



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

N° d'ordre :
N° de série :

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie Energétique

Présenté par :

ANTIR MOHAMMED ABDELJAALIL

KHEDIMO MOHAMED ABDELJALIL

Thème

*Contribution à l'amélioration de performance
énergétique de la station de pompage du gaz
naturel de SONATRACH Hassi Berkine*

Soutenu publiquement le : 01 /06/2017

Devant le jury composé de :

Dr. Kabdi Zakaria	MCB	U. K. M. Ouargla	Présidence
Mme. Dhamene Djmila	MAA	U. K. M. Ouargla	Examinatrice
Dr. Dokkar Boubekur	MCA	U. K. M. Ouargla	Encadreur

An née universitaire : 2016/2017

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre **Allah**, pour le courage et la force qu'il nous a donné pour effectuer ce travail. Au moment d'achever ce travail modeste, Nous remercions profondément l'encadreur du mémoire Dr. **Dokkar Boubekour** Maître Assistant à l'université d'Ouargla, Qui a passé un temps précieux pour ce travail. Nous ont encouragés à continuer et à persévérer.

Et les membres de jury d'avoir accepté notre travail

Dr. Kabdi Zakaria

Mme. Dhamene Djmila

Et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin durant toute la période de travail et en particulier :

Mr. Djeber Ben Sacci

Mr. Debbabi Cherif

Mr. Mehire ahmed yacine



Dédicace

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte des objectifs.

Je dédie ce modeste travail, fruit de très longues années de labeur: A la seule femme de ma vie qui à énormément souffert pour faire de moi ce que je suis et qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi ; Ma très chère Mère.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Je remercie également mon frère Mohamed amine, khadire, qui se tenait à côté de moi tout au long de mon école de carrière

Je remercie tous mes sœurs princesses en son nom



Sommaire

Remerciement
Résumé
Sommaire
Liste de figure
Liste de tableau
Nomenclatureur
Introduction Générale

Chapitre I : Présentation Du Champ D'EMERK (HASSI BERKINE)

	Page
I. 1. Introduction	03
I. 2. Présentation des champs exploités par le CPF	04
I. 2-1. Localisation du site	04
I. 2-2. Description des réservoirs	05
I. 2-3. Caractéristiques des hydrocarbures	07
I. 2-3-1. Caractéristiques du gaz	07
I. 2-4. Dimensionnement des installations	08

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

	Page
II. 1. Introduction	11
II. 2. Généralités sur les turbines	11
II. 2-1. Turbine à gaz	11
II. 2-1-1. Définition	11
II. 2-1-2. Les éléments d'une turbine à gaz	11
II. 2-1-3. Classification des turbines à gaz	12
II. 2-1-3-1. par le mode de construction	13
II. 2-1-3-2. Par le mode de travail	14

Sommaire

II. 2-1-3-3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique	14
II. 2-1-4. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz	15
II. 2-1-4-1. Théorie des turbines a gaz	16
II. 2-1-4-1-2. Diagrammes des turbines à gaz	16
II. 2-1-5. Domaines d'application des turbines à gaz	18
II. 2-1-6. Avantages et inconvénients des turbines à gaz	18
II. 2-2. Turbine à vapeur	19
II. 2-2-1. Définition	19
II. 2-2-2. Classification des turbines à vapeur	19
II. 2-2-2-1. La méthode de fonctionnement de la vapeur	20
II. 2-2-2-2. Le sens d'écoulement de la vapeur	21
II. 2-2-2-3. La nature de fonctionnement thermodynamique	21
II. 2-2-2-4. Le mode de transmission d'énergie thermique	22
II. 2-2-3. Principe d'une turbine à vapeur	23
II. 2-3. Chaudière de récupération HRSG	23
II. 2-3-1. Températures du pincement et de l'approche	25
II.2-4 Les condenseurs	26
II.2-4-1Principes de fonctionnement	26
II.2-4-2Représentation schématique d'un condenseur	26

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

	Page
III. 1. Introduction	28
III. 2. Historique du cycle combiné	28
III. 3. Cycle combiné	29
III. 3-1. Cycle à récupération de la chaleur des gaz d'échappement	30
III. 4. Le principe d'un cycle combiné	31
III. 4-1. Cycle combine gaz –vapeur	31
III. 5. Thermodynamique du cycle combiné	32
III. 6. schéma de montage des turbines	34
III. 7. Evaluation de l'énergie récupéré	35
III. 8. Procédures numériques	38

Sommaire

III. 8-1. Définition Fortran 77	38
III. 9. choix de turbine à vapeur	40
III. 9-1. caractéristiques techniques	40
III. 9-1-1. Données techniques SST-150	40
III. 9-1-2. Données techniques SST-300	41
III. 10. Effet de débit de gaz	42
Conclusion	43
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

N° de figure		Page
Figure (I.1)	localisation des blocks du projet EL MERK	04
Figure (I.2)	environnement du site d'El MERK	05
Figure (I.3)	gisements / formations géologiques	06
Figure (I.4)	localisation des différents champs	06
Figure(I.5)	Schéma bloc simplifié	09
Figure(II.1)	Les éléments de la turbine à gaz.	12
Figure(II.2)	Classification des turbines à gaz	12
Figure(II.3)	Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres	13
Figure(II.4)	Mode de travail	14
Figure(II.5)	Représentation de cycle fermé et ouvert	15
Figure(II.6)	Pression et température dans les sections de la turbine	16
Figure(II.7)	Comparaison des cycles : idéal -et réel	18
Figure(II.8)	Schéma d'une turbine à vapeur.	19
Figure(II.9)	Mode de fonctionnement de la vapeur	20
Figure(II.10)	Turbine axial	21
Figure(II.11)	Turbine radiale	21
Figure(II.12)	Mode de transmission	22
Figure(II.13)	Turbine à disque	22
Figure(II.14)	Turbine à tambour	23

Sommaire

Figure(II.15)	Évolution des températures dans une chaudière à contre-courant	24
Figure(II.16)	Représentation du pincement et de l'approche	24
Figure(II.17)	Bilan d'énergie dans l'échangeur	25
Figure(II.18)	les condensers	26
Figure(III.1)	Schéma d'une centrale CHP à cycle combiné	30
Figure(III.2)	Représentation du cycle réel de Joule dans le diagramme (T.S)	30
Figure(III.3)	Le principe d'un cycle combiné	31
Figure(III.4)	Diagramme T-S du cycle combiné TG avec un cycle TV à simple pression	32
Figure (III.5)	Schéma de montage la méthode de la turbine à vapeur	34
Figure (III.6)	L'entrée du programme FORTRAN 77	38
Figure (III.7)	l'écriture sur la page du programme	39
Figure (III.8)	fichier de résultats	39
Figure (III.9)	photo d'une turbine SST-150	40
Figure (III.10)	photo d'une turbine SST-300	41
Figure (III.11)	Puissance mécanique en fonction de débit des gaz	42

