19/03/2024	16417
20/03/2024	16167
21/03/2024	16458
22/03/2024	15792
23/03/2024	15833
24/03/2024	16042
25/03/2024	16958
26/03/2024	16083
27/03/2024	16208
28/03/2024	16125
29/03/2024	15708
30/03/2024	16083
31/03/2024	15042
01/04/2024	16792
02/04/2024	14875
03/04/2024	12250
04/04/2024	14375
05/04/2024	15208
06/04/2024	16042
07/04/2024	16000
08/04/2024	15167
09/04/2024	16500
10/04/2024	15792
11/04/2024	15792
12/04/2024	15083
13/04/2024	15333
14/04/2024	15458
15/04/2024	15167
16/04/2024	14792
17/04/2024	16167

18/04/2024	17000
19/04/2024	15750
20/04/2024	14917
21/04/2024	7875
22/04/2024	0
23/04/2024	0
24/04/2024	7125
25/04/2024	15542
Puissance moyenne [Kw]	
15422,5 Kw (15.4 [Mw])	

Tableau 4.1 : Relevés des mesures de puissance de la turbine à gaz MS6001B sur site au cours du 1er trimestre 2024

Cette courbe représente Relevés des mesures de puissance de la turbine à gaz MS6001B sur site au cours du 1er trimestre 2024.

Nous remarquons que la turbine utilise la moitié de sa puissance presque tous les jours, et il y a des pics supérieurs et inférieurs pour cette courbe, c'est-à-dire que dans les premiers jours de l'année, la turbine fonctionnait en moyenne à 15 Mw, et fin janvier, nous constatons une augmentation significative, puisque sa production atteint 21,5 Mw. Puis sa production a progressivement diminué jusqu'à la moyenne, et on remarque en février au début du mois sa production a sensiblement diminué à 6 Mw, nettement en dessous de la moyenne, puis elle a augmenté jusqu'à la moyenne, puis elle a diminué, et 5 jours entre les deux. Elle a diminué jusqu'à 1,5 Mw. Nous concluons qu'il s'agissait d'une turbine qui n'était pas utilisée, après quoi les autres jours, elle était en moyenne. Mais on constate que la turbine s'est arrêtée au mois d'avril les 22 et 23, ce qui veut dire qu'on voit sur la courbe que la puissance de la turbine était de 00 Mw pour maintenance ou arrêt d'urgence.

4.2 Calcule énergétique de la turbine à gaz MS6001B

- Dans le cas de l'air ambiant idéal 16°C qui entre dans le compresseur et les paramètres mesuré de la turbine à gaz à $P_1 = 1.026 \text{ bar}$ (102.6 Kpa) avec le débit $\dot{m}=2.79 \text{ Kg/s}$

