

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



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE
BLIDA 1 FACULTE DE
TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE
MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Installation Energétique 1et
Turbomachine.

Thème

**Effet de la température ambiante sur les performances de
la turbine à gaz de type V94.2 de SPE de L'arbaa**

Encadré par :

Mr : M.Said

Réalisée par

Boulfefel Sanaa

Année universitaire 2020/2021.

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu d'avoir donnée le courage, la santé et la patience pour pouvoir accomplir ce travail.

Je remercie s'adressent à mon promoteur, Dr, SAID MOHAMED qu'Il acceptant de m'encadre pour la réalisation de ce travail.

Aux membres du jury, pour avoir d'accepter de siéger dans ce jury et d'examiner ce mémoire.

Je remercie plus vivement tout l'équipe de l'unité

« SPE » à qui nous devons tous nos respects et notre parfaite considération et nous en garderons une mémoire impeccable et un souvenir inoubliable.



Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je
dédie mon travail*

A ma Mère,

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

*Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la
reconnaissance que je te porte.*

*En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes
sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée ».*

Sanaa



الملخص :

شهدت التوربينات الغازية في السنوات الأخيرة تطورا سريعا واستعمالا واسعا في الميدان الصناعي الخاص بالمنشآت الطاقوية الكبرى (المحروقات، إنتاج الطاقة الكهربائية، المحركات النفاثة... الخ) هذه الآلات جد حساسة للظروف المناخية، ونقصد بهذا درجة حرارة الهواء والرطوبة، بالإضافة إلى طرق استعمالها ومكان تواجدها. تؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى انخفاض كثافة الهواء، وهذا يقلل من شدة احتراق الوقود، كل هذه العوامل لها تأثير مباشر على المردود.

تعتمد الصناعات الطاقوية في الجزائر بشكل مباشر على التوربينات الغازية في المصانع و المنشآت البترولية وبما أن تحسين أداء هذه الآلات أصبح ضرورة حتمية، ارتأينا في دراستنا هذه إلى الدراسة الديناميكية الحرارية للتوربين الغازي . من خلال مقارنة أداء الطاقة تحت ظروف الموقع . كما سمحت لنا هذه الأطروحة بالتعرف على التربينات الغازية ودورها في إنتاج الطاقة .

الكلمات المفتاحية : التوربينات الغازية ، طاقة كهربائية ، ديناميكية حرارية .

Résumé :

Les turbines à gaz ont connu ces dernières années un rythme de développement accéléré dans l'industrie des hydrocarbures, la production d'énergie électrique, et les turboréacteurs...etc. Ces machines sont très sensibles aux conditions climatiques, c'est-à-dire, à la température de l'air ambiant et à l'humidité, en plus des méthodes de leur utilisation et de leur emplacement. Une température élevée conduit à une diminution de la densité de l'air, ce qui réduit l'intensité de la combustion ; tous ces facteurs ont un impact direct sur leur rendement.

Les industries énergétiques en Algérie dépendent directement des turbines à gaz dans les usines et les installations pétrolières, , nous avons envisagé dans cette étude la thermodynamique des turbines Gazeuses V94.2 en comparant les performances énergétiques dans les conditions du site.

La réalisation de cette thèse nous a permis d'acquérir des connaissances sur le rôle des turbines à gaz, dans leur production d'énergie.

Mots clés : turbines à gaz, énergie électrique, thermodynamique.

Abstract:

Gas turbines have experienced in recent years an accelerated pace of development in the hydrocarbon industry, production of electrical energy and jet engines... etc. These machines are very sensitive to climatic conditions, that is to say, the temperature of the ambient air and moisture, in addition to methods of their use and their location. A high temperature leads to a decrease in air density, which reduces the combustion intensity; all these factors have a direct impact on their performance.

The energy industries in Algeria depend directly on gas turbines in factories and oil facilities, and since improving the performance of these machines has become an imperative, in this study we made a calculation for the thermodynamics of gas turbines V94.2 by comparing the energy offers under site conditions

The realization of this thesis allowed us to acquire knowledge on the role of gas turbines in their energy production.

Keywords: gas turbines, electrical energy, thermodynamics.

Sommaire

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Nomenclature.

INTRODUCTION GENERALE 01

Chapitre1 : présentation de Sonelgaz et SPE L'arbaa

Introduction

1.1-Présentation de sonelgaz, du fournisseur de la turbine à gaz de L'arbaa.....02

1.2-Spe centrale de L'arbaa.....03

1.3- AnsaldoEnergia04

Conclusion.

Chapitre2 : Etude bibliographique sur les TAG

Introduction

2.1 -Définition de la turbine à gaz05

2.2 -Classification des turbines à gaz06

2.2.1- D'après de construction06

a) Turbine mono-arbre06

b) Turbine bi-arbre06

2.2.2- D'après le mode de travail07

a) Turbine à action07

b) Turbine à réaction07

2.2.3- D'après le mode de fonctionnement thermodynamique08

a) Turbine à gaz à cycle fermé.....08

b) Turbine à gaz à cycle ouvert.....08

c) Turbine à cycle simple.....08

d) Turbine à cycle régénéré.....08

2.3-Les Types de la turbine à gaz.....09

2.3.1-Système gazNatural.....09

a) Description du système.....09

b) Qualité du gaz naturel demandée par la Turbine à Gaz.....10

2.3.2- Système dugasoil.....11

a) Description du système.....11

2.4- Principe de fonctionnement.....12

2.5- Domaine d'application.....	12
2.5.1-Utilisation des turbines à gaz pour la propulsion	12
2.5.2-Production combinée chaleur-force.....	13
2.5.3-Production d'électricité.....	14
2.6 Avantages et inconvénients des turbines à gaz	14
2.6.1- Avantage	14
2.6.2-Inconvénients	15
Conclusion	

Chapitre 3: Description et fonctionnement de la turbine à gaz V94.2 de SPE L'arbaa

Introduction

3.1-Turbine V94.2.....	16
3.2-Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz V94.2	17
3.2.1-Concepts de base d'un cycle de turbine à gaz	17
3.3-Les parties principales de La turbine à gaz V94.2.....	19
3.3.1-Section compresseur	19
3.3.2-section de Chambre De Combustion.....	20
3.3.3- section de La turbine	23
3.4-Générateur.....	25
3.4.1-Les Caractéristiques Principales du Générateur	25
3.5- Les auxiliaire d'un groupe de turbine à gaz V94 .2	26
3.5.1-Système d'aspiration d'air.....	26
3.5. 2-Station d'air comprimé.....	27
3.5.3-Système gaz naturel.....	29
3.5.4-Système fuel.....	29
3.5.5-Stockage du combustible de secours.....	30
3.5.6-Station de production d'eau déminéralisée.....	30
3.5.7-Système de réfrigération NOURIA.....	31
3.5.8-Système D'huileHydraulique.....	32
3.5.9-Système Des Gaz D'Echappement	33
3.5.10- Systèmes de protection	34
a) Système de protection de dépassement de température	34
b) Système de protection et de détection des vibrations	34
c) Système de protection et de détection de flamme	34
d) Système de protection contre les pulsations au démarrage et à l'arrêt	34

3.5.11-Systèmes de contrôle	35
a) Système de contrôle du fuel	35
b) Système de contrôle de la température	36

Chapitre 4 : etude thermodynamique du la turbine à gaz V94.2

Introduction

4.1-Description et étude du cycle air gaz	37
a) Cycle idéal	37
b) Cycle réel	38
4.2-les données du constructeur	39
4.3-Etude théorique de la turbine TAG V94.2	41
4.3.1-Calculs des paramètres du compresseur.....	41
4.3.2- Calculs les paramètres de Chambre de combustion	44
4.3.3-Calculs des paramètres du turbine.....	45
4.3.4- Calculs des puissances	46
4.3.6- calcul de la consommation spécifique	47
4.3.5-Calcul des rendements	47
4.3.4- Influence de la température sur les travaux et les puissances	50

Conclusion

Conclusion Générale

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Caractéristique globale de la centrale TG L'arbaa.

Tableau 4.1 : les données de calcul.

Tableau 4.2 : résultat de calcul.

Liste des figures.

Figure 1.1 : emplacement géographique du central de L'arbaa.

Figure2.1 : la turbine à gaz.

Figure 2.2 : Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre.

Figure 2.3 : Schéma d'une turbine à gaz bi-arbre.

Figure 2.4 : Schéma d'une turbine à action et à réaction.

Figure 2.5 : Schéma de Principe de fonctionnement.

Figure 2.6: Utilisation des turbines à gaz dans l'avion.

Figure 2.7: Production combinée chaleur-force.

Figure3.1: Turbine à gaz type V94.2.

Figure3.2: Diagramme de Cycle de Brayton.

Figure 3.3: Cycle de turbine à gaz.

Figure3.4 : aubes statiques de Compresseur.

Figure 3.5 : aubes rotoriques de Compresseur.

Figures 3.6 : chambre de combustion.

Figure 3.7 : Dôme de la chambre à combustion.

Figures 3.8 : Aubes statiques de la turbine.

Figure 3.10 : les aubes rotoriques de la turbine.

Figure 3.11 : Générateur.

Figure 3.12: Système admission l'air.

Figure 3.13: station d'air comprimé.

Figure 3.14: poste de distribution du gaz principal.

Figure 3.15: station finale de fuel.

Figure 3.16: Stockage combustible.

Figure 3.17: Station de production d'eau déminéralisée.

Figure 3.18: système réfrigération NOURIA.

Figure 3.19: Système D'huile Hydraulique.

Figure 3.20 : cheminé.

Figure 3.21 : Diffuseur.

Figure 4.1: Diagramme de cycle thermodynamique de BRAYTON idéal.

Figure 3.2: Diagramme de cycle thermodynamique de BRAYTON (réelle).

Figure 4.2 : Schéma de résumant les étapes du calcule.

Figure 4.3 : schéma de la turbine.

Figure 4.4: Transformation sur un étage du compresseur.

Figure 4.5: schéma de chambre de la combustion.

Figure 4.6: Transformation sur l'étage de la turbine.

Figure 4.7: Transformation sur un étage de la turbine libre.

Figure 4.9 : variation de puissance chambre de la combustion de température

Nomenclatures

Symbol	Définition	Unité
p	La pression	bar
P	La puissance	Mw
τ	Le tax de compression	/
\dot{m}	Débit massique	kg/s
W	Le travail	kJ/kg
cp	Chaleur spécifique	kJ/kg
PCI	Le combustible gaz natural	kcal/m ³
γ	Coefficient poly tropique	/
T	Temperature	k
f	Rapport du mélange air-combustible	/
η	Rendement	%
Q	Quantité de chaleur	Mj
csp	Consommation spécifique	Kg/kwh

Introduction générale

Durant ces dernières années, les turbines à gaz industrielles ont joué un rôle important dans les systèmes de production de puissance, les centrales de production d'électricité et les unités des hydrocarbures.

Bien que ces équipements possèdent de nombreux avantages, leur haute sensibilité à l'influence de variation de la température de l'air ambiant, qui change considérablement entre le jour et la nuit, l'été et l'hiver, fait que le rendement thermique d'exploitation de ces machines se trouve affecté, ainsi l'amélioration du cycle de machines s'avère être nécessaire.

L'économie algérienne repose essentiellement sur l'énergie, tels que le gaz et le pétrole. Puisque la disponibilité du gaz est importante, produire de l'électricité de cette base d'énergie fut possible par l'utilisation des machines appelées turbines.

Grace à notre stage dans le domaine des centrales électriques, nous avons eu l'occasion dans les centrales où la production d'électricité utilise des turbines à gaz c'est la centrale « Belouadi l'ARBAA » au niveau de la wilaya de Blida, ces turbines ont les caractéristiques qui les distingues a d'autre, la production rapide de l'électricité dans une période de 14 minutes par rapport à la turbine à vapeur, qui commence la production après 12 heures, Dans cette station il ya quatre turbines à gaz d'une capacité de chacune est de 140 M Watts à une température de 27° C .

Cette turbine travaille sur la conversion de l'énergie chimique, un <<gaz naturel >> en énergie calorifique par la combustion et plus tard transformé en une énergie mécanique ensuite à changement d'énergie électrique.

Ce travail est divisé en 4 chapitres :

Le premier chapitre: sont les présentations de la Sonalgaz et de la centrale électrique de « l'ARBAA » SPE.

Le deuxième chapitre: est une Généralité sur les Turbine à gaz en général, principe, types et fonctionnement

Le troisième chapitre: Description et fonctionnement de la turbine à gaz V94.2 de SPE L'arbaa et présentation de ces caractéristiques

Le quatrième chapitre : présente l'étude énergétique détaillée de la turbine à gaz V94.2 et l'effet de la température ambiantes sur ses performances.

On achève l'étude par une conclusion générale

Chapitre1 : Présentation de Sonalgaz et SPE L'arbaa :

Introduction

L'Algérie se positionne, de par ses capacités de production, parmi les principaux pays producteurs de l'électricité, possédant environ 76,400 Gw/h des réserves mondiales l' en 2018.

1.1-Présentation de sonalgaz, du fournisseur de la turbine à gaz de L'arbaa:

Sonalgaz est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie. Créé en 1947, Sonalgaz, œuvre depuis un demi-siècle au service du citoyen algérien en lui apportant cette source énergétique essentielle à la vie quotidienne.

A la faveur de la promulgation de la loi sur l'électricité et la distribution du gaz par canalisations, Sonalgaz est passée d'une entreprise verticalement intégrée à une holding pilotant un Groupe industriel multi-sociétés et multi-métiers. Sonalgaz a toujours joué un rôle majeur dans le développement économique et social du pays. Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes réalisés, en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz ; ce qui a permis de hisser le taux de couverture en électricité à 98% pour 10 494 000 clients et un taux de pénétration du gaz à 65% pour 6 451 000 clients. Aujourd'hui, le groupe Sonalgaz est composé de 21 sociétés dont 02 Holding, dont 14 sociétés directement pilotées par la Holding, 02 sociétés contrôlées à hauteur de 50 et 51% et de 05 sociétés en participations avec des tiers. [1]

1.2-Spe centrale de L'arbaa

Est la centrale électrique turbines à gaz de LARBAA est implantée dans la localité de BELOUADI à environ 04 kilomètres au Nord du chef lieu de la Daïra de L'arbaa, Wilaya de Blida et à environ 08 Kilomètres de la commune des Eucalyptus Wilaya d'Alger. La superficie du terrain disponible servant d'assiette pour l'implantation de la centrale est de l'ordre de 5.4 hectares. Le site est à proximité à la fois du poste d'évacuation d'énergie électrique et du gazoduc SONATRACH alimentant la capitale et ses environs, passant près de la ville des Eucalyptus. Le poste d'évacuation de l'énergie électrique est de type extérieur, il est constitué de quatre (04) travées entièrement équipées, aboutissant sur 02 jeux de barres 220 KV. Il est constitué de :

04 arrivées groupes.