Liste des tableaux

N° de tableau		Page
Tableau(I.1)	Composition moyenne des puits 'huile''	07
Tableau(I.2)	Composition moyenne des puits ''condensat''	07

Nomenclature

Symbols	Définition	Unité
M	La masse molaire	g/mol
n	Nombre de mol	mol
\dot{m}	La masse volumique	Kg/m ³
m	La masse	G
\dot{m}_{CH_4}	Debit volumique	M ³ /h
m_{gaz}	La masse de gaz échappement	G
CP	Capacité calorifique	kJ/kg*k
	ζ Capacité calorifique totale	Kj/kg*k
	F Puissance calorifique	W
ge	Les gaz d'échappement	—
amb	Air ambiant	—
T	La température	K C
	ζ Le Travail spécifique	kJ/kg
	Δ Chute enthalpie de gaz sortie	kJ/kg
h	L'enthalpie	kJ/kg
P	La Pression	Bar
	$\dot{\eta}$ Le rendement	%
	\dot{n} Débit volumique de gaz	Kg/s
	n Débit de vapeur d'eau	Kg/s
	T Température entrée du la turbine	K

Nomenclature

n	Débit de vapeur	kg/s
P	Puissance mécanique	W
P	Puissance mécanique totale	MW
Λ	Nombre des AVOGADRO	22.4 mol

Indice

C	Carbone	—
O	Oxygène	—
H	Hydrogène	—
N	azote	—
CH ₄	Le méthane	—
O ₂	dioxygène	—
	Λ di azote	—
	ζ Dioxyde de carbone	—
	h Vapeur d'eau	—

Nomenclature

Abbreviations

HRSG	H eat R ecovery S tream G énérateurs
DECO	D 'eau E conomiseur
DEVA	D 'eau E vaporateur
ECO	E conomiseur
EVA	E vaporateur
SHE	S urchauffeurs

Résumé

Résumé :

Dans la station de pompage des hydrocarbures de champ d'ELMERK HASSI BERKINE, les turbines à gaz jouent un rôle important pour la production d'énergie, mais, elles entraînent des émissions gazeuses importantes qui s'échappent dans l'air ambiant. Ces émissions possèdent une grande énergie calorifique non exploitée. Ce travail traite l'exploitation de ces gaz pour la production d'énergie électrique au moyen d'un échangeur de chaleur gaz-eau. La vapeur produite fait tourner des turbines à vapeur qui entraînent un alternateur pour produire l'énergie électrique, le résultat obtenu montre que à partir de gaz de 05 turbine à gaz MS5002C, on peut récupérer une énergie mécanique qui peut entraîner deux turbines à vapeurs de type SIMENSE (SST-150 ou SST-300), qui produisent une puissance totale de 70 MW, elle puissance peut couvrir un portant la consommation de l'électricité de la station.

Mots clés: turbine à vapeur, cycle combiné simple, la puissance, simulation numérique

Abstract:

In the LMERK HASSI BERKINE field hydrocarbon pumping station, gas turbines play an important role in generating energy, but they cause significant gaseous emissions to escape into the ambient air. These emissions have a large untapped calorific energy. This work deals with the exploitation of these gases for the production of electrical energy by means of a gas-water heat exchanger. The steam produced rotates steam turbines which drive an alternator to produce the electrical energy, the result obtained show that from MS5002C gas turbine gas a mechanical energy can be recovered which can confirm two steam turbines of SIMENSE type (SST-150 or SST-300), which produce a total power of 70 MW, it power can cover one can a carrying the electricity consumption of the station.

Keywords: steam turbine, cycle combined, power

Résumé

المخلص:

في محطة ضخ النفط موجودة في حاسي بركين المرك، التوربينات الغازية لها اهمية في انتاج الطاقة، لكنها تسبب إنبعاثات غازية محترقة المنطلقة في الهواء، هذه الإنبعاثات لديها طاقة حرارية كبيرة غير مستغلة. هذا العمل تقوم على توظيف هذه الغازات لإنتاج طاقة كهربائية عن طريق مبادل الحراري الغازي عن طريق تبخير الماء. بخار الماء الصادر من مبادل الحراري يقوم بعملية تدوير التوربينات البخارية التي وبدورها تقوم بدفع مولد الطاقة الكهربائية البديلة المنتجة. ونتائج التي تم حصول عليها هي انه يمكننا استعمال 05 توربينات غازية من نوع MS5002C. الطاقة الميكانيكية التي يمكن استردادها بنوعين من التوربينات البخارية ذات نوع وخصائص (SST-150 و SST-300) SIMENSE. والتي قوة إجمالية قدرها 72 ميغا، فبهذه الطاقة المنتجة يمكن أن تغطي إستهلاك الكهربائي لهذه المحطة.

الكلمات المفتاحية: التوربينات البخارية . الدورة المركبة البسيطة . القدرة

Introduction générale

Les dernières technologies avancées ouvrent des perspectives intéressantes pour augmenter le rendement de la production d'électricité. Parmi ces technologies, on trouve les systèmes simples qui font la conjonction entre la turbine à gaz à cycle combiné.

L'économie algérienne repose essentiellement sur l'énergie (gaz et pétrole) et pour produire de l'électricité, injecter les matières dans les zones de raffinage, de liquéfaction et de transport on utilise des machines appelées turbines. Les plus importantes sont les turbines à gaz où son utilisation conduit à des émissions des gaz brûlés à des très hautes températures près de 500°C.

Afin de réduire la pollution de ces gaz et de préserver l'environnement, plusieurs recherches scientifiques ont été conduites sur la façon d'exploiter les gaz d'échappement, elles ont arrive un cycle combiné, qui nécessite essentiellement une haute température pour produire la vapeur nécessaire pour alimente la turbine à vapeur.