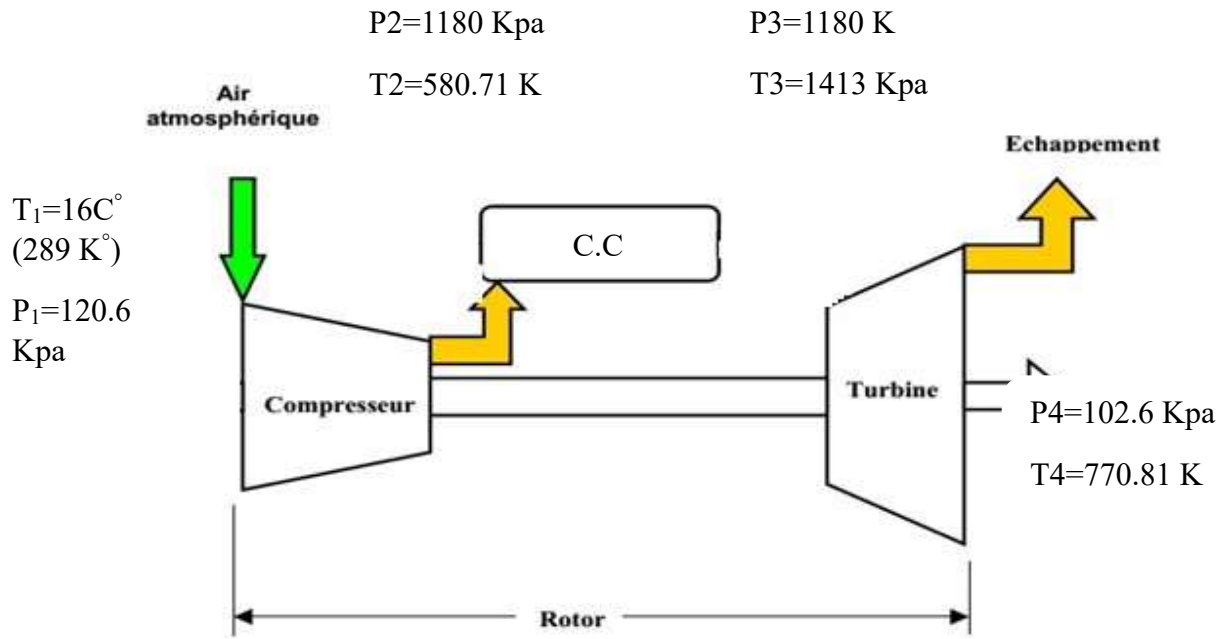


Figure 4.2 : schéma de la turbine à gaz MS6001B et caractéristique du $(T [\text{K}^{\circ}], P [\text{Kpa}])$
 Dans le cas de l'air ambiant idéal 16°C qui entre dans le compresseur

4.2.3 calcule les températures dans le cas de l'air ambiant idéal 16°C de l'air ambiante

	Froid (air) avant la chambre de Combustion	Chaud (air + combustible) Après la chambre de combustion
Indice adiabatique	$\gamma = 1.4$	$\gamma' = 1.33$
Chaleur Spécifique (KJ/Kg.K°)	$C_p = 1.005$	$C_p' = 1.13$

Tableau 4.2: caractéristique du (C_p [KJ/Kg. K], γ) avant la chambre de Combustion et après la chambre de combustion

$$T1 = 16^\circ\text{C} \text{ (289 K)}$$

$$T1 P1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T2 P2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T2 = T1 \left(\frac{P1}{P2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T2 = 289 \left(\frac{102.6}{1180} \right)^{\frac{1-1.4}{1.4}}$$

$$T2 = 580.71 \text{ K}$$

$$T3 P3^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T4 P4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T3 = 1413 \text{ K}$$

$$T4 = T3 \left(\frac{P3}{P4} \right)^{\frac{1-\gamma'}{\gamma'}}$$

$$T4 = 1413 \left(\frac{1180}{102.6} \right)^{\frac{1-1.33}{1.33}}$$

$$T4 = 770.81 \text{ K}$$

4.2.4 calcule les pressions dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° de l'air ambiante