05 Départs 220 KV (Alger Est 1, Alger Est 2 , MetalSider , Béni Merad ,Hamr el Ain) .
 01 Coupleur de barres.[2]

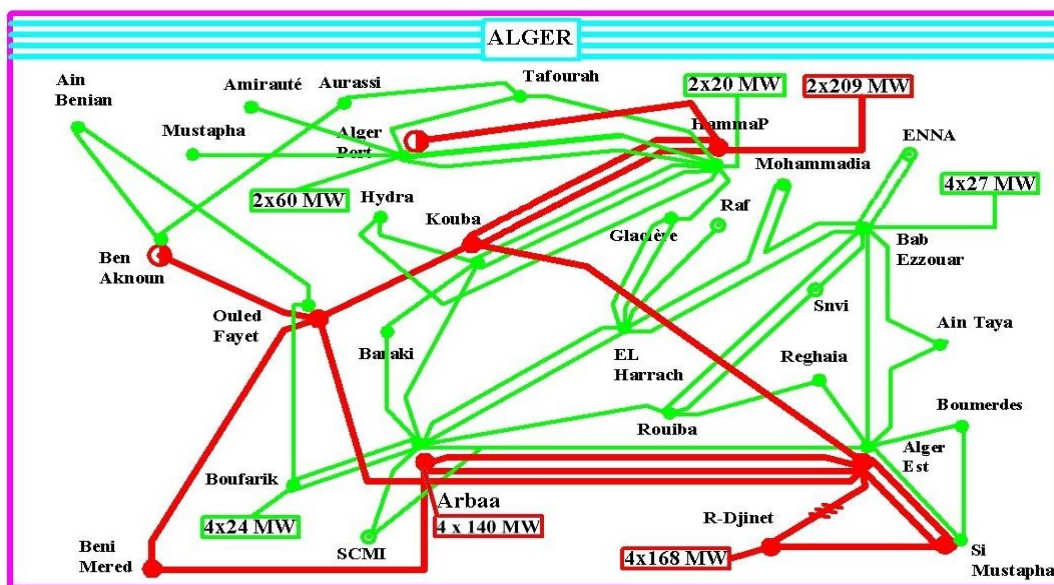


Figure 1.1 : Emplacement géographique du central de L'arbaa [2]

Localisation du site	L'arbaa Wilaya de Blida
Superficie du site	6 hectares environ
Type de centrale	Cycle ouvert-turbine à gaz
Nombre de groupes	Quatre
Puissance totale	560MW aux conditions du site
Combustible principal	Gaz naturel
Combustible de secours	Gasoil
Constructeur	AnsaldoEnergia
Date de mise en vigueur du contrat	30 mai 2007
Délais de réalisation globale	environ 30 mois
Montant total du projet (centrale électrique et évacuation)	253 851 503,00EURO 6 613 433 368,00 DA

Tableau 1.2 : Caractéristique globale de la centrale TG l'arbaa [2]

1.3- AnsaldoEnergia :

Est la société de Finmeccanica spécialiste dans le domaine de la production de l'énergie. Elle travaille sur le marché international pour plusieurs clients, y compris les gouvernements, les producteurs indépendants de l'énergie et les utilisateurs industriels. La société offre une gamme complète (et pour la plupart propriétaire) de produits, parmi lesquels le cycle simple et le cycle combiné. Le secteur d'activité de ANE concerne principalement la construction des Turbines à gaz : De 70 à 280 MW de puissance, intégrant des solutions de pointe de la technologie, projetées pour satisfaire les exigences des clients en matière d'efficacité, de fiabilité et de flexibilité.

Turbines à vapeur : De 80 à 1200 MW de puissance, la production couvre une large plage d'application pour la génération: géothermique, la cogénération, fossile .

Générateurs : soit des turbogénérateurs ou des générateurs hydrauliques. Les Turbo- générateurs: de 300 à 900 MVA de puissance. La production comprend des modèles refroidis à air, à eau ou à hydrogène, par la mise en œuvre de solutions technologiques largement éprouvées. [2]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous vous présenterons la Société Sonelgaz, ainsi que l'une de ses filiales SPE. Est la société de Finmeccanica spécialiste dans le domaine de la production de l'énergie.

Chapitre2 : Etude bibliographique sur les TAG :

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser, d'une manière générale, au fonctionnement des turbines à gaz du point de vue technologique, aux différents types des turbines à gaz qui existent, aux domaines d'applications possibles et enfin à l'évolution de la technologie des turbines à gaz depuis leur avènement.

2.1 -Définition de la turbine à gaz :

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue .Elle peut être considérée comme un système au to suffisant .En effet ,elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur ,augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertie cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine .L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice ,qui produit la puissance utile pour le processus industriel.

Sous sa forme la plus simple ,une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique ,une chambre de combustion ,où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène et enfin une turbine de détente des gaz jusqu'à la pression atmosphérique .

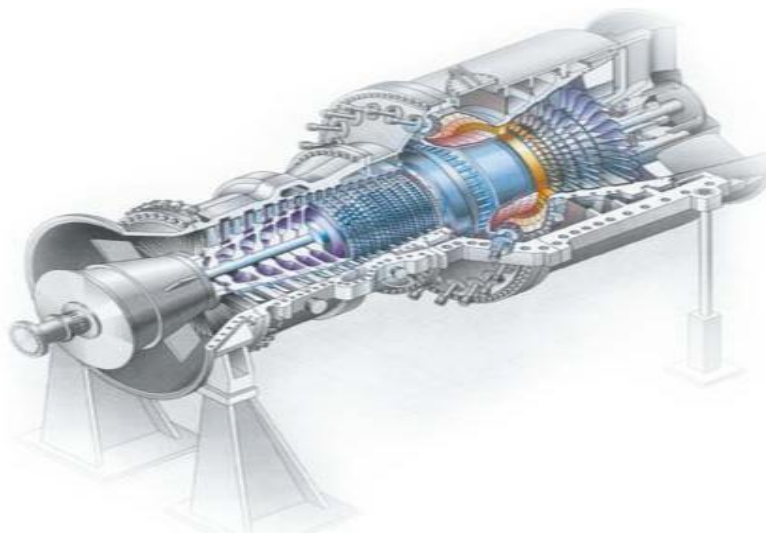


Figure 2.1 : la turbine à gaz

2.2 -Classification des turbines à gaz :

2.2.1- D'après de construction:

a) Turbine mono-arbre :

Le compresseur et les sections de la turbine de ces machines se composent d'un seul rotor simple, où la turbine produit l'énergie pour entrainer le compresseur ainsi que l'énergie pour entrainer la charge. Les turbines à un seul arbre sont favorables dans le cas où la charge est constante. Les turbines à gaz à un seul arbre sont aptes à l'entraînement des machines qui fonctionnent à vitesse constante. Telle que les alternateurs et, pour cette raison, sont employées dans la génération d'énergie électrique. [3]

CO : Compresseur axial.

CC : Chambre de combustion.

T : Turbine.

CH : Charge.

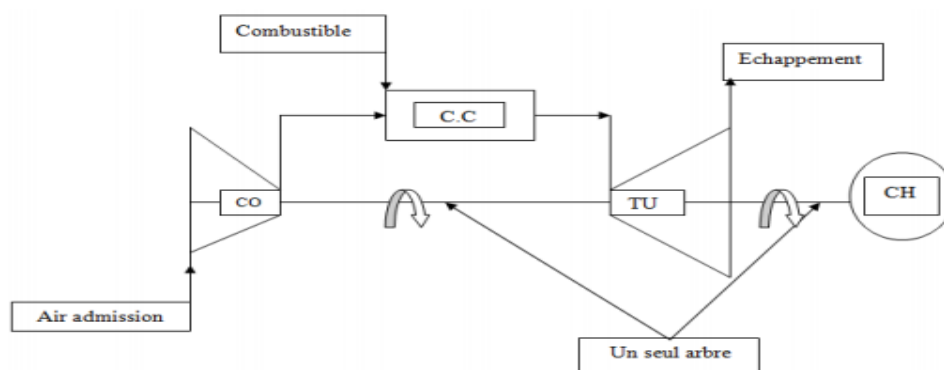


Figure 2.2 : Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre

b) Turbine bi-arbre :

La turbine à gaz se compose de deux roues turbines indépendantes mécaniquement. La roue turbine HP entraîne le rotor du compresseur axial et les accessoires, tandis que la roue turbine BP deuxième étage sert à entraîner l'organe récepteur (ex : les compresseurs). Le but des roues turbines non reliés est de permettre aux deux roues de fonctionner à des vitesses différentes pour satisfaire aux exigences de charge variable de l'organe récepteur. [3]

CO : Compresseur axial.

CC : Chambre de combustion.

Thp : Turbine à haute pression.

Tbp : Turbin à basse pression.

N : Réducteur.

CH : Charge

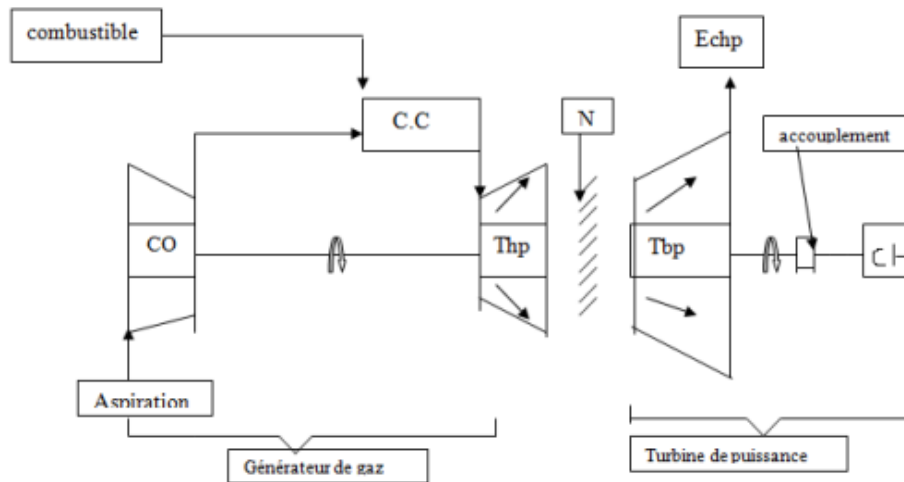


Figure 2.3 : Schéma d'une turbine à gaz bi-arbre

2.2.2- D'après le mode de travail:

a) Turbine à action :

Le principe de fonctionnement d'une turbine à action, est que la transformation thermodynamique du fluide se fait uniquement dans la directrice (entre aubages fixes). Les aubes mobiles n'ont qu'un rôle à jouer, c'est de transformer l'énergie cinétique acquise par

b) Turbine à réaction :

Dans les turbines à réaction, nous savons que la détente se fait aussi bien dans les canaux fixes que dans les canaux mobiles, c.-à-d. qu'une partie de l'énergie thermique est transformée dans la roue en énergie cinétique et mécanique. L'évolution des gaz dans la roue se fait avec variation de la pression statique ($P_1 > P_2 > P_3$). [3]

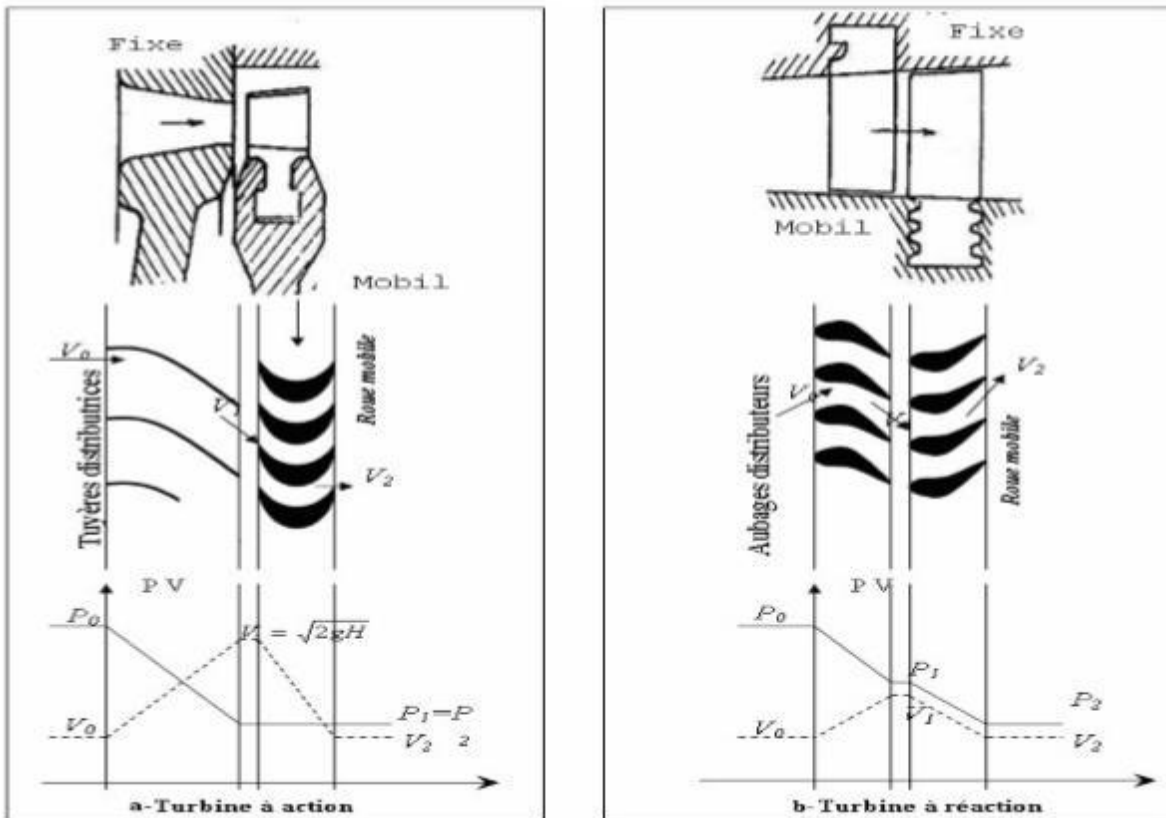


Figure 2.4 : Schéma d'une turbine à action et à réaction

2.2.3- D'après le mode de fonctionnement thermodynamique :

Il existe deux cycles thermodynamiques :

- a) **Turbine à gaz à cycle fermé** : dans laquelle le même fluide est repris après chaque Cycle.
- b) **Turbine à gaz à cycle ouvert** : c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement S'effectuent directement dans l'atmosphère. Ce type de turbine qui est le plus répandu Se divise en deux classes :
 - c) **Turbine à cycle simple** : c'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique sont perdus dans l'atmosphère à travers l'échappement.
 - d) **Turbine à cycle régénéré** : c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait Intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de L'installation.

Les pertes de chaleur causées par les gaz d'échappement sont les plus importantes dans l'installation de turbine à gaz. Pour cela le rendement des installations de turbine à

gaz peut être augmenté, en conduisant les gaz d'échappement dans un échangeur thermique où ils réchauffent l'air sortant du compresseur avant son entrée dans les chambres de combustion. On récupère une partie de chaleur sensible de ces gaz qui se trouvait perdue dans l'atmosphère. [3]

2.3-Les Types de la turbine à gaz :

2.3.1-Système gaz Naturel :

Le système gaz naturel est conçu pour alimenter les turbines avec gaz à un niveau de qualité tel que demandée par les Turbines à Gaz et aux conditions de pression et débit requises par les TG. [4]

a) Description du système:

Le combustible devant alimenter les TG est le gaz naturel qui est délivré à la centrale au moyen de gazoduc.

Le système combustible gaz porte sur une station de détente avec un circuit gaz adéquat et fiable pour répondre aux exigences de fonctionnement des turbines à gaz pour tous les régimes de fonctionnement.

Le souci fondamental dans la conception du poste gaz doit être la continuité de service des turbines à gaz et la sécurité et la fiabilité de fonctionnement Le système du gaz naturel, comprendra les éléments principaux :

- Un joint isolant (diélectrique) en amont du PDG
- Une électrovanne pneumatique de sécurité avec by-pass
- Un séparateur de liquides au 100% de la capacité totale avec by-pass, destiné à débarrasser le gaz des liquides en suspension qu'il est susceptible d'entraîner (eau, huiles légères ou lourdes, etc.).
- Deux filtres, chacun au 100% de la capacité totale, destinés à débarrasser le gaz des particules solides en suspension qu'il est susceptible d'entraîner .
- Un poste de comptage, au 100% de la capacité totale avec by-pass, avec correction en température et en pression permettent la mesure du débit à l'amont des réchauffeurs
- Deux réchauffeurs à gaz type "Bain-marie" identiques installées en parallèle et capable d'assurer chacun le 100% du débit nécessaire au fonctionnement de deux turbines à gaz
- Un poste de détente primaire.

Il est prévu que chaque turbine à gaz a sa propre ligne de détente ; on va prévoir comme réserve une ligne de secours automatique et une ligne supplémentaire de secours manuelle.

Chacune d'entre les quatre lignes identiques installées en parallèle est capable d'assurer 100% (cent pour cent) du débit nécessaire au fonctionnement d'une turbine à gaz.

– Chaque ligne, comportant les détendeurs nécessaires au fonctionnement à tous débits, comprendra:

– vannes d'isolement manuel de type à bille (deux pour chaque ligne, à l'entrée et à la sortie)

– Un clapet à bille d'arrêt (pour chaque ligne de détente)

– soupapes protégeant les tronçons à différentes pressions contre les surpressions accidentelles

– Équipement de contrôle et mesure nécessaire à l'exploitation

– Système d'arrêt et de dépressurisation.

– Événement (système de purge).

- En aval des lignes de détente il y aura un départ indépendant pour chaque turbine à gaz qui arrive au skid final d'unité qui va comprendre.

Un poste de comptage qui permet la mesure du débit consommé; deux filtres séparateurs pour garantir le niveau de protection aux impuretés liquides et solides, demandé et imposé pour le fonctionnement des TG.