Dans ce contexte, on fait une analyse technique sur la station conventionnelle de turbine à gaz d'ELMERK (Hassi Berkine) pour le transformer à une station à cycle combiné. Cette station sera constituée d'une turbine à gaz, d'un échangeur de récupération de chaleur, d'une turbine à vapeur, d'un alternateur, d'un transformateur principal. Dans ce travail de mémoire, on s'intéresse à l'étude énergétique de gaz échappement de turbine à gaz et on analyse les caractéristiques thermodynamiques de cette station telle que les puissances produites par les turbines et leurs rendements thermodynamique.

Nous avons réalisé ce travail sur trois chapitres:

Le premier chapitre présente un rappel général sur les éléments du système (turbines à gaz et à vapeur) présentation du champ d'ELMERK Hassi Berkine

Dans le deuxième chapitre, on a réalisé une étude de la turbine à gaz et la turbine à vapeur, du échangeur de chaleur) de récupération, Cycle combine gaz-vapeur (Généralités sur les turbines échangeur de chaleur) et de son parcours composants

Dans le troisième chapitre, et calculs puissance mécanique détaillés de la turbine à vapeur, Nous avons aussi analysé les caractéristiques thermodynamiques En ce qui concerne le même chapitre nous avons utilisant le logiciel "FORTRAN 77". Une étude de l'influence de quelques paramètres sur la performance puissance de la turbine à vapeur est présentée dans ce chapitre.

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

Introduction :

L'entreprise nationale pétrolière et gazière SONATRACH a été créée en 1963 elle est en position de jouer un rôle important dans le développement de l'économie nationale ce qui lui permet d'occuper le 11ème rang parmi les grandes compagnies pétrolières mondiales ainsi qu'une 7ème place à l'échelle internationale en ce qui concerne les réserves du pays.

Du fait que la quasi-totalité des ressources énergétiques en Algérie est constituée par les hydrocarbures, relativement abondants (réserves récupérables de l'ordre de 5 milliards de tonnes équivalent pétrole, "tep"), le secteur de l'énergie joue un rôle primordial dans le développement économique et social du pays : il a pour mission d'assurer la couverture des besoins énergétiques nationaux à long terme et le financement du développement économique grâce aux recettes des exportations de ces hydrocarbures.

Les missions et les prérogatives de l'entreprise nationale ont été élargies. Le 22 septembre 1966 (décret 66-626), ses missions se limitaient à l'origine au transport et la commercialisation des hydrocarbures ensuite elle a étendu ses champs d'action dans tous les domaines de l'industrie pétrolière à savoir l'exploitation, la transformation et la production.

Sous l'autorité d'un directeur général, l'administration de la SONATRACH a pour missions :

- Le développement, la conservation des réseaux énergétiques nationaux.
- La reconstitution et l'accroissement des réserves hydrocarbures.
- L'intensification des efforts d'exploitation et capitalisation des études réalisées dans ce domaine.
- Pour une meilleure connaissance du sous-sol et la mise en évidence des réserves d'hydrocarbures.
- La diversification des marchés et produits à l'exploitation.
- L'approvisionnement énergétique national à moyen terme, compte tenu des réserves nationales.
- Le développement des techniques modernes de gestion nationale par le biais de la formation continue.

En application de l'accord cadre de l'utilisation, le groupement BERKINE créé entre SONATRACH et ANADARKO, est chargé de gérer l'ensemble des activités de production de l'association SONATRACH-ANADARKO dans le champ EL MERK. Le groupement est doté de pouvoir, de matériel et procédures fiables approuvées par les parties. Il a su tirer profit de toute l'expérience acquise par SONATRACH et les partenaires au bénéfice du projet et de

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

la diversité culturelle. La règle et la conduite du groupement sont l'équité, la transparence et la recherche du consensus.[1]

I -2 Présentation des champs exploités par le CPF :

I-2-1 Localisation du site :

Le projet ELMERK correspond à l'exploitation de dépôts isolés d'hydrocarbures situés approximativement à 220 km au sud-est Hassi Messaoud.

La zone de production a été découpée en 4 secteurs :

- Le block 208 (El Merk), qui regroupe 4 champs :
 - EKT (El Kheit eh Tessekha).
 - EMN (El Merk Nord).
 - EME (El Merk Est).
 - EMK / MLSE (champ groupé d'El Merk et de Menzel Ledjmat Sud-Est).
- Le block 405A (Menzel Ledjmet), déjà partiellement exploité avec les installations de production et d'export de Menzel Ledjmet Nord (MLN).
- Le gisement TAGI du sud-est de MENZL LEDJMAT (MLSE) sera envoyé vers le CPF d'El Merk et traité en même temps que la production du site.
- Les blocks 404 et 403a sont déjà opérés par le Groupement Berkine à l'aide du CPF D'HASSI BERKINE qui traite la production des champs HBNS et de ses satellites, ainsi que les champs HBN. Ce CPF ne possédant pas d'unité de récupération de GPL, les gaz riches récupérés pourraient, dans le futur, être envoyés vers le CPF d'El Merk pour y être traités.[1]

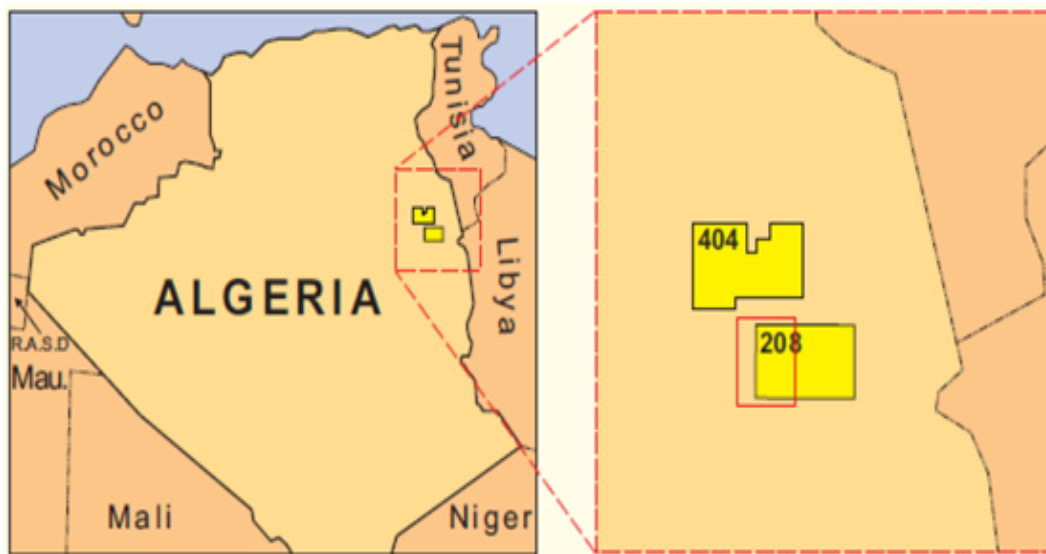


Figure (I.1): localisation des blocks du projet El Merk [1]