$$P1 = P4 = 102.6 \text{ Kpa}$$

$$P2 = P3 = 1180 \text{ Kpa}$$

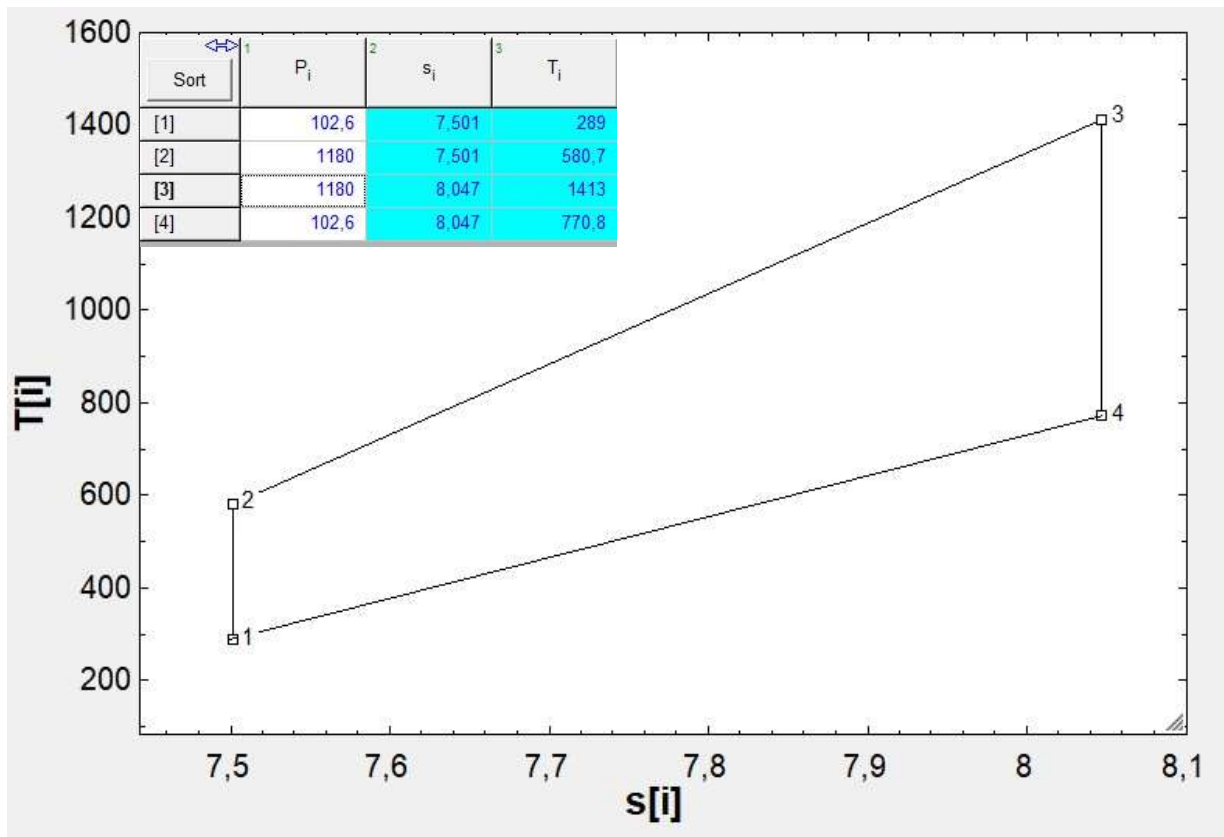


Figure 4.3 : Le cycle de Baryton est illustré par le diagramme de (T-S) dans le cas de l'air ambiant idéal 16C° de l'air ambiante par le programme EES

T ₁ [C°]	T ₁ [K]	P ₁ =P ₄ [Kpa]	T ₂ [K]	T ₃ [K]	P ₂ =P ₃ [Kpa]	T ₄ [K]
4	277	102.6	559.28	1413	1200	767.61
8	281	102.6	567.36	1413	1200	767.61
11	284	102.6	570.67	1413	1180	770.81
16	289	102.6	580.71	1413	1180	770.81
20	293	102.6	588.95	1413	1140	777.44
22	295	102.6	585.48	1413	1130	779.14
26	299	102.6	588.88	1413	1100	782.60
27	300	102.6	589.31	1413	1090	786.14
32	305	102.6	595.97	1413	1070	789.76
35	308	102.6	598.59	1413	1050	793.50
39	312	102.6	604.71	1413	1040	795.35
41	314	102.6	605.22	1413	1020	799.19

Tableau 4.3: caractéristique du (T [K], P [Kpa]) dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur

4.2.5. La chaleur reçue à pression constante (chambre de combustion)

$$q_{in} = C_p(T_3 - T_2)$$

A.N

$$q_{in} = 1.005(1413 - 580.71)$$

$$q_{in} = \mathbf{836.451 \text{ [KJ/Kg]}}$$

4.2.6. La chaleur perdue à pression constante (échappement)

$$q_{out} = C_p'(T_1 - T_4)$$

A.N

$$q_{out} = 1.13(289 - 770.81)$$

$$q_{out} = \mathbf{-544.445 \text{ [KJ/Kg]}}$$

4.2.7. Travail du compresseur

$$W_c = C_p(T_2 - T_1)$$

A.N

$$W_c = 1.005(580.71 - 289)$$

$$W_c = 293.168 \text{ [KJ/Kg]}$$

4.2.8. Travail de la turbine

$$W_t = C_p'(T_4 - T_3)$$

A.N

$$W_t = 1.13(770.81 - 1413)$$

$$W_t = -725.674 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$|W_T| = 725.674 \text{ [KJ/Kg]}$$