Une vanne électropneumatique de sécurité et une soupape électropneumatique de décharge. Il est prévu un système d'azote de purge pour l'évacuation du gaz naturel et de l'air contenus dans les différents tronçons du système à activer avant les actions de manutention ou de réparations.

Les dimensions des tuyauteries sont calculées en employant la vitesse indiquée au point «données de Project», l'épaisseur est calculée conformément à la norme ANSI B 31.1. Les épaisseurs de la tuyauterie, classement et la typologie des soupapes et brides, sont détaillées dans le document "Spécification des tuyauteries" ou la clé de lecture est la classe de la tuyauterie indiquée sur le P&ID dans chaque repère d'identification des lignes. [4]

b) Qualité du gaz naturel demandée par la Turbine à Gaz:

La tolérance pour la pression de projet sera le $\pm 2.5 \%$ de la valeur de projet à $15 \div 100 \%$ du débit maximum, et $\pm 5 \%$ à $0 \div 15 \%$ du débit maximum.

L'échelle pour la température de projet sera:

– Au minimum $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

– Au minimum $10 \text{ }^\circ\text{K}$ au-dessus du point de rosée du gaz.

- Cette marge sera utilisée pour tous les constituants du gaz y compris les hydrocarbonés lourds. Cette condition va garantir l'absence de toute fraction liquide.

– Au minimum 15 °K au-dessus du point de rosée de l'eau pour une concentration > 10 ppm de H₂S. Cette marge va

- prévenir la possible combinaison entre le sulfure d'hydrogène et l'eau, qui va causer la corrosion des composants du système gaz.

– Au maximum 130 °C. [4]

2.3.2- Système du gasoil:

Le système gaz naturel est conçu pour alimenter les deux turbines à gaz V94.2(6) avec gaz à un niveau de qualité tel que demandée par les deux Turbines à Gaz V94.2(6) et aux conditions de pression et débit requises par les TG mêmes. [4]

a) Description du système:

Le Système du gasoil est projeté pour emmagasiner l'huile combustible et alimenter les turbines à gaz à la pression et débit demandés.

Les réservoirs principaux alimentent deux groupes des pompes d'alimentation (l'un pour l'unité 1 et l'autre pour l'unité 2).

Chaque groupe de pompe d'alimentation d'huile combustible est équipé avec deux pompes, chacune avec un débit suffisant aux les requêtes d'une turbine à gaz (consommation de combustible et combustible ré-circulé).

En outre, le système doit alimenter le réservoir du groupe électrogène de secours et le réservoir du diesel de la pompe contre l'incendie. Le système comprend principalement:

– 2 x 100% pompes de dépotage chacun e avec filtre sur la tuyauterie d'aspiration

– 4 réservoirs de stockage principaux, chacun avec une capacité de 9000 m³

– 2 x 100% pompes d'alimentation de chaque TG, avec un filtre duplex monté sur la tuyauterie d'aspiration et un filtre duplex sur la tuyauterie de refoulement

– 1 pompe d'alimentation pour le réservoir des diesels avec un filtre simple monté sur la tuyauterie d'aspiration

– 2 x 100% accumulateur pneumatique pour chaque turbine à gaz

– 2 réservoirs des drainages du gasoil avec une capacité de 2 m³

– 2 pompes de drainage du gasoil. [4]

2.4- Principe de fonctionnement :

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Elle extrait de l'air du milieu environnant ;
- Elle le comprime à une pression plus élevée ;
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion ;
- Elle achemine les gaz brûlés à pression et à température élevées vers la section de la Turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner L'arbre (l'énergie nette).

L'énergie récupérée au niveau de la turbine sert, en partie, à faire fonctionner le Compresseur, par une liaison mécanique adéquate, permettant de mener de l'air à une pression et température de combustion, et le reste de l'énergie est transmise Pour entraîner un quelconque organe (alternateur, compresseur... etc.). Elle décharge dans l'atmosphère, les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus.

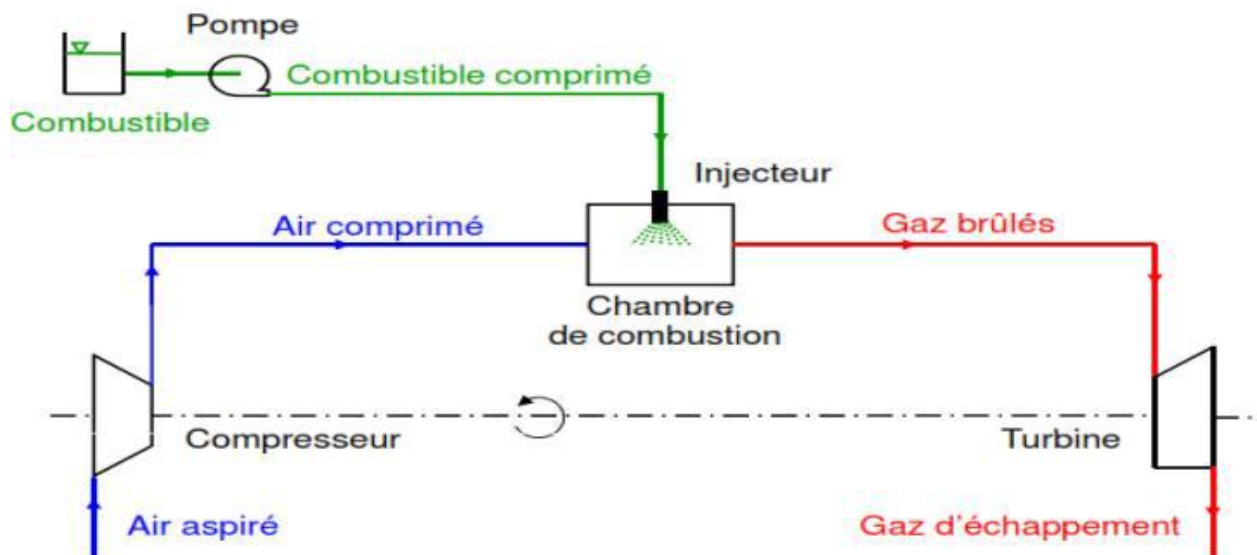


Figure 2.5 : Schéma de Principe de fonctionnement

2.5- Domaine d'application :

2.5.1-Utilisation des turbines à gaz pour la propulsion :

C'est dans l'aéronautique que la turbine à gaz s'est imposée en priorité. Les turboréacteurs sont utilisés de façon quasi universelle pour la propulsion des appareils à

voilure fixe : avions et missiles, pour les voilures tournantes, de façon similaire, les turbomoteurs équipent aussi la quasi-totalité des différents types d'hélicoptères.

L'utilisation de la turbine à gaz dans l'aviation (avions, hélicoptères) est bien connue. Dans le domaine des transports civils et militaires, les turbines à gaz sont également utilisées pour la propulsion, car elles permettent d'obtenir de grandes puissances avec des poids et dimensions faibles par rapport à ceux des moteurs diesels.[5]

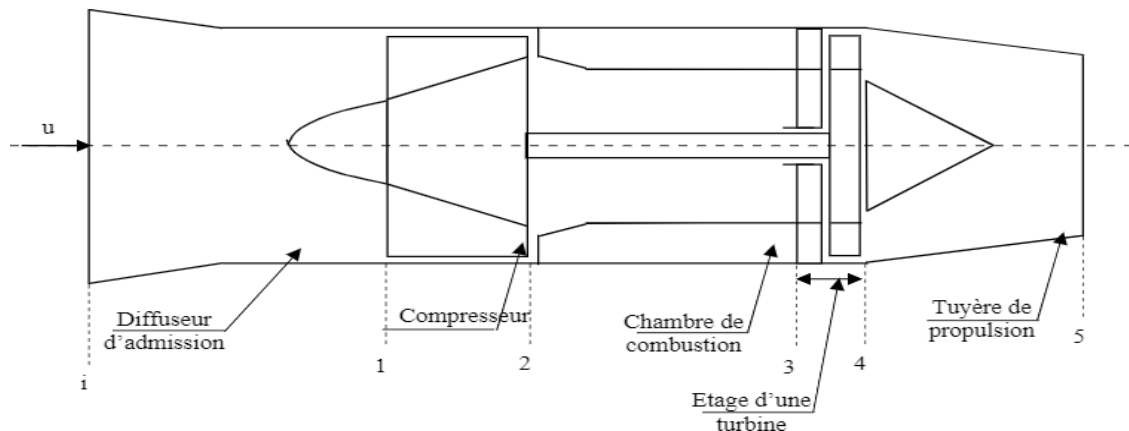


Figure 2.6: Utilisation des turbines à gaz dans l'avion [5]

2.5.2-Production combinée chaleur-force :

Ce type d'application permet d'économiser les dépenses d'énergies. Le couple de force peut servir à l'entraînement d'une machine réceptrice et la chaleur peut servir pour le chauffage, séchage, production de vapeur pour un procès industriel. Le principe de cette application peut être, encore poussé plus loin pour obtenir des installations industrielles dites à énergie totale où la turbine à gaz peut fournir simultanément trois formes d'énergie : électrique (alternateur), pneumatique (par prélèvement d'air sur le compresseur), calorifique (récupérateur de chaleur des gaz d'échappement). Le rendement de telles installations est ainsi fortement revalorisé et peut atteindre 50 à 60%. [5]

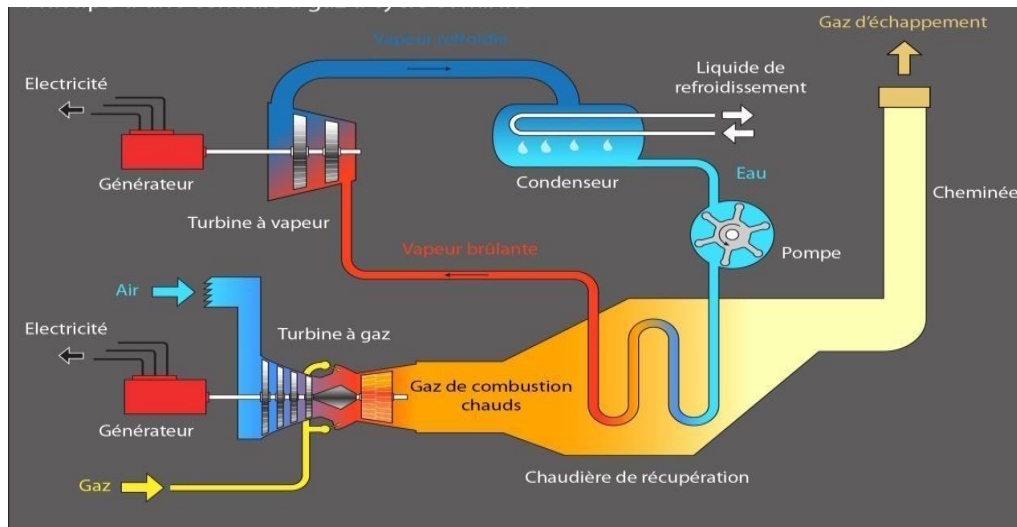


Figure 2.7: Production combinée chaleur-force [5]

2.5.3-Production d'électricité :

Cette application est extrêmement courante l'arbre de la turbine entraîne un réducteur dont l'arbre à petite vitesse entraîne un alternateur Le système mécanique est simple et peut être comparé à un groupe turboalternateur à vapeur. Produire uniquement de l'électricité avec une turbine à gaz n'est intéressante que pour des conditions d'exploitation imposant ce système. Dans tous les types d'applications étudiés, il est tout à fait possible de remplacer l'alternateur entraîné par une pompe, par un compresseur ou une soufflante. [5]

2.6 - Avantages et inconvénients des turbines à gaz :

2.6.1- Avantage :

Si on compare la turbine à gaz à ses concurrents dans la famille des moteurs à combustion interne, elle présente des avantages importants :

- Faible encombrement ;
- Excellent rapport Puissance / Poids ;
- Bon rendement ;
- Faibles émissions de polluant ;
- Mise en route rapide ;
- Équipements auxiliaires « bon marché ». [4]

2.6.2-Inconvénients :

- Combustibles propres donc coûteux (les gaz brûlés se détendent directement dans la turbine) ;
- Performances dépendant des conditions extérieures (dégradées si T augmente ou si P diminue).
- Au-dessous d'environ 3000KW, prix d'installation supérieur de celui d'un groupe Diesel.
- Temps de lancement beaucoup plus long que celui d'un groupe diesel ; à titre indicatif: 30 à 120 s pour une turbine, 8 à 20 s pour un groupe diesel.
- Rendement inférieur à celui d'un moteur diesel (cycle simple). À titre indicatif : 28 à 33 % pour une turbine de 3000 KW, 32 à 38 % pour un group diesel. [6]

Conclusion :

Dans ce chapitre, des généralités concernant les turbines à gaz ont été présentées. Une description fonctionnelle, une classification selon les divers critères utilisés et une chronologie de développement des turbines à gaz, ont été détaillées. Enfin, un comparatif entre avantages et inconvénients de ces installations a été dressé.

Chapitre 3: Description et fonctionnement de la turbine à gaz V94.2 de SPE LARBAA

Introduction :

Nous allons présenter le long de ce chapitre une description détaillée de la turbine à gaz V94.2. Ce type de turbines est largement utilisé dans centrale électrique pour ; entre autre, l'entraînement des organes de compression à forte puissance utilisés dans les stations de compression du gaz naturel. Nous allons décrire technologiquement et fonctionnellement cette turbine en s'étalant sur chaque partie constituante.

3.1-Turbine V94.2. :

La turbine à gaz V94.2 construite par l'AnsaldoEnergia ; fabriqué en ITALIE, ayant une puissance maximale de 173MW.

Les progrès réalisées dans le coté métallurgique, en plus des résultats favorables des recherches approfondies sur la combustion, ont permet des améliorations rapides des performances de ces machines, en termes de puissance, rendement, longévité,... etc.

Trois générations peuvent être classées, distinguées par les intervalles de température maximale (en° C) des gaz à l'entrée de la première roue de turbine :

1. 1^{er} génération : $760 < T_{max} < 950$.
2. 2^{eme} génération : $955 < T_{max} < 1124$.
3. 3^{eme} génération : $1149 < T_{max} < 1288$.

La turbine est du type mono arbre à cycle simple, couplée à un alternateur d'une puissance de 190 MVA, elle peut être démarrée à partir de la salle de contrôle commune (CCR) ou à partir de la salle de contrôle locale (LCR).

Les quatre groupes sont installés à l'intérieur d'une salle des machines ventilée et insonorisée.

Les groupes fonctionnent au gaz naturel comme combustible principal et au gasoil comme combustible de secours, avec la possibilité de passage d'un combustible à l'autre en mode automatique.[7]

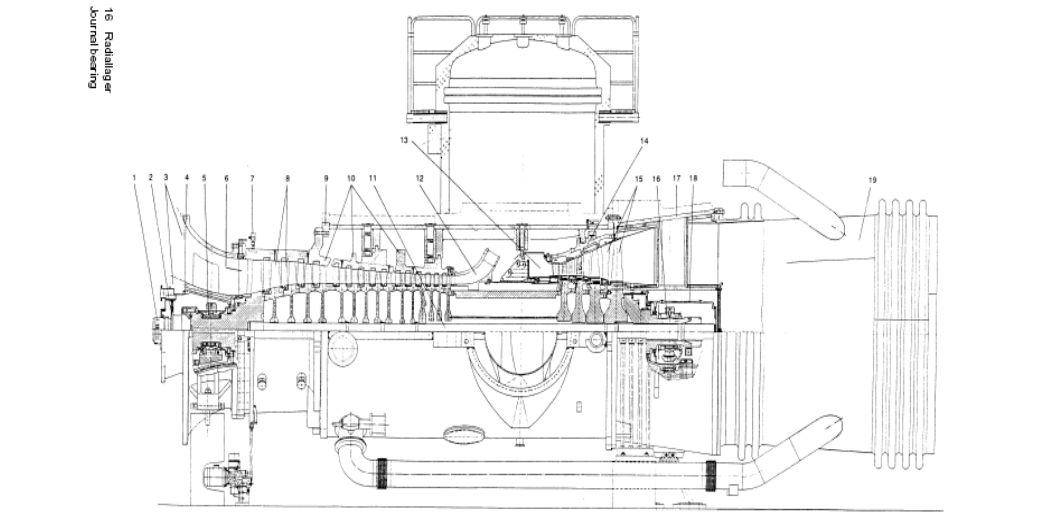


Figure 3.1: Turbine à gaz type V94.2

1 Arbre moyen	2 Vireur hydraulique	3 Conduit d'admission	4 Cage de palier compresseur et supports
5 Palier à charge mixte palettes stator	6 Aubes directrices d'entrée	7 Système de réglage	8 Rotor du compresseur et
9 Enveloppe central	10 Stator du compresseur	11 Rotor	12 Diffuseur
13 Enveloppe interne	14 Stator de la turbine	15 Rotor turbine	16 Palier de portage et palettes stator
17 Enveloppe de décharge	18 Cage de palier turbine	19 Diffuseur d'échappement	

3.2-Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz V94.2 :

3.2.1-Concepts de base d'un cycle de turbine à gaz :

De façon générale, une turbine à gaz peut être considérée comme un convertisseur d'énergie.