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

Le CPF d'El Merk est voisin d'un certain nombre de pipeline d'export de gaz et de brut. La production des installations rejoint un réseau de pipelines existant à Gassi Touil, à environ 160 km à l'ouest d'ElMerk. [1]

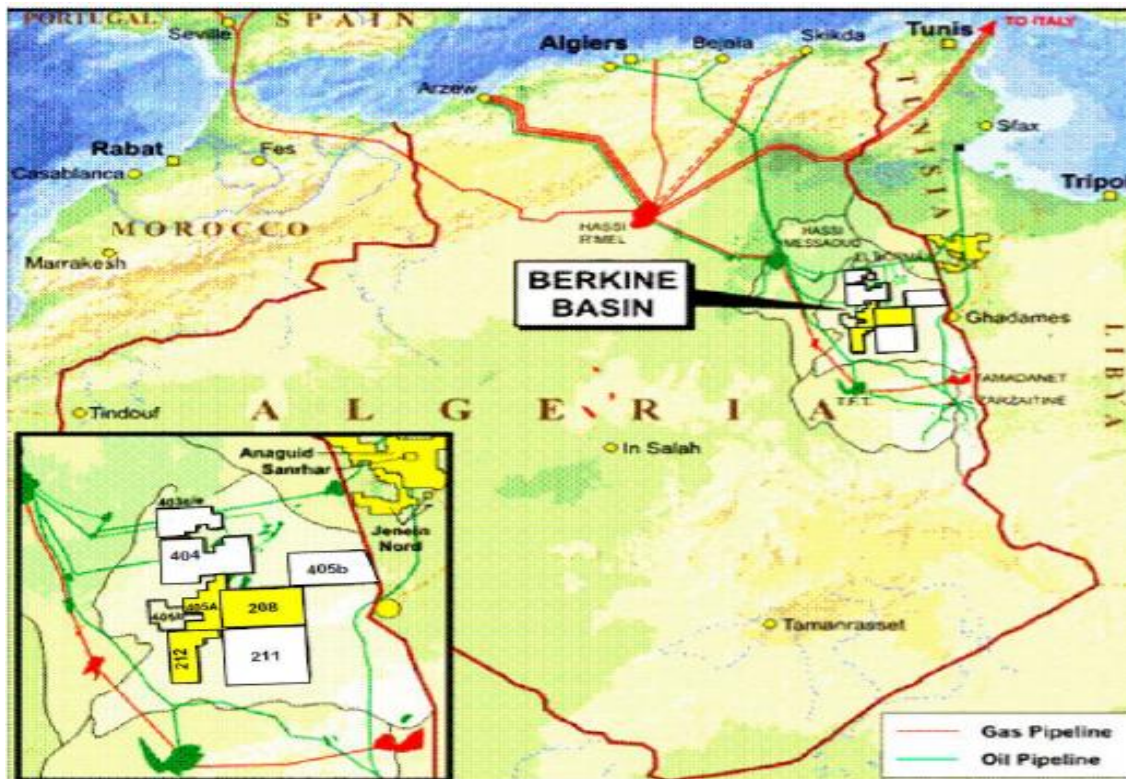


Figure (I.2) : environnement du site EL MERK[1]

I-2-2 Description des réservoirs

Les champs du block 208 comprennent 3 types différents de gisements :

- Les formations TAGI, qui renferment essentiellement de l'huile.
- Les formations RKF et du Strunien, qui contiennent principalement un mélange de gaz et de condensats.

La récupération des hydrocarbures de ces champs sera améliorée, en fonction du gisement, par une injection d'eau, de gaz ou une combinaison eau+gaz.

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

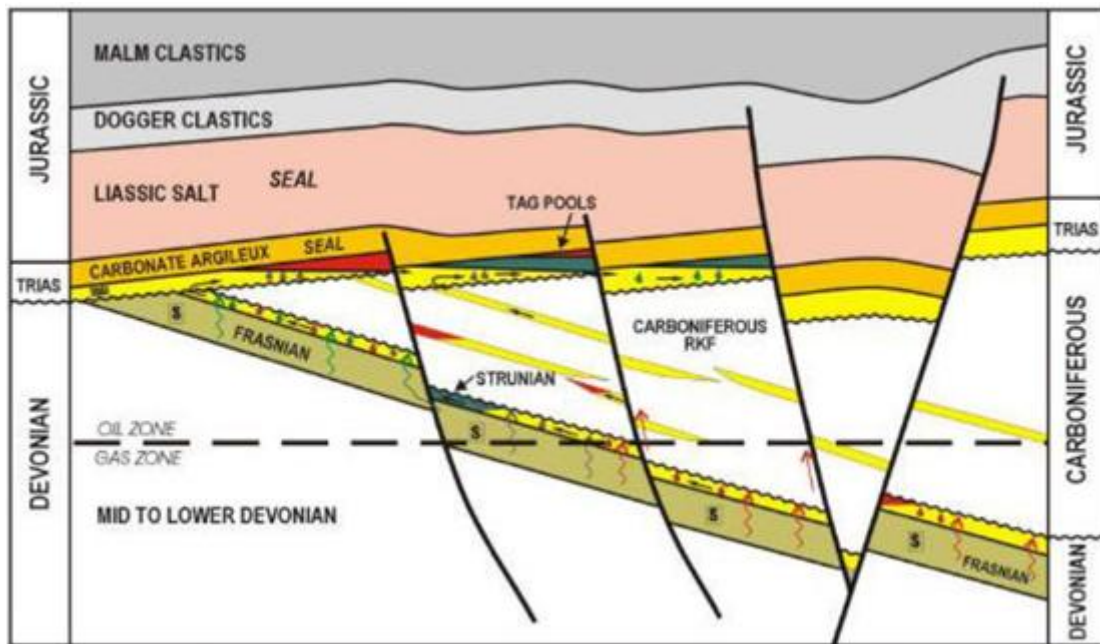


Figure (I.3) : gisements / formations géologiques [1]

La totalité du gaz produit par le CPF, à l'exception des GPL récupérés et de la consommation de Fuel Gaz, sera ainsi réinjectée dans les gisements.