4.2.9. Travail de la turbine libre

$$W_{TL} = W_{net} - W_t$$

A.N

$$W_{TL} = 292.006 + (-725.674)$$

$$W_{TL} = -423.668$$

$$|W_{TL}| = 423.668 \text{ [KJ/Kg]}$$

4.2.10. Le rendement

$$\eta = \frac{|W_{net}|}{q_{in}}$$

$$W_{net} = q_{in} + q_{out}$$

A.N

$$W_{net} = 836.451 + (-544.445)$$

$$W_{net} = 292.006 \text{ [KJ/Kg]}$$

Donc :

$$\eta = \frac{292.006}{836.451}$$

$$\eta = 0.34$$

$$\eta = 34.9\%$$

T[C°]	T ₁ [K]	T ₂ [K]	T ₃ [K]	T ₄ [K]	q _{in} [KJ/Kg]	q _{out} [KJ/Kg]	W _c [KJ/Kg]	W _t [KJ/Kg]	W _{net} [KJ/Kg]	η %
4	277	559.28	1413	767.61	857.98	-554.389	283.691	-729.290	303.591	35.38
8	281	567.36	1413	767.61	849.86	-549.869	287.791	-729.290	299.991	35.29
11	284	570.67	1413	770.81	846.54	-550.095	288.103	-725.674	296.445	35.01
16	289	580.71	1413	770.81	836.451	-544.445	293.168	-725.674	292.006	34.9
20	293	582.98	1413	777.44	834.17	-547.417	291.429	-718.182	286.753	34.37
22	295	585.48	1413	779.14	831.65	-547.078	291.932	-716.261	284.572	34.21
26	299	588.88	1413	782.60	828.24	-546.468	291.329	-712.352	281.772	34.02
27	300	589.31	1413	786.14	827.80	-549.338	290.756	-708.351	278.462	33.63
32	305	595.97	1413	789.76	821.11	-547.778	292.274	-704.261	273.332	33.28
35	308	598.59	1413	793.50	818.48	-548.615	292.042	-700.035	269.865	32.97
39	312	604.71	1413	795.35	812.33	-546.185	294.173	-697.944	266.145	32.76
41	314	605.22	1413	799.19	811.81	-548.264	292.676	-693.605	263.546	32.46

Tableau 4.4 : caractéristique du (T [K], q_{in} [KJ/Kg], q_{out} [KJ/Kg], W_c[KJ/Kg] , W_t[KJ/Kg], η[%]) dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur.

T[C°]	W _{TL} [KJ/Kg]
4	-425.699
8	-429.299
11	-429.299
16	-423.668
20	-431.429
22	-431.689
26	-430.58
27	-429.889
32	-430.929
35	-430.17
39	-431.799
41	-430.059

Tableau 4.5: caractéristique du (W_{TL} [KJ/Kg])dans plusieurs cas de l'air ambiant qui entre dans le compresseur.