Le cycle Brayton dépeint le modèle de cycle d'énergie d'une turbine à gaz.

Dans les diagrammes PV (Pression-Volume) et TS (Température-Entropie) indiqué au dessous, les quatre étapes du cycle sont :

- (1-2) Compression isentropique.
- (2-3) Ajout de chaleur à pression constante réversible.
- (3-4) expansion isentropique.
- (4-1) Rejet de chaleur à pression constante réversible.[8]

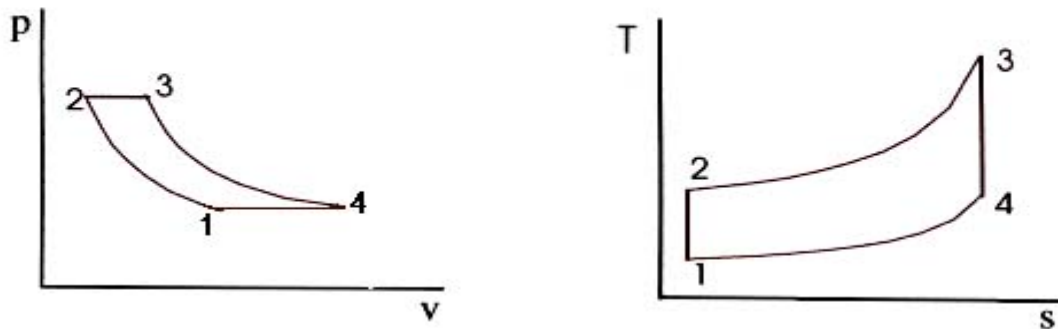


Figure3.2: Diagramme de Cycle de Brayton [8]

Dans un cycle simple de turbine à gaz, une base pression d'air est insufflée dans un compresseur (état1) ou il est comprimé à forte pression (état2).

Une énergie chimique est fournie au moyen de combustible qui est ajouté à l'air comprimé et comburé dans la chambre de combustion.

Pendant ce processus, l'énergie chimique est transformée en une énergie thermique qui ajoute au gaz de combustion de la turbine.

La combustion de gaz pénètre alors la turbine (étage3) et s'étend à l'état4 libérant une partie de son énergie au rotor et le reste s'échappe avec l'échappement de gaz qui est encore chaud en aval de la turbine.

L'énergie absorbée par le rotor est disponible en tant qu'énergie mécanique.

Une partie de l'énergie disponible pour le rotor est absorbée par le compresseur pour la compression de l'air, l'autre partie est utilisée pour mettre en marche le générateur. Dans le générateur, l'énergie mécanique du rotor est transformée en énergie électrique. [8]

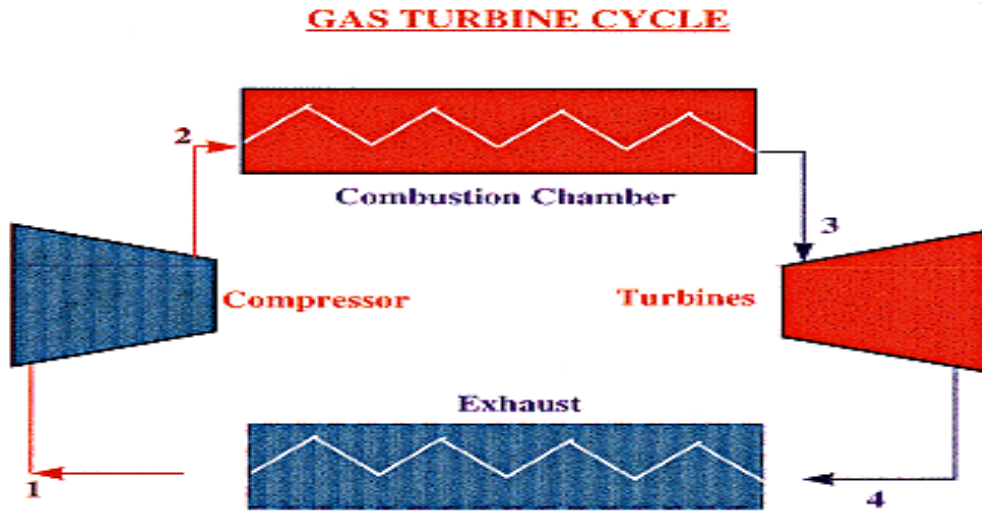


Figure 3.3: Cycle de turbine à gaz

3.3-Les parties principales de La turbine à gaz V94.2 :

La turbine à gaz est essentiellement formée de trois parties principales :

- Un Compresseur.
- Chambres de combustion.
- Une turbine de détente.

3.3.1-Section compresseur

- Nombre des étages du compresseur axial.....16.
- Type du compresseur.....écoulement axial, série lourde.
- Plan de joint.....bride horizontale.
- Type d'aubes directrices d'entrée.....IGV. variable.
- Pression à l'admission1 bar.
- Pression de refoulement... ..10-12bars. [8]

C'est un organe mécanique destiné à augmenter par procédé uniquement mécanique la pression d'air Il est composé :

a) Le stator :

Les ailettes externes contenant la pression, est constituée d'une section centrale cylindrique à laquelle sont fixés.

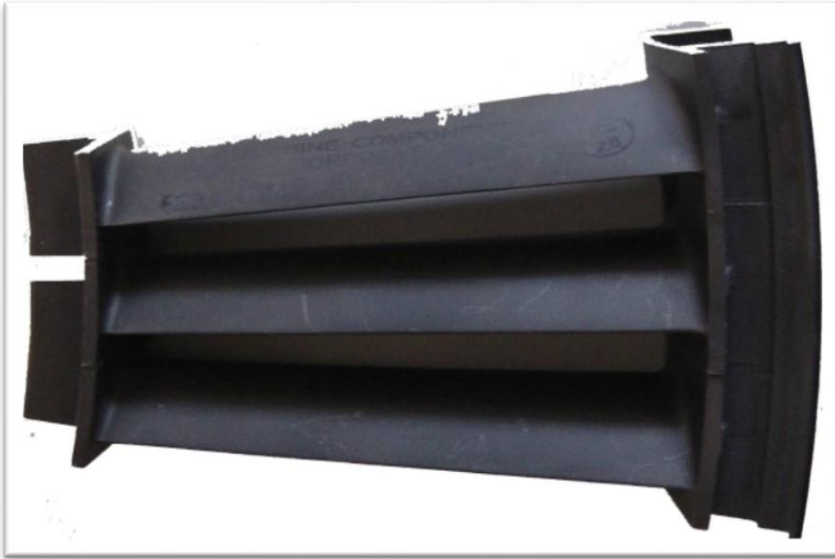


Figure 3.4 : aubes statiques de Compresseur

b) Le rotor :

il porte les aubes du compresseur et de la turbine en combinant leurs section sur un seul arbre qui est supporté dans les coussinets aux extrémités.

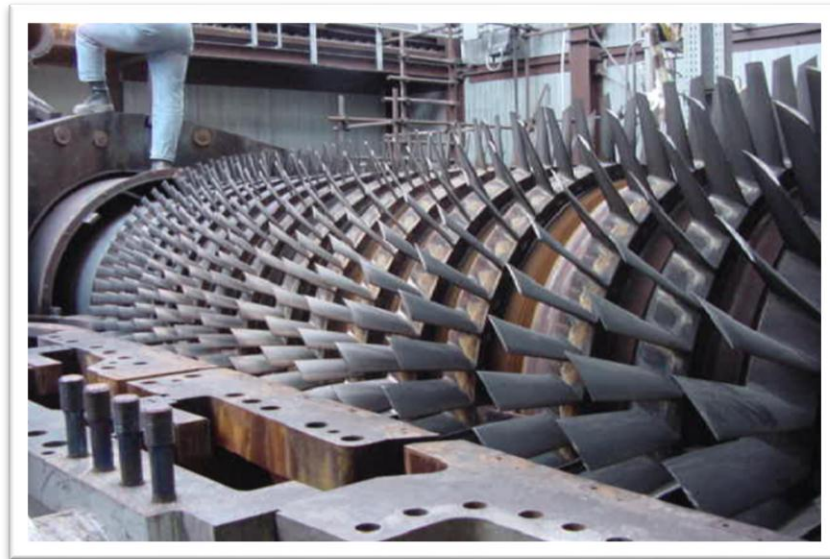


Figure 3.5 : aubes rotors de Compresseur

3.3.2-section de Chambre De Combustion :

- Deux chambres à conne.
- Chaque chambre Contient 8 bruleurs.
- CombustibleGaz naturel & fuel (liquide ; gasoil).
- Bougies d'allumage.....8 bougies pour chaque bruleur + 8 transformateurs d'allumage pour chaque bruleur aussi.

- Détecteur de flamme.....deux, type ultraviolet + Infra Rouge. Pour chaque bruleur il existe deux détecteurs. [8]

La turbine à gaz V94.2 est équipée de deux chambres de combustion, montées verticalement sur les côtés de la turbine à gaz et connectées aux brides latérales de l'enveloppe extérieure de la turbine à gaz. Cette structure de la chambre de combustion offre une bonne accessibilité de toutes les composantes pour les inspections et, si nécessaire, montage et démontage facile. L'air fourni par le compresseur est chauffé à la température d'entrée de la turbine dans les chambres de combustion par la combustion des combustibles. Dans le tuyau de flamme, où les températures des gaz sont particulièrement élevées et la radiation des flammes très importante, le revêtement en céramique est réalisé avec des carreaux aux bords bloqués est utilisé d'une manière très efficace. [2]

Les petits flux d'air de refroidissement pour refroidir les supports des carreaux simultanément agissent comme une barrière entre la structure derrière les carreaux et le flux de gaz chauds.

Y'a 2 mode de combustion :

- Mode diffusion
- Mode pré mixe





Figures 3.6 : chambre de combustion

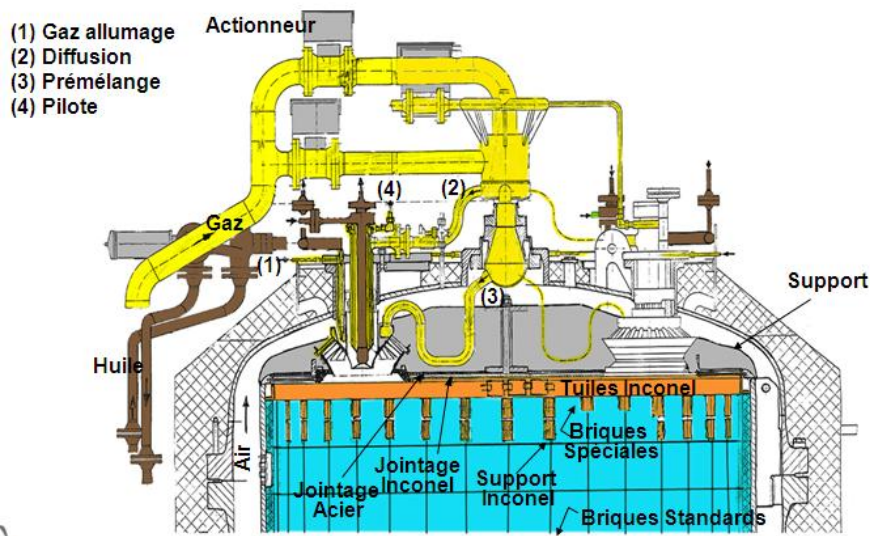


Figure 3.7 : Dôme de la chambre à combustion [2]

- **Unité bruleur pour les combustibles liquides et gazeux :**

En tant qu'unité fonctionnelle, l'unité brûleur pour les combustibles liquides et gazeux comprend les composants suivants :

- Brûleur à fioul
- Brûleur à diffusion gazeuse avec tourbillonner axial
- Tourbillonner diagonal
- Aube tourbillonné diagonal
- Veilleuse à gaz
- Allumeur
- Conduite de distribution du gaz

Les bruleurs travail dans 3 modes

Pré-mélange : caractérisée par Haut rapport de dilution, Basse température de la flamme, Basse production de NOx

Diffusion : caractérisée par Bas rapport de dilution, Haute température de la flamme, Haute production de NOx .

Pilote : lorsque la charge de consigne est atteinte [2]

3.3.3- Section de La turbine :

- Nombre des étages de la turbine.....04.
- Plan de joint.....bride horizontale.
- Directrice du premier étage.....fixe.
- Directrice du deuxième étage.....fixe. [8]

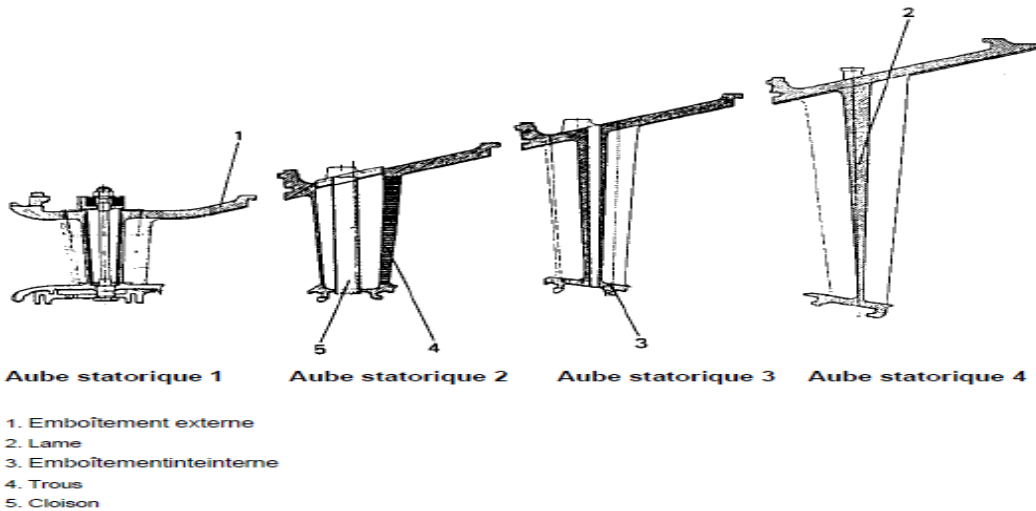
a) Stator :

Les aubes statiques de la turbine convertissent l'énergie du fluide de fonctionnement dans énergie mécanique. Les aubes statiques sont constituées d'un emboîtement externe, d'une lame et d'un emboîtement interne.

L'emboîtement externe sert à fixer l'aube au porte-aubes statiques et forme la limite externe du parcours de gaz chaud. La lame est formée de manière à assurer les caractéristiques et la force de flux optimales. [2]



STATOR DE LA TURBINE

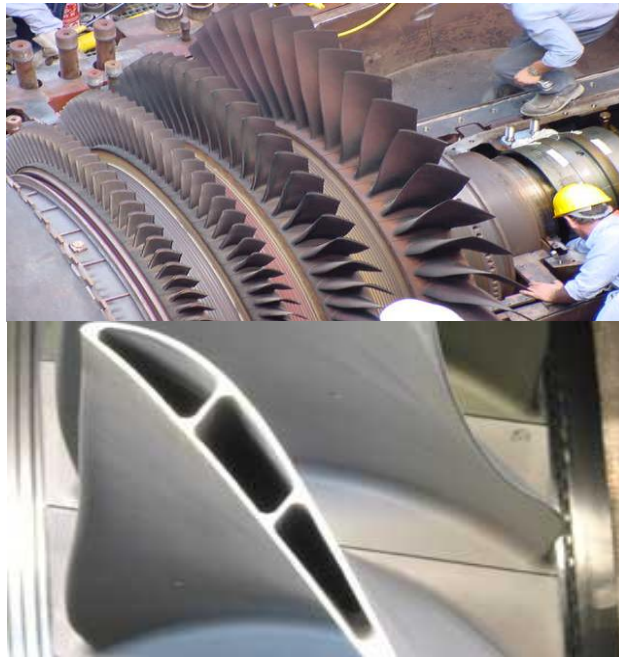


Figures 3.8 : Aubes statiques de la turbine

b) Rotor :

Les aubes rotors de la turbine sont formées d'une lame, d'une plateforme à aubes, et de pied d'aube. La section transversale de la lame est formée de manière similaire à une aile d'avion et est ajustée en cône pour fournir une plus grande résistance à la base.