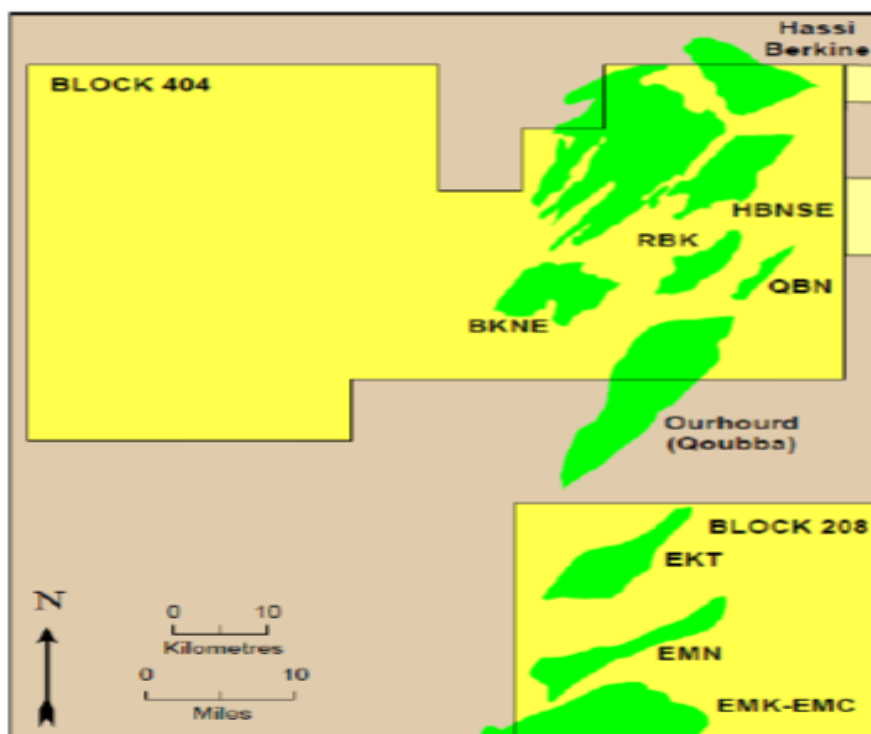


Figure (I.4) : localisation des différents champs

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

- Les gisements d'El KHEIT et TESSEKHA (EKT) et El MERK Nord (EMN) produisent un mélange d'huile et de gaz dans des proportions d'environ 40/60.
- Les gisements d'El MERK (EMK) et d'El MERK est (EME) produisent un mélange d'huile avec beaucoup de gaz (proportions 20/80).
- Les champs d'El MERK Est (EME) produisent également un mélange de condensats et de gaz dans des proportions allant de 10/90 à 15/85. [1]

	EKT	EMN	EMK	EME
GAZ (inertes+C ₁ àC ₄)	58%	55%	86%	78%
Liquide C ₅₊	42%	45%	14%	22%

Tableau I-1 : Composition moyenne des puits 'huile' [1]

	R-EME4	S-EME	T-EME4	R-EME
GAZ (inertes+C ₁ àC ₄)	86%	91%	91%	84%
Liquide C ₅₊	14%	9%	9%	16%

Tableau I-2: Composition moyenne des puits 'condensat' [1]

I.2-3 Caractéristiques des hydrocarbures

Les gisements d'El Merk produisent 3 types d'hydrocarbures :

- Du gaz.
- Des condensats.
- De l'huile – ou brut.

I.2-3-1 Caractéristiques du gaz

Le gaz est présent à l'état dissout dans l'huile, et en mélange avec des condensats dans les puits des gisements des formations RKF et du Strunien.

Il est composé d'un mélange d'inertes comme le CO₂ et l'azote N₂, de gaz naturel (méthane, éthane) et de GPL (propane, butane).

Les teneurs respectives dépendent des différents champs :

- Les champs de condensats ont une teneur importante en gaz naturel (de 80 à 90%), avec 10 à 15% de GPL et peu de gaz inertes (environ 3% en moyenne)

Chapitre I : Présentation Du Champ D'ELMERK (Hassi Berkine)

- Les champs d'huile riches en huile (EKT et EMN) possèdent des teneurs plus importantes en GPL (30%).
- La composition du gaz des champs d'huile riches en gaz (EMK et EME) se rapproche de la composition du gaz des champs de condensats. [2]

I-2-4 Dimensionnement des installations

L'installation de production centrale (CPF : Central Production Facility) a été conçue avec une durée de fonctionnement prévue de 25 ans.

Elle est composée de :

- 2 trains de traitement du brut d'une capacité de 65000 barils/jour chacun.
- 1 train de récupération des GPL d'une capacité de 600 MMSCFD (29,5.106 Nm³/j).

Les installations permettront de produire au maximum (en incluant le traitement du gaz naturel liquéfié des blocks 404 et 403a) :

- 90000 barils/jour de brut.
- 42000 barils/jour de condensats.
- 70000 barils/jour de GPL

La totalité du gaz produit, moins la récupération des GPL et le Fuel Gaz utilisé sur le site, sera réinjectée dans les réservoirs.

La récupération du pétrole sera facilitée par drainage / injection d'eau et de gaz dans des puits injecteurs. La capacité d'injection est de :

- 155000 barrils/jour pour l'eau.
- 500 MMSCFD pour le gaz (24,6.106 Nm³/j).
- La puissance électrique importée pour faire fonctionner l'ensemble des installations sera d'environ 50 MW.
- Le CPF sera équipé de :
- Une base industrielle, avec bureaux, laboratoires, ateliers et entrepôts.
- Une base vie prévue pour accueillir 390 personnes.