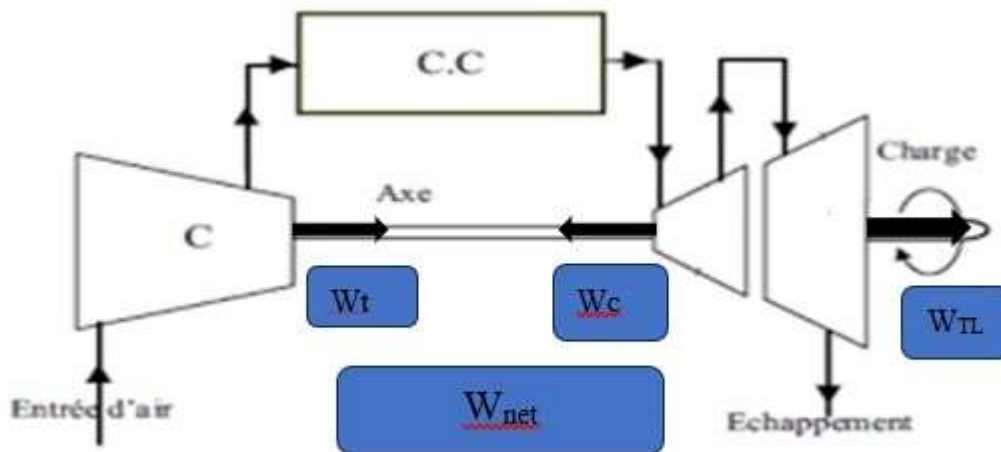


Figure4.4 : schéma qui définit WTL

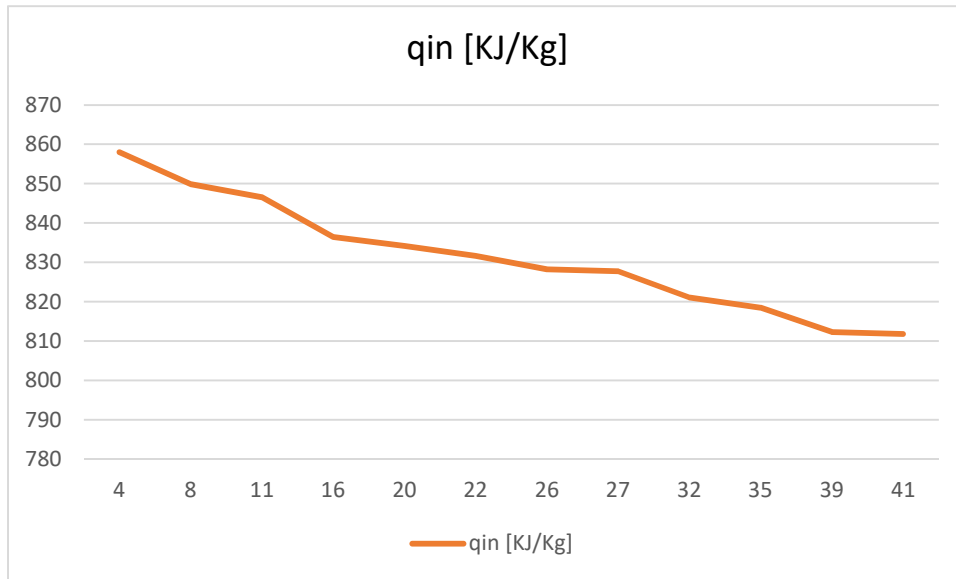


Figure 4.5 : diagramme de q_{in} qui définit le tableau 4.4

La courbe représente diagramme de q_{in} qui définit la quantité de chaleur qui entre du compresseur

Où l'on remarque que la quantité de chaleur entrant q_{in} dans le compresseur diminue progressivement lorsque la température de l'air augmente, c'est-à-dire qu'à 4 C°, la quantité de chaleur dans le compresseur est supérieure, où elle était de 857,98 [KJ/Kg] à son degré à la température de l'air ambiant idéal 16C°, où elle était de 836,451 [KJ/Kg] et elle reste dans une diminution continue significative à mesure qu'elle atteint à une température de 41 C°, la quantité de chaleur q_{in} a atteint 811,81 [KJ/Kg] Autrement dit, nous concluons que lorsque la température de l'air est plus basse, la quantité de chaleur pénètre dans le compresseur et se comprime mieux que lorsque la température de l'air est plus chaude.

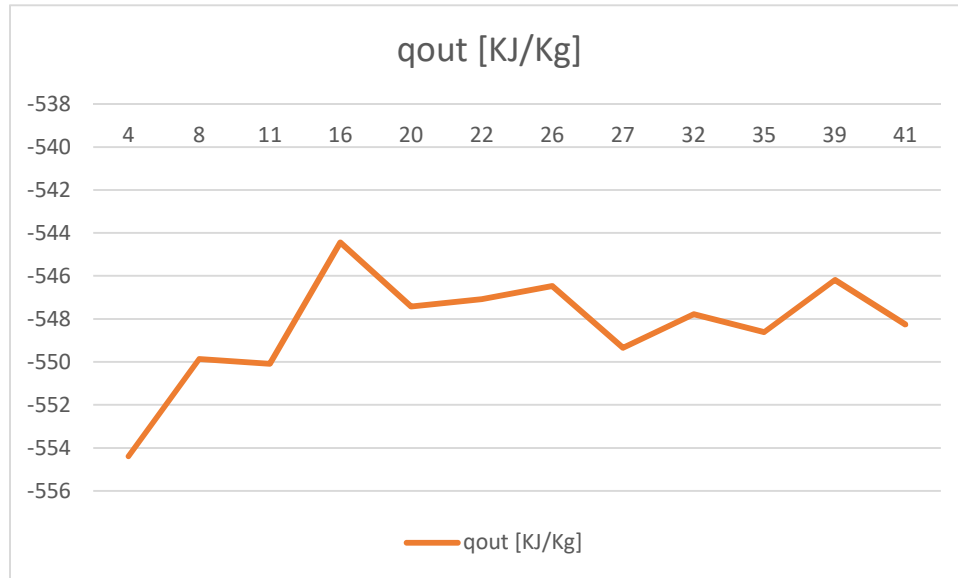


Figure 4.6 : diagramme de q_{out} qui définit le tableau 4.4

La courbe représente diagramme de q_{out} qui définit la quantité de chaleur qui sortant de la turbine.