Les aubes sont torsadées de la base à la pointe pour fournir les différentes vitesses circonférentielles dans leur hauteur. [2]



Figures 3.9 : rotor de la turbine

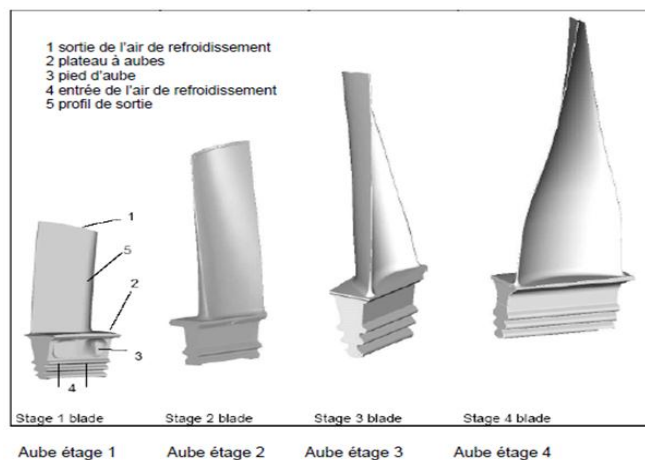


Figure 3.10 : les aubes rotoriques de la turbine .

3.4-Générateur:

Il est du type à deux pôles à rotor lisse, refroidi à air ventilé en circuit fermé.

Le générateur est composé de rotor (partie mobile) et le stator (partie fixe), couplé avec le turbocompresseur par un accouplement.

En excitant le rotor de générateur avec un courant continu à 95% de la vitesse nominal (3000tr/min), par une excitatrice statique qui crée un champ magnétique tournant. [2]

3.4.1-Les caractéristiques principales du générateur :

- Turboalternateur triphasé à deux pôles avec rotor lisse.
- Rotor directement couplé à la turbine.

- En roulement amortisseur du rotor.
- Ventilation en circuit fermé avec 4 échangeurs air-eau incorporés dans la carcasse.
- Auto-ventilation du stator et du rotor.
- Générateur expédié complètement assemblé.
- Excitation de type statique
- Isolation d'enroulement stator de type Resin-Rich en barre individuelle.
- Règles, Standards CEI.
- Système de mise à la masse de l'arbre et d'isolation des paliers pour prévenir la circulation des courants d'arbre. [10]

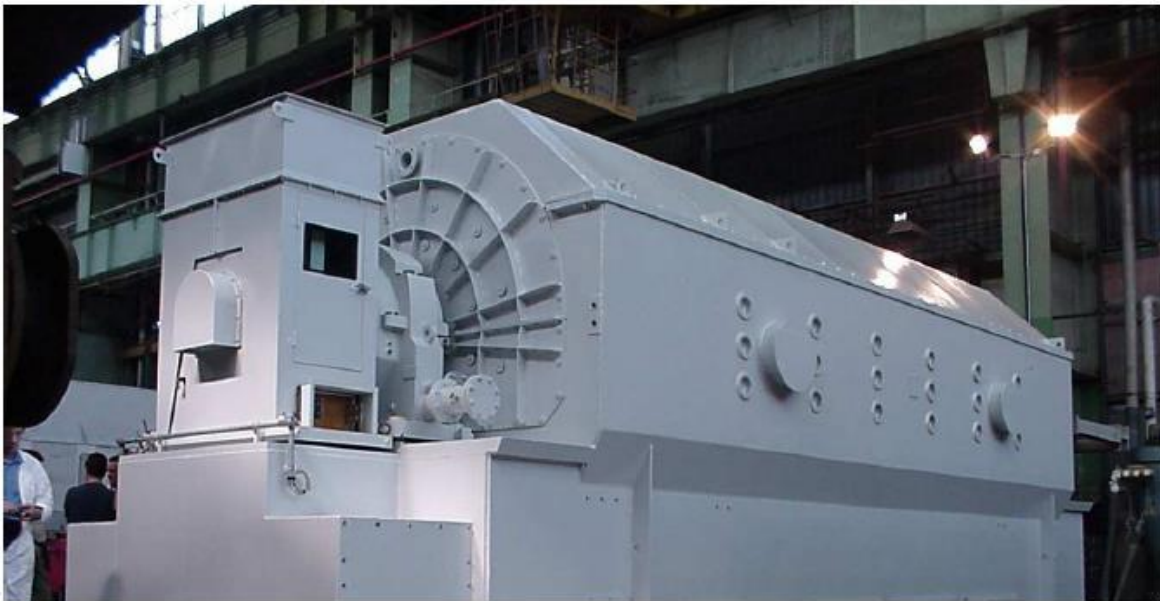


Figure 3.11 :Générateur.

3.5- Les auxiliaire d'un groupe de turbine à gaz V94 .2 :

3.5.1-Système d'aspiration d'air :

Le système d'aspiration et filtration fournit de l'air filtré au compresseur de la turbine à gaz, en quantité et en qualité nécessaires, dans les conditions ambiantes locales.

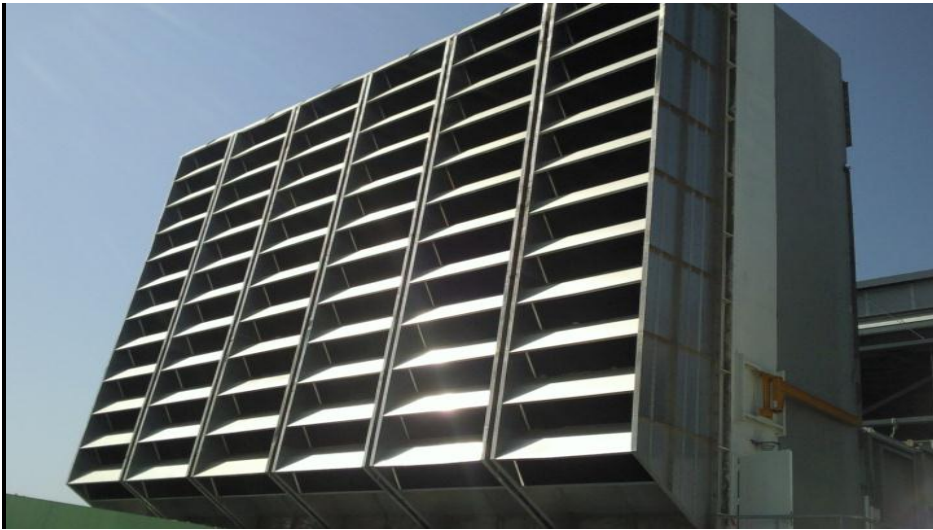


Figure 3.12: Système admission l'air

3.5. 2-Station d'air comprimé :

La centrale est dotée d'un système de production et de distribution d'air comprimé exempt d'huile, séché et filtré pour les besoins de la centrale.

Le system comprend principalement :

- 04 compresseurs d'air de type à vis 7 bars (01 de service et 03 discours).
- 04 Sécheurs d'air du type régénératif à froid.
- 08 Filtres du plex.
- 06 réservoirs d'air sous pression pour l'air de régulation et de travail. [2]



Figure 3.13: Station d'air comprimé .

3.5.3-Système gaz naturel :

Le combustible devant alimenter la centrale est le gaz naturel qui est délivré à la centrale au moyen d'un gazoduc.

Le système combustible gaz porte sur une station de détente avec un circuit gaz adéquat et fiable pour répondre aux exigences de fonctionnement des turbines à gaz pour tous les régimes de fonctionnement. [10]



Figure 3.14: Poste de distribution du gaz principal .

3.5.4-Système fuel :

En cas d'avarie sur le combustible principal (gaz naturel), les TG de la centrale de « l'ARBAA » sont conçues pour fonctionner avec du fuel comme combustible de secours. Système fuel d'alimenter en combustible liquide la TG depuis les réservoirs de stockage jusqu'aux chambres de combustions de la TG .Les groupes diesels de secours et la motopompe incendie sont alimentés à partir des mêmes réservoirs de stockage. [2]



Figure 3.15: Station finale de fuel [6]

3.5.5-Stockage du combustible de secours :

La centrale est dotée d'une réserve de fuel qui lui donne une autonomie de 06 jours à pleine charge. Le débit de fonctionnement en pointe devra être le 105% du débit de fonctionnement en base. [2]



Figure 3.16: Stockage combustible

3.5.6-Station de production d'eau déminéralisée :

La fonction du système de distribution d'eau déminéralisée est d'emmagasiner l'eau pompée par les pompes du système de production d'eau déminéralisée dans un réservoir d'accumulation: les pompes du système de distribution eau déminéralisée et les pompes d'injection de la turbine au gaz sont alimentées par le réservoir. [6]



Figure 3.17: Station de production d'eau déminéralisée

3.5.7-Système de réfrigération NOURIA :

Le système de réfrigération de l'alternateur et de l'huile de graissage de la TG, comprend principalement:

- _ Une unité aero-réfrigérante, avec 4 cellules de ventilation, ayant chacune une capacité égale au 66% de capacité de charge.
- _ 2 pompes de circulation de l'eau réfrigérée, ayant chacune une capacité égale à 100% de la capacité totale nécessaire, pendant le fonctionnement nominal du système une pompe sera en marche tandis que l'autre reste en secours.
- Une bache haute de 5m
- _ Une bache d'injection chimique de 20 m³ La tuyauterie du système de réfrigération est projetée conformément aux normes ANSI B.31.1. [2]

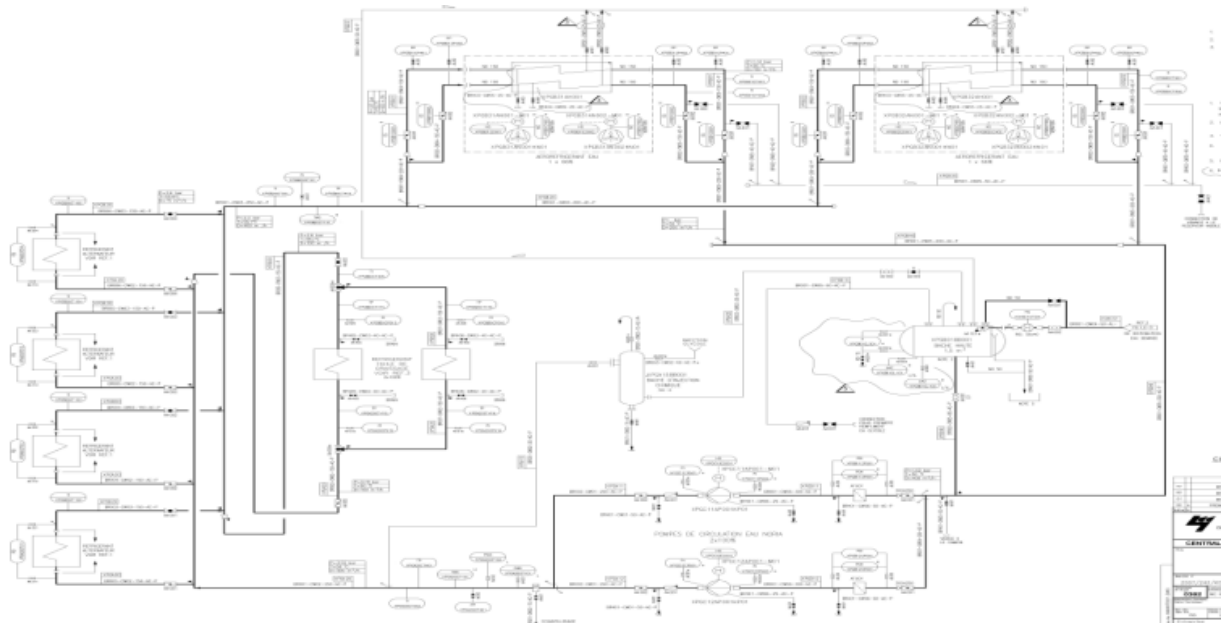


Figure3.18: Système réfrigération NOURIA

3.5.8-Système D'huileHydraulique :

Le système hydraulique à haute pression est utilisé pour positionner les soupapes de contrôle du système combustible et pour ouvrir les soupapes d'arrêt d'urgence. L'unité a la fonction de fournir l'huile hydraulique nécessaire pour faire fonctionner les actionneurs des soupapes à la pression requise, en quantité suffisante, à la température optimale et en condition pure.

Le poste d'alimentation de l'huile hydraulique comprend seulement les unités d'équipement nécessaire pour remplir cette tâche. L'unité centrale d'alimentation de l'huile hydraulique comprend tous les composants essentiels à l'alimentation d'huile hydraulique, tels que les pompes, les filtres, et les accumulateurs. Tous les composants sont montés sur le réservoir de l'huile hydraulique. [8]



Figure 3.19: Système D'huile Hydraulique [2]

3.5.9-Système Des Gaz D'Echappement :

Les gaz chauds sortent de la turbine avec une température de $T=540\text{ C}^\circ$ et une pression de $P=1,5\text{ bar}$ vers la cheminée d'échappement à travers le diffuseur, on peut faire un montage de cycle combiné (turbine gaz-vapeur) à la sortie du diffuseur pour améliorer le rendement.

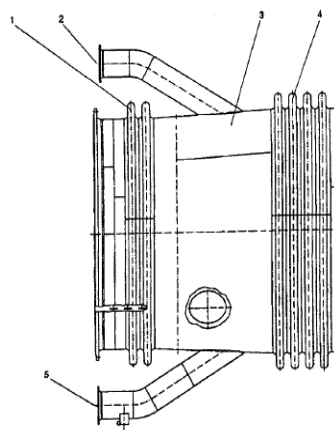
Le cheminé est équipé des silencieux ont comme rôles de diminué le bruit des gaz chauds et les vibrations. [6]

Le système des gaz d'échappement pour une turbine à gaz du type V94.2 est formé des éléments suivants:

- buse d'entrée et diffuseur
- élément rond carré de raccordement
- joint de dilatation à l'entrée du déviateur
- boîtier du déviateur
- plaque de fermeture
- joint de dilatation côté cheminée
- élément carré-carré de raccordement
- silencieux
- élément rond-carré de raccordement
- cheminée
- structure de support, échelles et passerelles



Figure 3.20 : Cheminée



1. Joint d'expansions des soufflets
2. Tube de vidange – Raccord de tube
3. Paroi conique
4. Joint d'expansion des soufflets
5. Tube de vidange – Raccord de tube

Figure 3.21 : Diffuseur

3.5.10- Systèmes de protection :

a) Système de protection de dépassement de température :

Le système de protection de dépassement de température est l'un des systèmes de protection primaires de la turbine à gaz. Le système déclenche une alarme dès que la température dépasse la limite fixée.

b) Système de protection et de détection des vibrations :

Le système est constitué de plusieurs détecteurs de vibrations. Il agit pour mettre la turbine soit en alarme soit en déclenchement. Les capteurs ou détecteurs de vibrations sont répartis stratégiquement en différents points de la turbine.

c) Système de protection et de détection de flamme :

Le système sert pour les trois fonctions principales suivantes :

- Lorsque la vanne de régulation qui contrôle l'arrivée du combustible pour l'allumage est en fonctionnement et que les circuits d'allumage sont sous tension dans la séquence de démarrage, la vanne d'arrêt de combustible se déclenche si la flamme n'est pas détectée dans le temps réglé du temporisateur d'allumage (généralement 60 secondes). Et les circuits d'allumage ne sont plus sous tension. Cela permet d'éviter un excès de concentration de combustible dans la turbine et dans le système d'échappement pour éviter tout risque d'explosion dans les conduites.[8]
- Lorsque la flamme est établie et détectée au moment de l'allumage dans la séquence de démarrage, la détection de la flamme est utilisée pour commander d'autres phases de la séquence de démarrage pour la montée en régime de la turbine.
- S'il y a une disparition de flamme après que l'allumage ait été établi, la totalité du débit de combustible à la turbine est immédiatement arrêté pour empêcher le combustible non brûlé de pénétrer dans l'échappement.

d) Système de protection contre les pulsations au démarrage et à l'arrêt :

Les caractéristiques de pression et de débit du compresseur sont telles qu'elle demande un équipement spécial et une séquentielle des composants de la turbine pour empêcher le pompage du compresseur au cours de l'accélération pour prendre sa vitesse dans la séquence de démarrage.[8]

La protection du pompage est également nécessaire pendant la séquence d'arrêt et de décélération lorsque la turbine est déclenchée et qu'il n'y a plus de flamme dans le système de combustion. Le pompage dans les cycles de décélération et d'accélération est habituel dans les compresseurs à haut rendement.