Le site sera gardé par un camp militaire situé à proximité de la base vie, avec présence permanente de 50 soldats. [1]

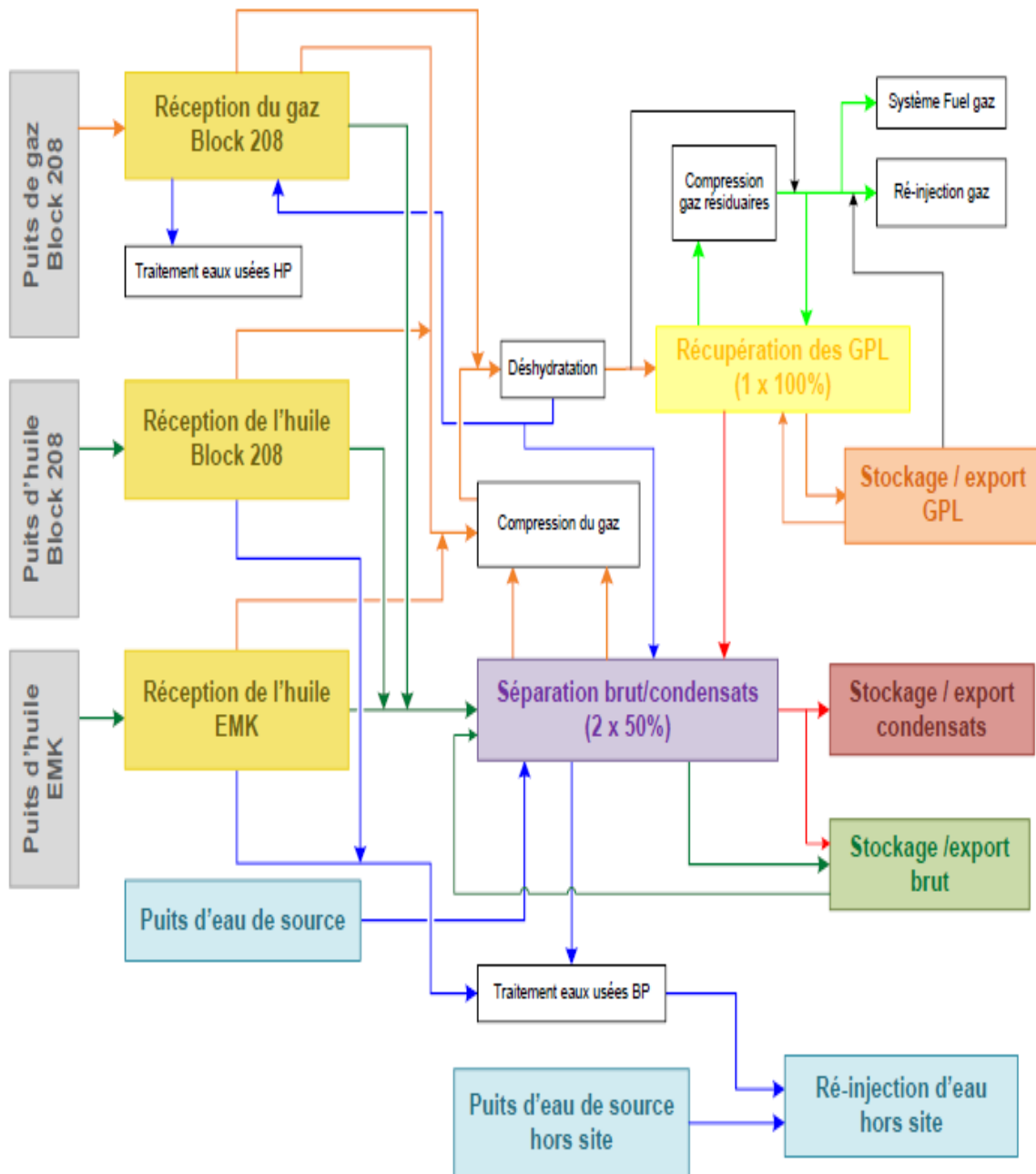


Figure (I.5) : Schéma bloc simplifié [1]

II. 1 Introduction

Actuellement l'énergie solaire figure parmi les plus importantes sources d'énergies. Elles sont utilisées dans divers domaines industriels à savoir son emploi dans les installations hybride solaire-gaz pour produire la vapeur nécessaire à entrainer la turbine à vapeur. Dans ce chapitre, on décrit les éléments du système hybride (turbine à gaz, turbine à vapeur et champ solaire).

II. 2 Généralités sur les turbines

II. 2-1 Turbine à gaz

II. 2-1-1 Définition

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue. Elle peut être considérée comme un système autosuffisant. 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. [3]

II. 2-1-2 Les éléments d'une turbine à gaz

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à gaz est composée de trois éléments:

- Un compresseur, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ;
- Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement.
- Une turbine, généralement axial, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion. [4]

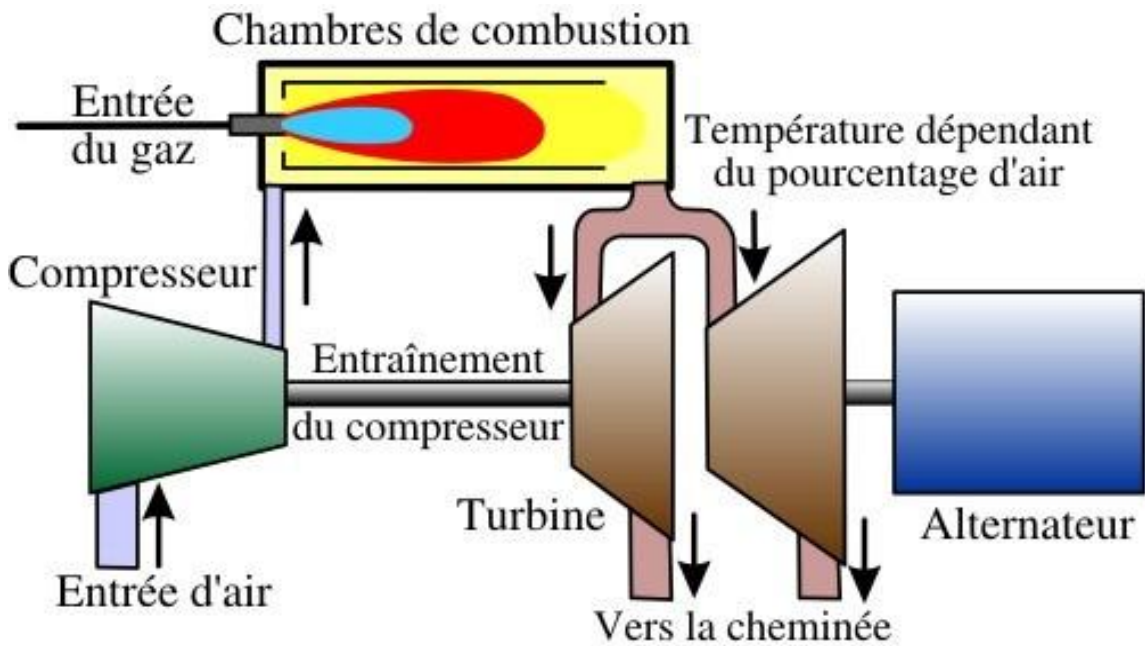


Figure II.1: Les éléments de la turbine à gaz.[4]