Là où l'on remarque l'inverse dans la courbe q_{out} , c'est-à-dire à des températures plus basses, la quantité de chaleur sortant de la turbine est plus grande lorsque la température de l'air est plus élevée. On remarque qu'à la température $4C^{\circ}$, la quantité de chaleur sortant de la turbine. La turbine était de $-554.389 [KJ/Kg]$. Nous voyons sur la courbe que le pic le plus élevé était à $16 C^{\circ}$, c'est-à-dire à une température de l'air modérée, où la quantité de chaleur était de $-544,445 [KJ/Kg]$. Ensuite, il a commencé à descendre, et à des températures de l'air supérieures à $16C^{\circ}$, il y avait des pics dans la courbe qui n'étaient pas comme ceux à la température $16C^{\circ}$, et à la température $41C^{\circ}$, la quantité de chaleur produite perdue par la turbine a atteint $-548,264 [KJ/Kg]$.

Autrement dit, nous concluons que si la température de l'atmosphère était plus basse, la quantité de chaleur perdue dans la turbine est opposée à la quantité de chaleur gagnée dans le compresseur.

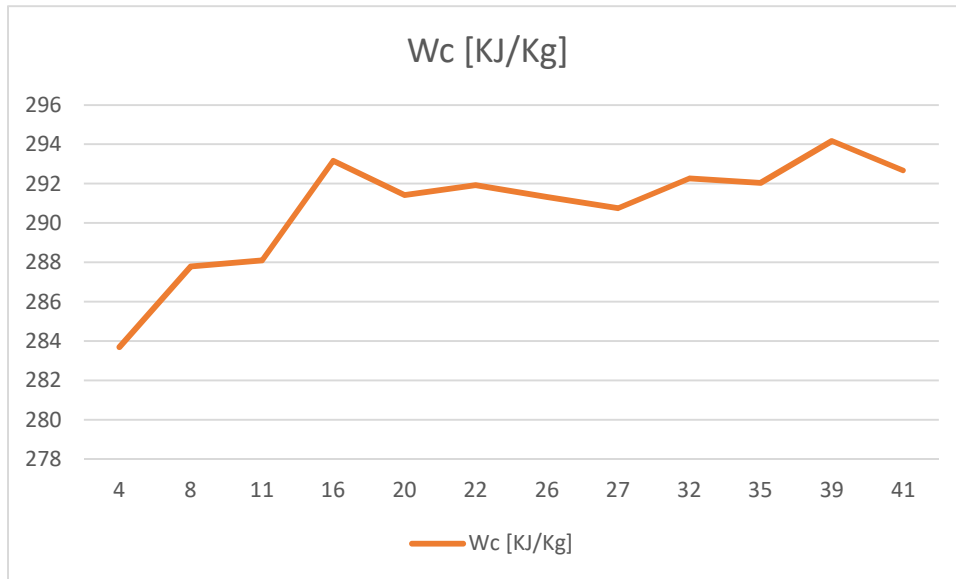


Figure 4.7 : diagramme de W_c qui définit le tableau 4.4

Cette courbe représente diagramme de W_c qui définit le travail du compresseur

Nous remarquons que le travail du compresseur augmente à mesure que la température de l'air augmente, c'est-à-dire que le travail du compresseur davantage lorsque la température de l'air augmente, car à une température de 4 C°, le travail du compresseur était de

283,691 [KJ/Kg], et à une température modérée.

Température de 16 C°, le travail du compresseur était de 293,168 [KJ/Kg], ce qui est le plus élevé.

C'est-à-dire qu'il a augmenté de manière significative, et ainsi de suite jusqu'à atteindre 41C°, le fonctionnement du compresseur était de 292,676 [KJ/Kg]. C'est-à-dire que nous concluons que plus la température de l'air est élevée, plus le travail compresseur, et moins de travail, moins le compresseur fonctionnera.