C'est pourquoi, pour empêcher tout dommage important à la turbine et à son compresseur, les équipements et composants ci-dessous jouent un rôle très important pour empêcher le pompage du compresseur axial :

- Deux vannes d'extraction sont prévues sur le manifold du dixième étage.
- Le compresseur axial est équipé à son admission d'aubage de pré rotation avec un mécanisme de commande pour la couronne qui entraîne les aubages orientables.
- Les contacteurs de fin de course sur les vannes d'extraction du compresseur.[8]

3.5.11 Systèmes de contrôle :

Les systèmes de contrôle de la turbine à gaz consistent en des ensembles ou dispositifs de composants montés sur la turbine à gaz, sur le tableau de contrôle électrique et les câbles d'interconnexions entre l'armoire de contrôle et la turbine à gaz, ces dispositifs effectuent un contrôle des différents paramètres (température, vitesse, pression,...), pour assurer le bon fonctionnement de la turbine à gaz.

a) Système de contrôle du fuel :

La fonction primaire du système de contrôle du fuel est de contrôler la vitesse de la turbine en charge, il comprend également :

- La fonction d'allumage.
- La fonction d'accélération.
- La fonction de contrôle limite du combustible.
- La fonction de contrôle de la température d'échappement.

b) Système de contrôle de la température :

Pour obtenir le meilleur rendement de la turbine à gaz il est souhaitable de travailler avec des températures du gaz à l'entrée de la section turbine aussi hautes que possible. Cependant, afin de travailler à l'intérieur des limites de résistance des pièces il ne faudra pas dépasser un maximum permis de température d'entrée et d'échappement.

Ainsi, un système de contrôle de température est nécessaire pour contrôler la vitesse
Ou la charge dans le cas où la température d'admission ou d'échappement dépasse les
Limites prescrites. [8]

Conclusion :

Une description détaillée de la turbine à gaz V94.2 a été présentée le long de
ce chapitre. Toutes les parties constituantes de cette turbine ont été abordées du point
de vue technologique et fonctionnel. Enfin, une étude du système de commande et de
contrôle ainsi que du système de protection a été présentée.

Chapitre 4 : Etude thermodynamique de la turbine V94.2

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons calculer les paramètres thermodynamique de la turbine à gaz V94.2 d'après le cycle de Brayton, dans un premier temps, en utilisant les données standards du constructeur et par la suite, en se basant sur les conditions d'exploitation sur site. L'objectif principal de ce calcul est de déterminer le degré d'influence des conditions climatiques et plus particulièrement la température de l'air ambiant sur les performances thermodynamiques de la turbine.

4.1-Description et étude du cycle air - gaz :

Le cycle thermodynamique de base décrivant le fonctionnement d'une turbine à gaz est le "cycle de Brayton". C'est un cycle thermodynamique ouvert du fait que les gaz d'échappement sont évacués directement vers l'atmosphère sans aucune récupération (cycle non régénéré, non combiné,...). Il se compose essentiellement de quatre transformations (deux isobares et deux isotropes) qui sont représentées sur les diagrammes (P- v) et (T S) de la figure.4.1 [9]

a) Cycle idéal ou parfait:

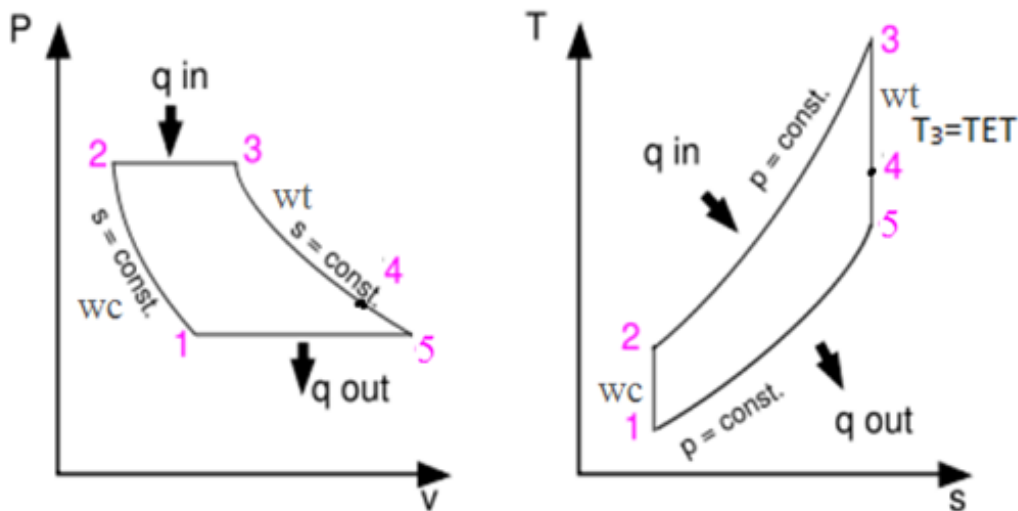


Figure 4.1: Diagramme de cycle thermodynamique de BRAYTON idéal

- b) 1 à 2 : compression isentropique de l'air (compresseur).
- c) 2 à 3 : combustion isobare (chambre de combustion).
- d) 3 à 4 : détente isentropique (turbine).
- e) 4 à 1 : refroidissement isobarique (échappement).

b) Cycle réel :

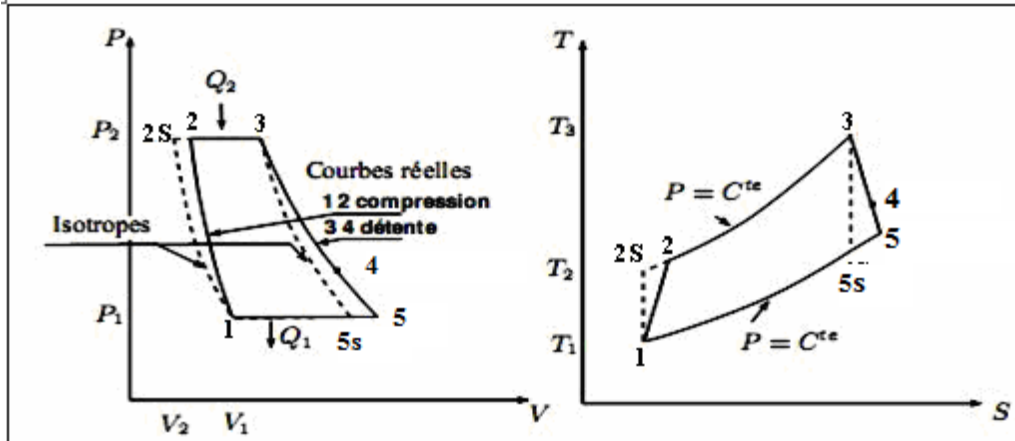


Figure 4.2: Diagramme de cycle thermodynamique de BRAYTON (réel)

Le rendement du compresseur :

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (4-1)$$

ou, si la chaleur spécifique est constante, le rendement thermique sera :

$$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad (4-2)$$

Le rendement de la turbine :

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{5s}} \quad (4-3)$$

si la chaleur spécifique constant, le rendement thermique sera :

$$\eta_{th} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \quad (4-4)$$

4.2-Les données du constructeur :

La pression ambiante après le filtre	$P_1 = 1 \text{ bar}$
Le combustible : gaz naturel	$PCI = 8605.57$ (kcal/N ³)
Le taux de compression	$\tau = 12$
La température à l'entrée de compresseur	$T_1 = 300 \text{ (k)}$
La température à la sortie de la C-C	$T_3 = 1752 \text{ (k)}$
Rendement isentropique du compresseur	$\eta_{isc} = 91,00 \%$
Rendement isentropique de la turbine	$\eta_{ist} = 88,00 \%$
Rendement isentropique de la chambre du combustion	$\eta_{isc} = 96 \%$
Débit massique d'air	$\dot{m}_a = 548 \text{ (kg/s)}$
Débit massique de gaz	$\dot{m}_g = 465,85 \text{ (kg/s)}$
Débit massique de combustible	$\dot{m}_c = 14,87 \text{ (kg/s)}$
Chaleur spécifique de l'air	$c_{p_c} = 1,005 \text{ (kJ/kg.k)}$
Chaleur spécifique du mélange	$c_{p_{cc}} = 1,168 \text{ (kJ/kg.k)}$
Chaleur spécifique de turbine	$c_{p_t} = 1,0893 \text{ (kJ/kg.k)}$
Coefficient poly tropique de l'air	$\gamma_{air} = 1,3874$
Coefficient poly tropique	$\gamma_t = 1,3405$
Le rendement brut à la Charge de Base	$\eta_{NENC} = 0,33541006$
Effet de la perte de pression à la sortie	$\eta_{G3} = 1,00060265$
Effet du pouvoir calorifique inférieur gaz combustible (PCI)	$\eta_{G4} = 0,9995$
Effet de l'humidité relative ambiante	$\eta_{G5} = 1,0034092$
Effet de la température de l'air ambiant sur le rendement à la Charge de Base 100%	$\eta_{G7} = 1,02663007$
Effet du vieillissement sur le rendement	$\eta_{G10} = 0,9633$
Pertes conventionnelles Alternateur et rendement	$\eta_{G11} = 1,00145991$
Consommation d'énergie électrique de tous les auxiliaires de TG	$P_{aust} = 1016,052$ (kW)
Puissance brute corrigée aux bornes de l'Alternateur	$PGT_{NENC.cor} = 182493$.54 (kW)

Tableau 4.1 : les données de calcul de la TAG [5]

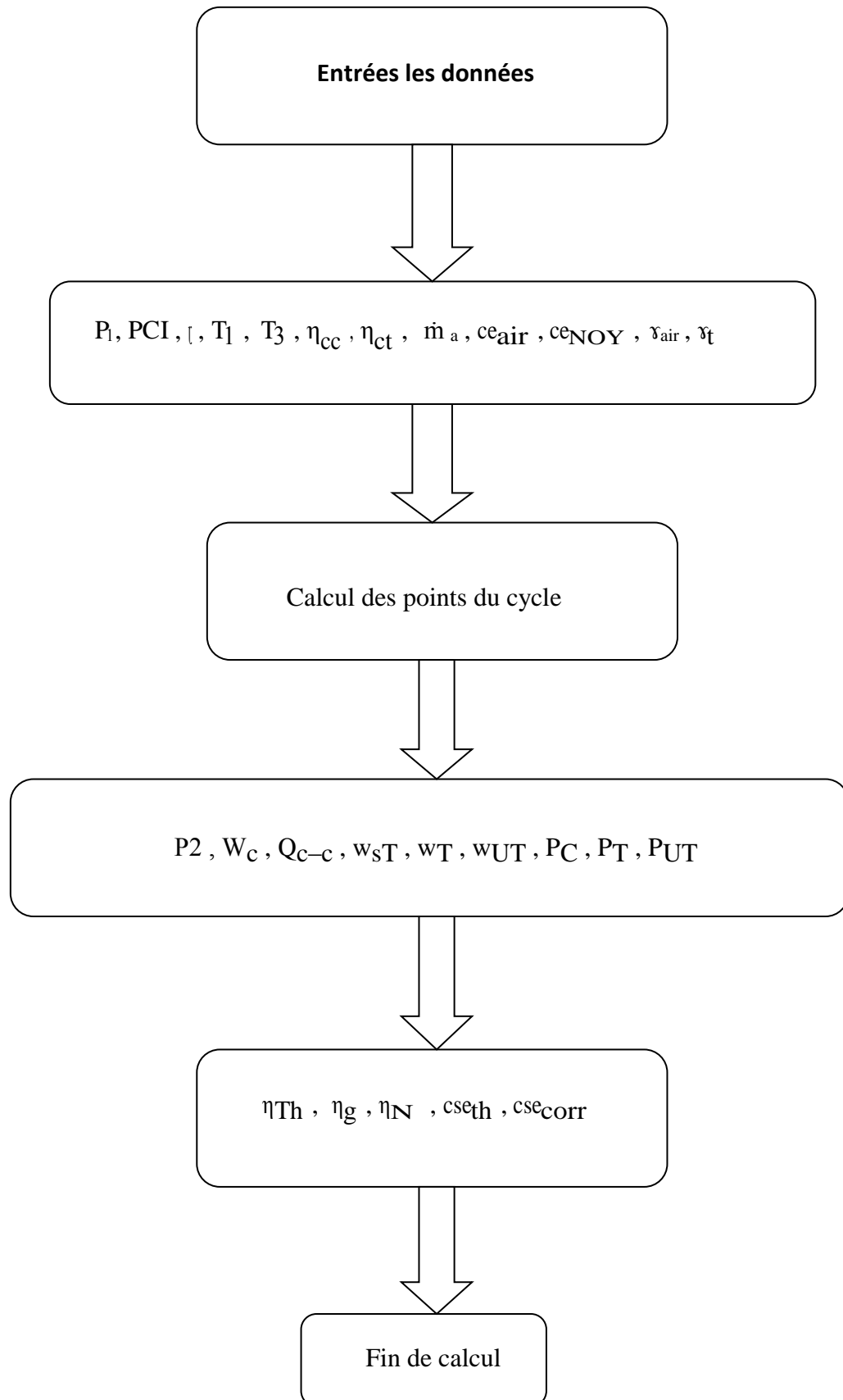


Figure 4.2 : Schéma résumant les étapes du calcul

4.3-Etude théorique de la turbine TAG V94.2 :

4.3.1-Calculs des paramètres du compresseur:

La température du compresseur est considérée égale à la température ambiante $T_1=300$ K.

Pression de d'admission du compresseur, c'est la pression atmosphérique dans la zone d'installation de la turbine. $P_1=1$ bar.

Le bilan énergétique entre l'entrée et la sortie du compresseur, nous donne :

$$W_c + Q = \Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p \quad (4-5)$$

W_c : le travail absorbé par le compresseur.

Q : la chaleur fournie au système.

ΔH : enthalpie totale spécifique.

ΔE_c : variation de l'énergie cinétique.

ΔE_p : variation de l'énergie potentielle.

— Le processus de compression peut être considéré comme adiabatique, donc Q peut être négligé.

— On considère encore que la différence de la hauteur est négligeable ; donc ΔE_p est nul.

— Puisque l'étude se fait sur un compresseur axial, la différence entre la vitesse d'entrée et la vitesse de la sortie est négligeable, ΔE_c peut aussi être négligée.

En tenant compte de toutes ces hypothèses, le travail réel spécifique (par unité de masse) du compresseur est donné par:

$$W_c = H_2 - H_1 \quad (4-6)$$

L'air est assimilé à un gaz parfait, l'équation (3-7) peut s'écrire :

$$W_c = C_p(T_2 - T_1) \quad (4-7)$$

Avec T_1 et T_2 , respectivement les températures à l'entrée et la sortie du compresseur.