II. 2-1-3 Classification des turbines à gaz

On peut classer les turbines selon différents points:

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

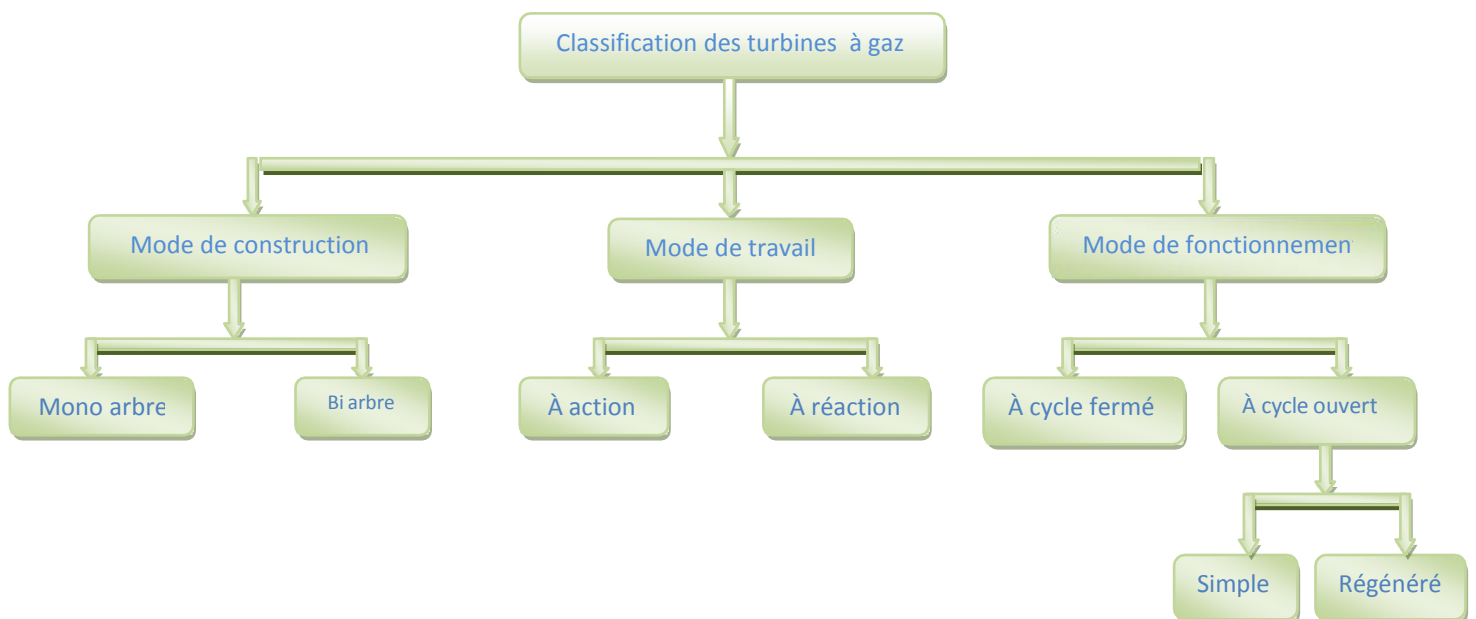


Figure (II.2) : Classification des turbines à gaz.

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

II. 2-1-3-1 par le mode de construction

L'objectif pour lequel, on utilise la turbine à gaz définit le type qu'on doit choisir. Dans l'industrie, on trouve les turbines à un seul arbre, dites aussi **mono- arbre**. Elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité). Un deuxième type, englobe les turbines à deux arbres (**bi-arbres**); elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charges variables (pompes, compresseur,...). Elles se composent de deux parties, la première assure l'autonomie de la turbine, la deuxième est liée à la charge. Un troisième type peut être aussi cité, ce sont les turbines dites dérivées de l'aéronautique; Elles ont une conception spéciale suivant le domaine dans lequel elles sont utilisées. Dans ce troisième type, la partie qui assure l'autonomie de la turbine existe toujours, et l'énergie encore emmagasinée dans les gaz d'échappement est utilisée pour créer la poussée, en transformant cette énergie (thermique et de pression) en une énergie cinétique de jet dans une tuyère (figure II.3). [5]

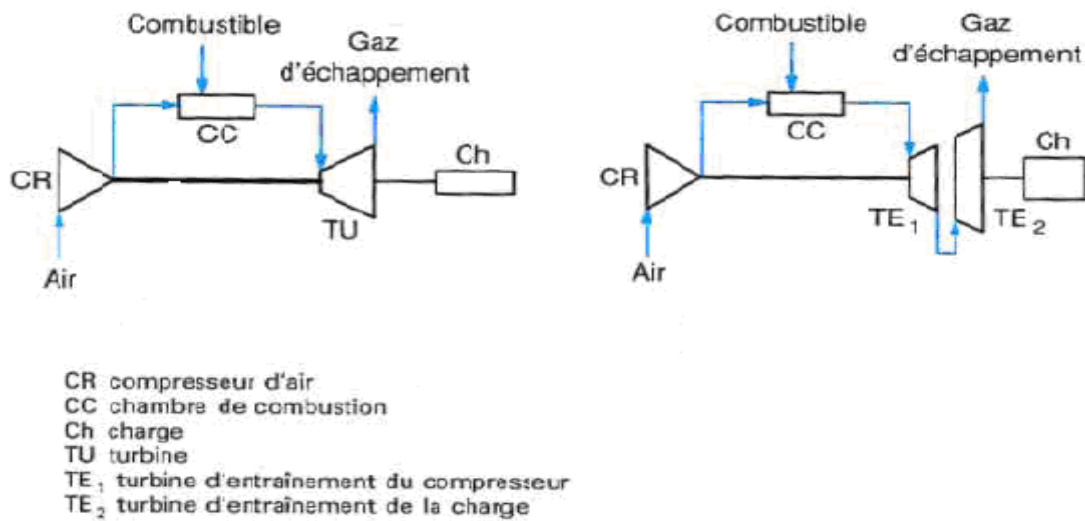


Figure (II.3): Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres.

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

II. 2-1-3-2 Par le mode de travail

On distingue deux types de turbine :

➤ Turbine à action

Où l'énergie thermique est transformée complètement en énergie cinétique dans la directrice. L'évolution des gaz dans la roue se fait sans variation de pression statique $P_1 > P_2 = P_3$.