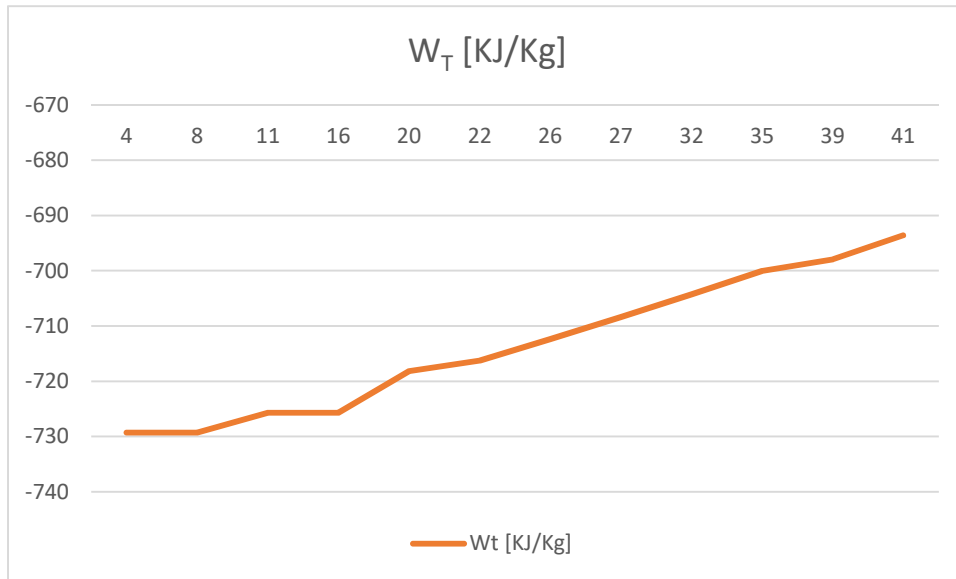


Figure 4.8 : diagramme de W_T qui définit le tableau 4.4

Cette courbe représente diagramme de W_T qui définit le travail de la turbine.

Nous remarquons que le travail de la turbine est d'autant plus grand que la température de l'air augmente, c'est-à-dire qu'il augmente à mesure que la température de l'air augmente $4C^\circ$, le travail de la turbine était de $-729,29$ [KJ/Kg]. À une température de l'air de $41C^\circ$, le travail de la turbine était de $-693,605$ [KJ/Kg], Autrement dit,

Nous concluons que plus la température de l'air est élevée, plus la turbine fonctionnera

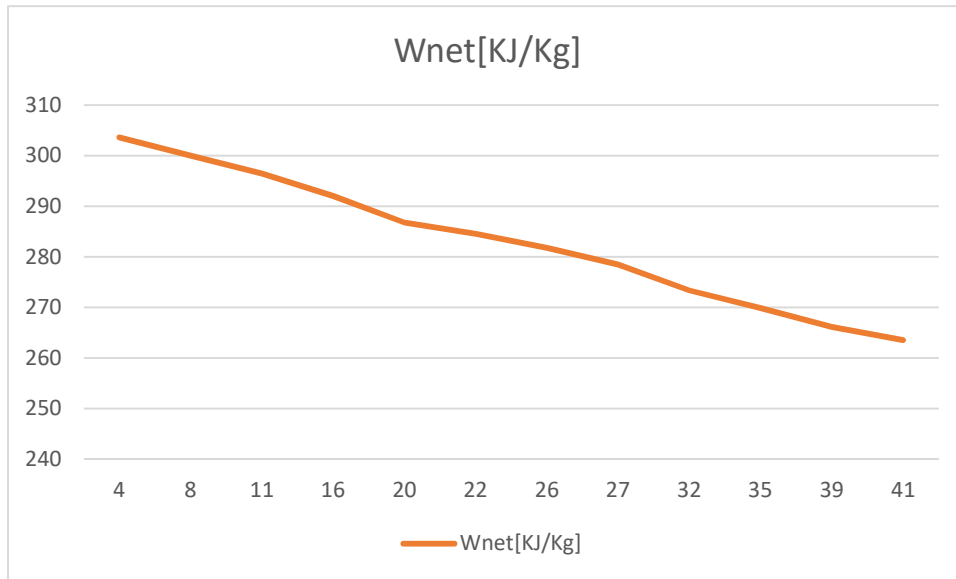


Figure 4.9 : diagramme de W_{net} qui définit le tableau 4.4

Cette courbe représente diagramme de W_{net} qui définit différence entre le travail du compresseur et le travail de la turbine

Nous remarquons que W_{net} diminue progressivement à mesure que la température de l'air augmente, c'est-à-dire qu'à une température de l'air de $4C^{\circ}$, W_{net} était de $303,591[KJ/Kg]$. Supérieurs à son travail à une température de l'air de $41C^{\circ}$, qui était de $263,546 [KJ/Kg]$. Autrement dit, le travail net diminue à mesure que la température de l'air augmente.