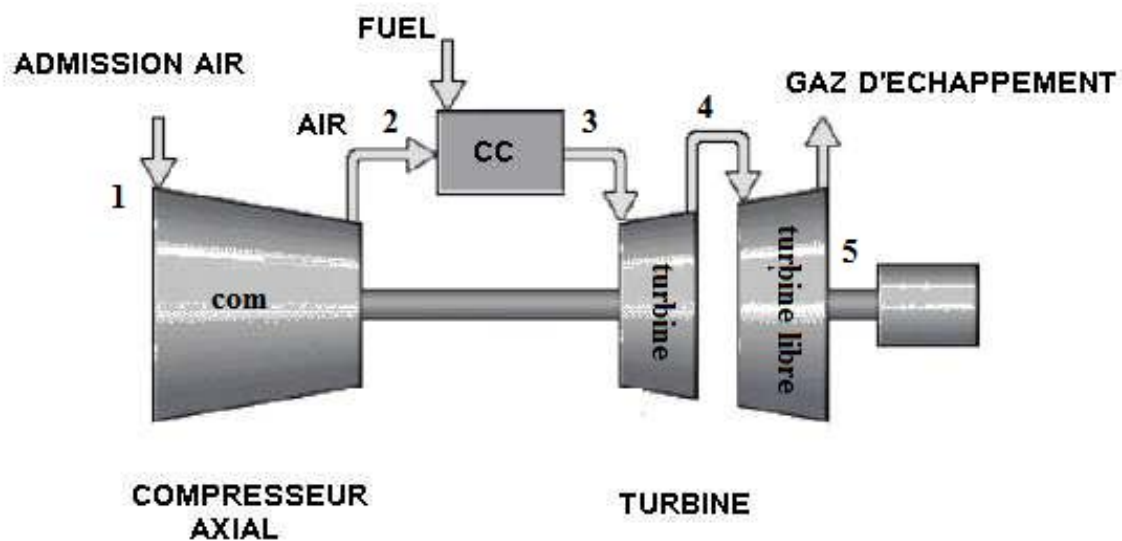


Figure 4.3 : Schéma de la turbine [11]

a) Calcul de la Pression P_2 et température T_2 de fin de compression Isentropique:

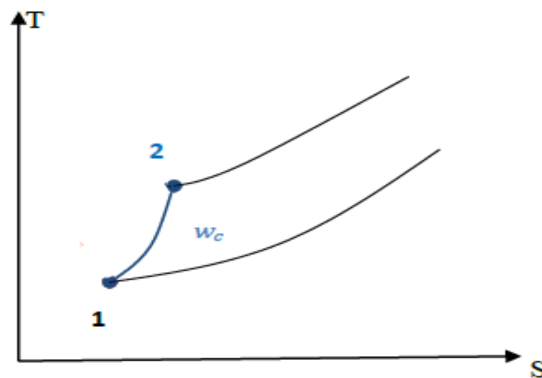


Figure 4.4: Transformation sur un étage du compresseur

La pression P_2 à la sortie du compresseur est donnée par la relation suivante :

$$P_2 = P_1 \cdot \tau \quad (4-8)$$

$$P_2 = 1 \cdot 12 = 12 \text{ bar}$$

Avec τ : Taux de compression.

Tel que :

P_2 : pression à la sortie du compresseur.

P_1 : pression d'admission du compresseur .

Γ : taux de compression

b) Calcul T2is

$$T_{2is} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma} \right)} \quad (4-9)$$

$$T_{2is} = 300 \left(\frac{12}{1} \right)^{\left(\frac{1.3847-1}{1.3847} \right)} = \mathbf{598.3309 \text{ k}}$$

c) Détermination du travail du compresseur :

Le travail isentropique du compresseur :

$$W_{isc} = C_{pc} (T_{2is} - T_1) \quad (4-10)$$

Dance on trouve :

$$W_{isc} = 1.005 * (598.3309 - 300) = \mathbf{299.82 \text{ kJ/kg}}$$

Et le travail réel du compresseur :

$$W_{CR} = W_{isc} \cdot \eta_{isc} \quad (4-11)$$

On trouve

$$W_{CR} = 299.82 * 0.91 = \mathbf{272.83 \text{ kJ/kg}}$$

c) Déduire la température T2 :

$$W_{CR} = c_{pc} (T_2 - T_1) \quad (4-12)$$

La température T2 à la fin de la compression isentropique est donnée par la relation

Suivante :

$$T_2 = T_1 + W_{CR} / C_{Pc} \quad (4-13)$$

$$300 + (272.83 / 1.005) = \mathbf{571.48 \text{ k}}$$

4.3.2- Calcul les paramètres de Chambre de combustion :

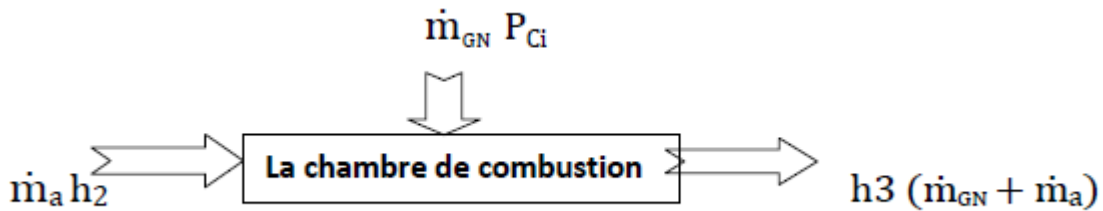


Figure 4.5: Schéma de chambre du combustion .

a) La quantité de chaleur

D'après les données de l'instructeur on a

$$\eta_{cc} = 0.96 \%$$

$$Q_{cc} = c_{pcc}(T_3 - T_2) \cdot \eta_{cc} \quad (4-14)$$

$$Q_{cc} = 1.168 (1752 - 571.48) \cdot 0.96 = 1323.68 \text{Kj/kg}$$

c_{pcc} : Chaleur spécifique du mélange

b) Calcul de Rapport du mélange air-combustible :

$$\dot{m}_a h_2 + \eta_{cc} \dot{m}_c P_{ci} = (\dot{m}_a + \dot{m}_c) h_3 \quad (4-15)$$

$$h_2 + \eta_{cc} \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a} p_{ci} = \left(1 + \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a}\right) h_3$$

$$h_2 + \eta_{cc} \cdot f p_{ci} = (1+f) h_3$$

$$h_2 + \eta_{cc} \cdot f p_{ci} = h_3 + f h_3$$

$$\eta_{cc} \cdot f p_{ci} - f h_3 = h_3 - h_2$$

$$f(\eta_{cc} \cdot p_{ci} - h_3) = h_3 - h_2$$

$$f = \frac{(C_{pcc} T_3) - (c_{pa} T_2)}{(\eta_{cc} \cdot P_{ci}) - (C_{pcc} T_3)} \quad (4-16)$$

$$f = \frac{(1.168 \cdot 1752) - (1.025 \cdot 571.48)}{(0.96 \cdot 8605 \cdot 4.18 \cdot 0.8) - (1.168 \cdot 1752)}$$

$$f = 0.057$$

4.3.3-Calculs des paramètres de la turbine :

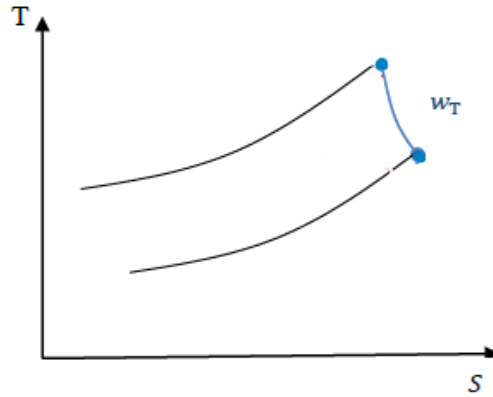


Figure 4.6: Transformation sur l'étage du turbine

On a :

$$C_{pm} = \frac{c_{pt} + c_{pc}}{2} \quad (4-17)$$

C_{pm} : Chaleur spécifique moyenne.

a) Calcul la température :

$$T_3 - T_4 = \frac{m_a \cdot c_{pc}}{m_g \cdot c_{pt}} (T_3 - T_2) \quad (4-18)$$

$$T_4 = T_3 - \left[\frac{m_a \cdot c_{pc}}{m_g \cdot c_{pt}} (T_3 - T_2) \right]$$

$$T_4 = 1752 - \left[\frac{450}{465} \cdot \frac{1.0248}{1.057} \cdot (1752 - 571.48) \right]$$

$$T_4 = 644.36 \text{ k}$$

b) Calcul le travail de la turbine :

$$W_{rt} = c_{pm} (T_3 - T_4) \quad (4-19)$$

$$W_{rt} = 1.057 (1752 - 644.36) = 1171 \text{ kJ/kg}$$

4.3.4- Calculs les puissances :

a) Calcul La puissance du compresseur:

$$p_c = \dot{m} a w_c \quad (4-20)$$

$$P_c = 548 \cdot 278.22 = 152464 \text{ W}$$

Ou bien :

$$\text{Si } \dot{m} a = \dot{m} g - \dot{m} c$$

$$\dot{m} a = 450 \text{ kg/s}$$

Donc

$$P_c = 450 \cdot 278.22 = 125199 \text{ W} = 125.199 \text{ Mw}$$

b) La puissance de la chambre du combustion :

$$P_{cc} = \dot{m} c \cdot Q_{cc} \quad (4-21)$$

$$P_{cc} = 14.85 \cdot 1323.85 = 19778 \text{ W} = 19.68 \text{ Mw}$$

c) Puissance de la turbine libre :

$$P_c = P_t$$

$$P_{tl} = p_{cc} - p_t$$

$$P_{tl} = 19.68 - 125.199 \quad (4-22)$$

$$P_{tl} = |105.42| \text{ Mw}$$

Déduire T5 :

$$P_{tl} = \dot{m} g \cdot C_{pt} (T_4 - T_5)$$

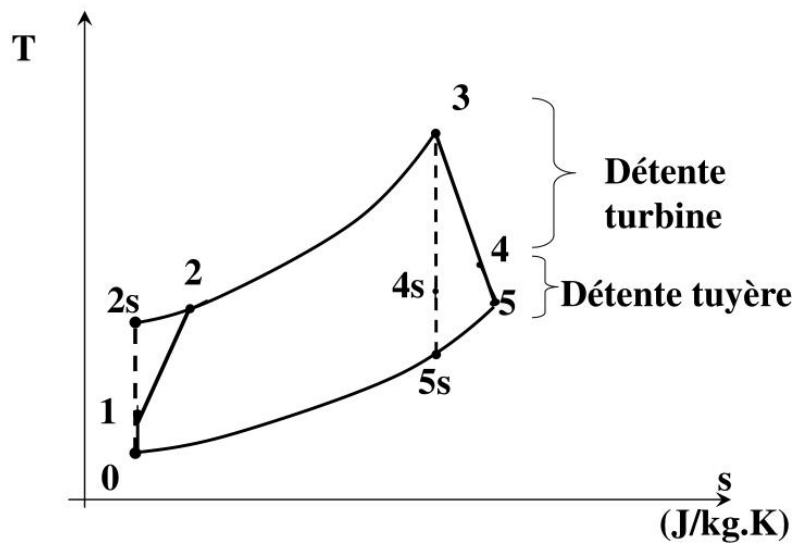


Figure 4.7: Transformation sur un étage du turbine libre

$$T5 = - \frac{P_{tl}}{mgC_{pt}} + T4 \quad (4-23)$$

$$T5 = - \frac{105.42}{465 \times 1.08933} + 650.04$$

$$T5 = 649.83 \text{ k}$$

d) Le travail utile :

$$W_u = |W_t| - |W_c| \quad (4-24)$$

$$1171 - 278.22 = 892.78 \text{ kJ/k} .$$

e) La puissance utile (P_U) de la turbine libre qui entraine la génératrice de courant:

$$P_U = (m_a + m_c) W_u = mg W_u \quad (4-25)$$

$$P_U = 465.85 \times 892.78 = 415.902 \text{ Mw}$$

4.3.5- Calculs des rendements :

a) Rendement de la turbine :

$$\eta_t = \frac{p_t}{p_{cc}} . \quad (4-26)$$

$$\eta_t = \frac{12.5}{19.57} = 0.63 = 63\% .$$

b) Rendement de la turbine libre :

$$\eta_{tl} = \frac{p_{cc} - p_c}{p_{cc}} . \quad (4-27)$$

$$\eta_{tl} = \frac{19.57 - 12.5}{19.57} = 0.36 = 36\% .$$

c) Rendement Carnot :

$$\eta_c = 1 - \frac{T5}{T3} \quad (4-28)$$

$$\eta_c = 1 - \frac{649}{1752} = 0.37 = 37\%$$

d) Rendement mécanique pris dans l'ordre 95-98%

$$\text{soit } \eta_m = 96.5\%$$

4.3.6- calcul de la consommation spécifique :

a) Consommation spécifique :

$$c_{se_{th}} = \frac{3600 \times f}{W_{ut}} . \quad (4-29)$$

$$cse_{th} = 0.23$$

b) **Consommation spécifique (réel) (cse_{corr}):**

D'après le constructeur on a

$$\eta_{NENC.corr} = \eta_{NENC} / (\eta_{G3} \times \eta_{G4} \times \eta_{G5} \times \eta_{G6} \times \eta_{G7} \times \eta_{G10} \times \eta_{G11}) \quad (4-30)$$

(η_{G3} , η_{G4} , η_{G5} , η_{G6} , η_{G7} , η_{G10} et η_{G11} étant les différents rendement qui tiennent en compte des différentes pertes, il est donné par le constructeur ; voir tableau

$$\eta_{NENC.corr} = 0.34 = 34\% .$$

$$cse_{corr} = \eta_{N.corr} = \eta_{NENC.corr} \times (1 - (P_{aust} / PGT_{NENC.corr})) \quad (4-31)$$

$$cse_{corr} = 0.35 = 35\%$$

paramètres	résultats
La pression à la sortie de compresseur	$P_2 = 12(\text{bar})$
Le travail réel fourni par le compresseur	$w_c = 278.22 (\text{kJ/kg})$
La température à la sortie de compresseur	$T_2 = 571.53 (\text{k})$
La température à la sortie de turbine	$T_4 = 644.04 \text{ k}$
La température à la sortie de turbine libre	$T_5 = 649.83 \text{ k}$
Rapport du mélange air-combustible	$f = 0,057$
Quantité de chaleur de la combustion	$Q_{cc} = 1323.68 (\text{kJ/kg})$
Le travail réel fourni par le gaz à la turbine	$w_T = 1164(\text{kJ/kg})$
Le travail utile	$w_{UT} = 885.88 (\text{kJ/kg})$
La puissance de compresseur	$P_C = 125.2 (\text{MW})$
La puissance de la turbine	$P_{TI} = 105.42(\text{MW})$
La puissance utile	$P_{UT} = 415.902(\text{MW})$
Rendement de la turbine	$\eta_T = 36\%$
Rendement de la turbine libre	$\eta_T = 63\%$
Rendement Mécanique	$\eta_M = 96.5\%$
Rendement Carnot	$\eta_{CA} = 63.7\%$
Consumation spécifique(théorique)	$cse_{th} = 0,23 (\text{kg/kwh})$
Consumation spécifique(réelle)	$cse_{corr} = 0,35 (\text{kg/kwh})$

Tableau 4.2 : Résultat de calcul

4.3.4- Influence de la température sur les travaux et les puissances :

La température de référence étant 27°C pour la réaliser en hivers 22°C on doit procéder à un chauffage de l'air ambiant ; en été 35°C on procède à un refroidissement.

T(k)	Wc (kj/kg)	Pc (Mw)	Qcc (kj/kg)	Pcc (Mw)	Wt (kj/kg)	Pt (Mw)	Wu (kj/kg)	Pu (Mw)
295	273,6	123,1	1343,29	19,94786	1188,11	103,15	914,51	426.02
300	278,22	125,2	1323.68	19,7802	1171	105,42	892,78	415.90
303	281	126,4	1325,52	19,68997	1172,39	106,71	891,39	415.25
308	285,66	128,6	1315	19,52775	1163,76	109,07	878,1	409.06

Tableau 4.3 : Résultat de calcul

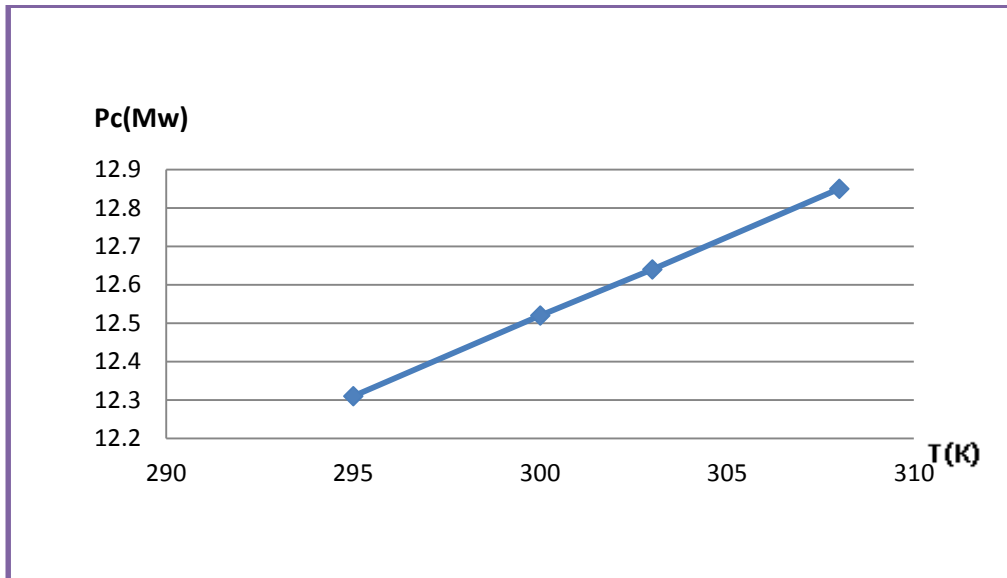


Figure 4.8 : Variation de puissance du Compresseur en fonction de Température

La figure (4.8) représente la puissance de compresseur en fonction du température, on remarque que la puissance de compresseur augmente parce que le travail de compresseur augmente par l'augmentation de la température.

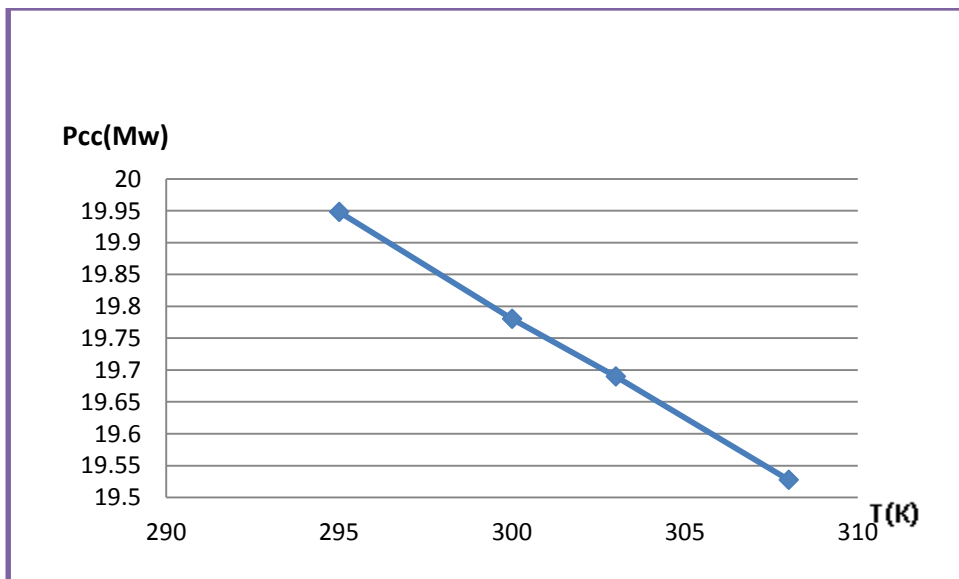


Figure 4.9 : variation de puissance chambre de la combustion de température

La figure (4.9) représente la puissance de chambre de combustion en fonction de la température, on remarque que la puissance diminue par l'augmentation de la température

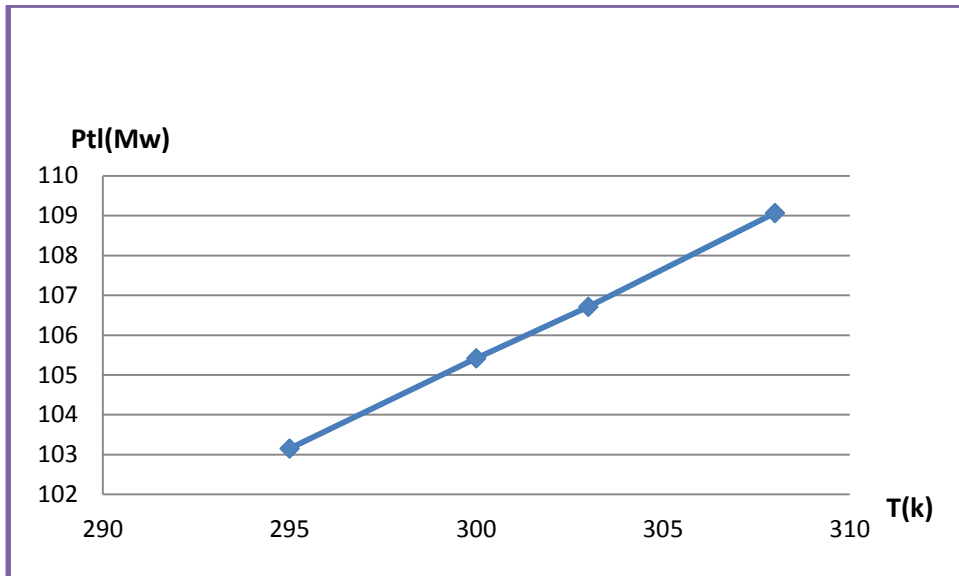


Figure 4.10 : Variation de la puissance turbine en fonction température

La figure (4.10) représente la puissance de turbine en fonction de la température, on remarque que la puissance de turbine augmente parce que le travail de turbine augmente par l'augmentation de température.

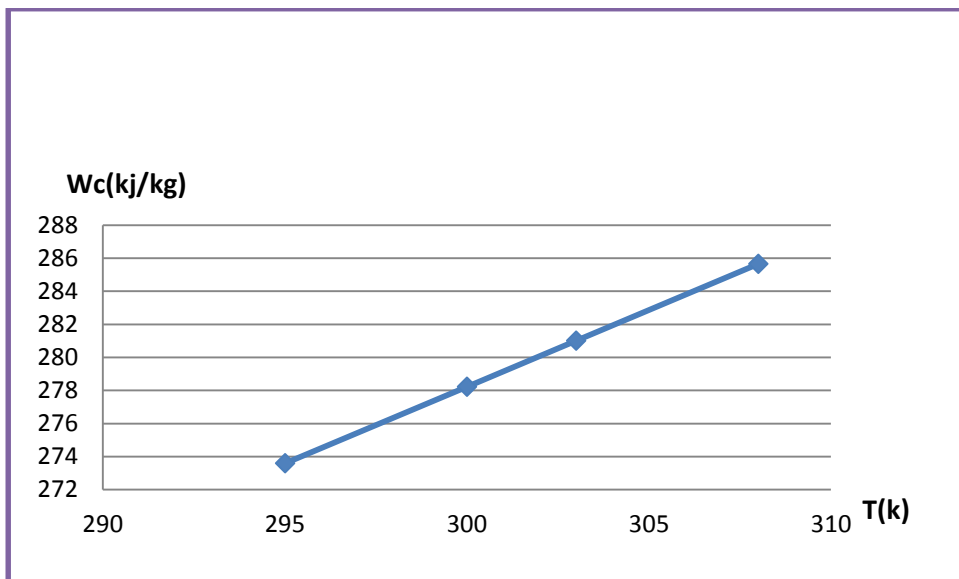


Figure 4.11 : Variation de travaille compresseur en fonction de température

La figure (4.11) représente le travail de compresseur en fonction e la température, on remarque que le travail de compresseur augment avec l'augmentation de température.

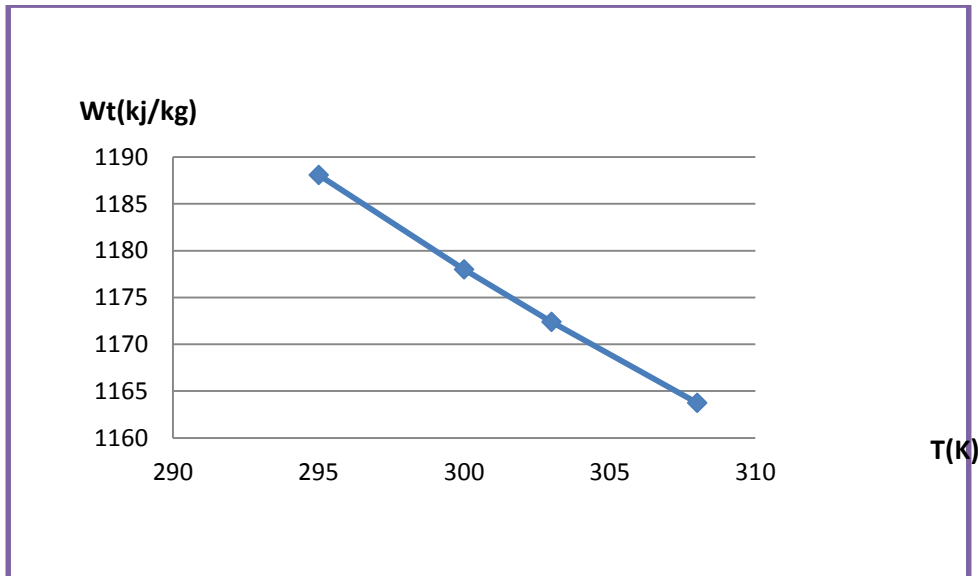


Figure 4.12 : Variation de travaille turbine en fonction de température

La figure (4.12) représente le travail de turbine en fonction e la température, on remarque que le travail de turbine diminue avec l'augmentation de température.

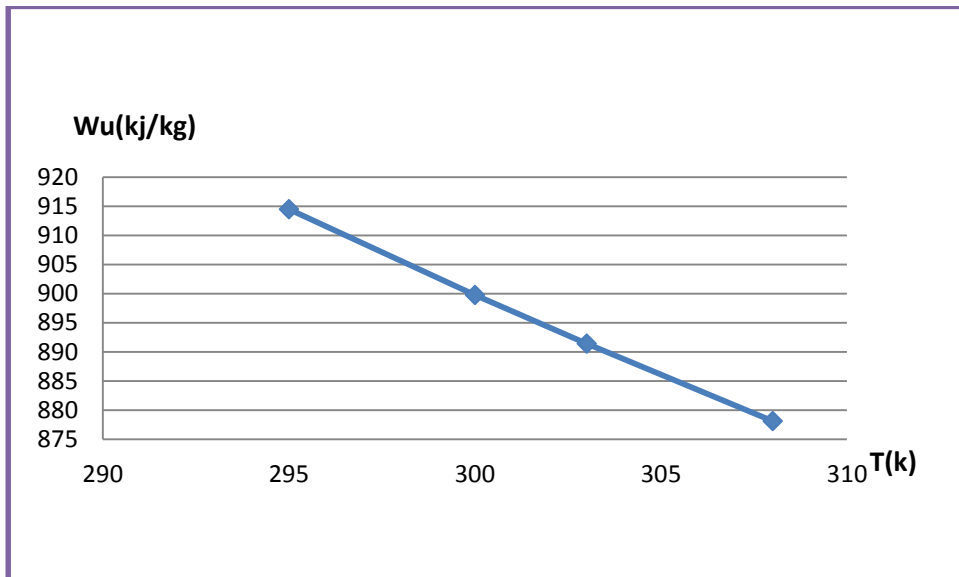


Figure 4.13 : Variation de travaille utile en fonction de température

La figure (4.13) représente le travail utile en fonction du Température ambiante, on remarque que le travail utile diminue avec l'augmentation du Température ambiante.

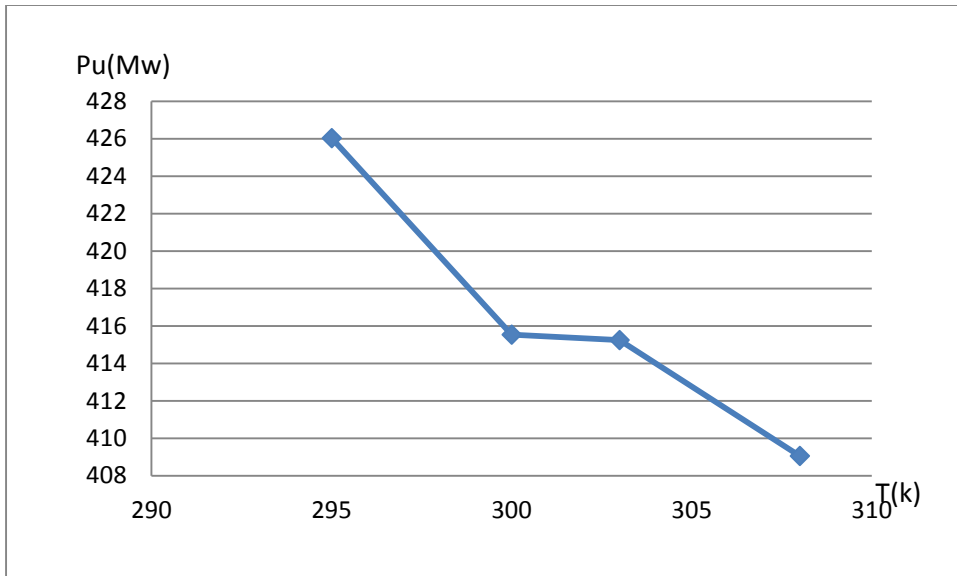


Figure 4.13 : Variation de puissance utile en fonction de température

La figure (4.12) représente la puissance utile en fonction de la température, on remarque que la puissance utile diminue en fonction de la température parce que la puissance de turbine est moins que la puissance de compresseur.

Conclusion :

Nous avons fait des calculs énergétiques détaillés de la turbine à gaz V94.2. Nous avons aussi analysé les caractéristiques thermodynamiques des différents éléments de cette turbine (les températures, les pressions, la puissance et le rendement, consommation spécifique).

Conclusion Générale

Ce mémoire nous a permis de comprendre au mieux l'importance et la nécessité de l'utilisation des turbines à gaz dans notre pays la centrale SPE de l'Arbaa en est une ou nous avons effectué un stage. Au cours de notre stage, on a assisté à la maintenance et à de nombreuses révisions de turbine à gaz de V94.2 qui sont prises en charges par le groupe SPE, ce qui nous a permis de voir les différents organes qui constituent la turbine à gaz ainsi que leurs rôles.

Notre objectif dans ce mémoire est faire une étude comparative des performances énergétiques d'une turbine à gaz V94.2 en faire plus calcul pour investiguer l'effet de quelques paramètres sur la performance énergétique de la turbine à gaz principalement l'effet des saisons c'est à dire la température ambiante (travail utile, puissance utile, consommation du gaz et les Rendements).

La température de référence étant 27°C pour la réaliser en hivers 22°C on doit procéder à un chauffage de l'air ambiant ; en été 35°C on procède à un refroidissement

Une description détaillée de la turbine à gaz V94.2 a été effectuée que ce soit sur le plan technologique que fonctionnel. Une comparaison des résultats entre les performances de la turbine avec les conditions ISO, les conditions réelles a été réalisée et il a été constaté qu'un écart peu, dans certains cas, s'avérer conséquent. L'étude du cycle thermodynamique réel d'une installation de turbine à gaz à bi-arbres, prise dans son site d'exploitation, a aussi permis d'évaluer le degré d'influence des conditions climatiques qui doivent être prises en compte à savoir l'altitude (température, pression, l'humidité...etc.) afin d'estimer réellement les performances de la turbine.

Bibliographie

- [1] site web ligne : www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous
- [2] T. Zakaria-Mohamed. «présentation d'une centrale turbine a gaz V94.2», Rapport de stage, de l'arbaa (SPE), (2010).
- [3] M..Nassim «Étude thermodynamique de la turbine à gaz MS7001EA au niveau du complexe GNL1K de Skikda » mémoire de fin d'étude de master en Département mécanique université badji mokhtar Annaba, (2017).
- [4] H. Mohamed «turbine a gaz», Rapport de stage, de l'arbaa (SPE), (2021).
- [5] S.Yasser et A.Billal « Etude thermodynamique D'une turbine à gaz Type V94.2 (avant et après la révision) » mémoire de fin d'étude de master en Département mécanique Filiale énergétique université Saad Dahleb BLIDA (2019).
- [6] A.Boulainine et S.Mekhaba «Exploitation des turbines à gaz » mémoire de fin d'étude de master (2007).
- [7] manuel de formation, T.I, turbine à gaz V94.2 ; ChapI. Généralité (principe de fonctionnement). AnsaldoEnergia, Sonelgaz. Centrale turbine à gaz de Belouadi L'arbaa.
- [8] A. Fouzia «Production d'Electricité par une turbine à gaz», Rapport de stage Master Dynamique des Fluides et Energétique Filiale physique Université science et Technique HOUARI BOUMADIENE (USTHB) (2010)
- [9] GE Oil & Gas , “Manuel de formation pour la conduite et l'entretien”, AFFAIRE N.P : SONATRACH SRGA2 , LOCALITE :ALGERIE.
- [10] H.Othman «fonctionnement d'une centrale électrique turbine a gaz », Rapport de stage, Université de Alger (USTHB), (2014).
- [11] site web en ligne [Whttps://www.google.com/search?q=shemma+turbine](https://www.google.com/search?q=shemma+turbine)