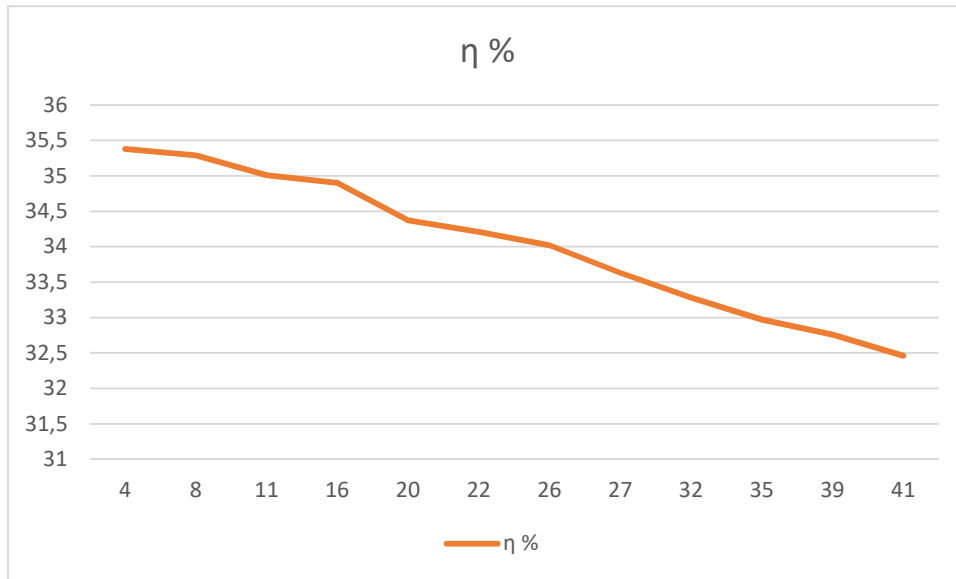


Figure 4.10 : diagramme de η % qui définit le tableau 4.4

Cette courbe représente le diagramme de η % qui définit le rendement de la turbine MS6001B

Nous remarquons que le rendement de la turbine diminue progressivement avec l'augmentation de la température de l'air, c'est-à-dire qu'à une température de l'air plus froide 4°C, le rendement était de 35,38 %, et à une température de l'air plus chaude 41°C, le rendement de la turbine était de 32,46 %, c'est-à-dire qu'il a diminué de manière significative.

Autrement dit, nous concluons que plus la température de l'air est basse, plus le rendement de la turbine est élevé, et plus la température de l'air est élevée, plus le rendement de la turbine est faible.

Conclusion générale.

Notre formation pratique a été réalisée dans le cadre de la mise en situation professionnelle au niveau de la Raffinerie d'Algérie (Raffinerie Baraki Sonatrach), ce qui nous a permis d'enrichir nos connaissances déjà acquises, d'intégrer la théorie à la pratique et de découvrir les différents équipements des unités, à savoir le gaz. Turbines et récupérer les données informations que nous avons utilisées pour réaliser nos analyses et calculs.

Lorsque la température d'entrée du compresseur diminue avec un débit volumique constant, le débit massique augmentera, ce qui affecte directement l'augmentation de la puissance produite ainsi que l'efficacité thermique, la pression, le rendement et le travail de la turbine et le travail de compresseur, de sorte que les conditions environnementales ont un impact direct sur les performances des installations de turbines à gaz.

Référence bibliographie

N°	Les sources
[1]	http://fr.wikipedia.org/wiki/Innovation en Europe .
[2]	GE Energy Products – USA MS6001B
[3]	Technique de l'ingénieur turbomachine (Mise en œuvre des turbines à gaz dans l'industrie).
[5]	http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine .
[6]	Amélioration de la performance d'une installation de turbine a gaz par refroidissement de l'air d'admission (Babari Sliman).
[7]	Heavy-Duty Gas Turbine David Balevic Steven Hartman Ross Youmans GE Energy.
[8]	Handbook of Turbomachinery Arizona State University, Tempe, Arizona, U.S.A. Selection of a Gas Turbine Cooling System Boris Glezer Optimized Turbine Solutions , San Diego, California, U.S.A.
[9]	Triangles des vitesses pour un écoulement axial Conception et fonctionnement par Michel VINCENT DE PAUL Ingénieur de l'École centrale de Paris.
[10]	Turbines à gaz par Max GIRAUD Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace et Joël SILET Ingénieur de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs en Constructions Aéronautiques.