➤ Turbine à réaction

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 $P_1 > P_2 > P_3$. Le taux de réaction ϵ caractérisera le % d'énergie thermique totale. [3]

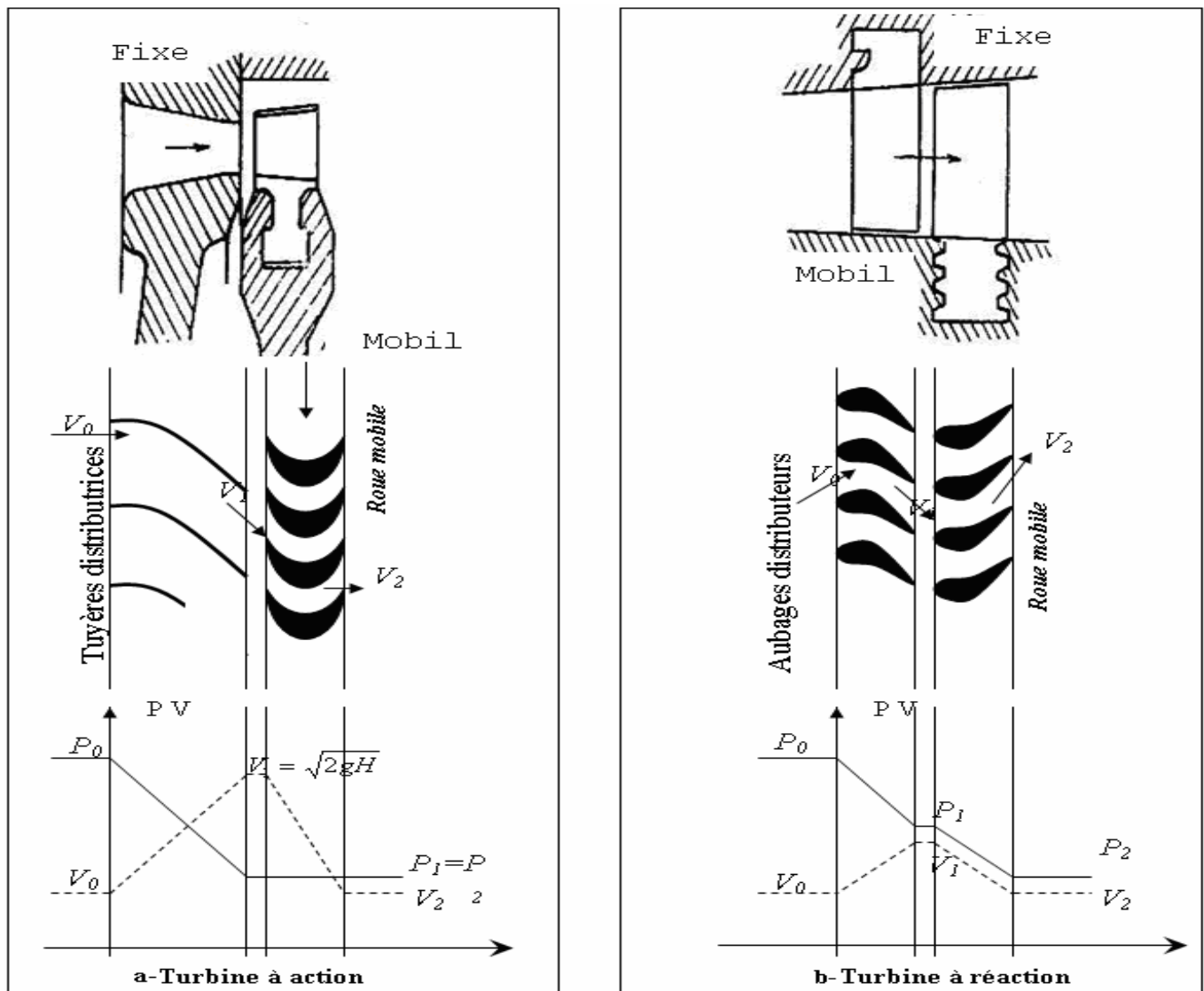


Figure (II-4) : Mode de travail.[3]

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

II. 2-1-3-3 Par le mode de fonctionnement thermodynamique

Il existe deux cycles thermodynamiques :

➤ **Turbine à gaz à cycle fermé**

Dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

➤ **Turbine à gaz à cycle ouvert**

C'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère.

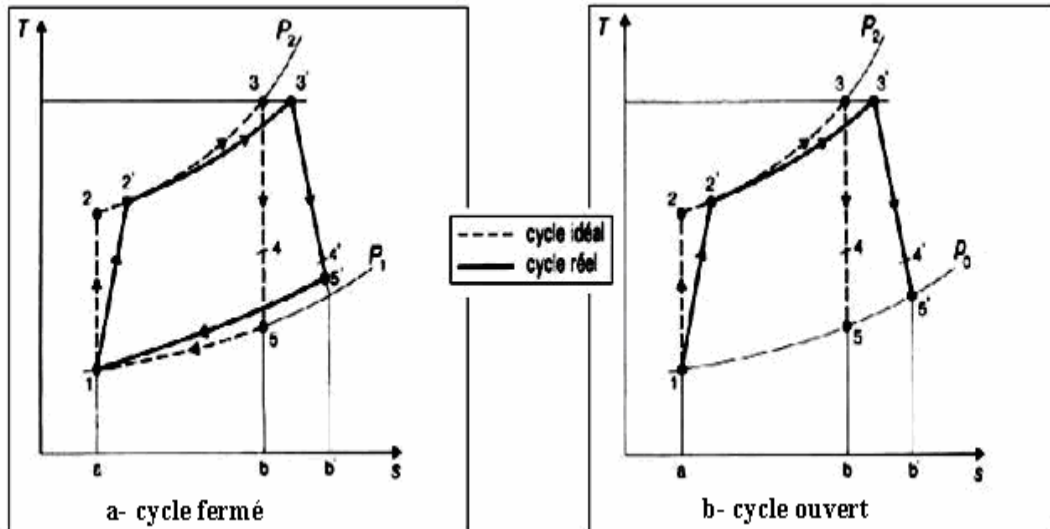


Figure (II-5) : Représentation de cycle fermé et ouvert.

Ce type de turbine qui est le plus répandu se divise en deux classes :

➤ **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.

II. 2-1-4 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz

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 de l'air 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 ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.

- elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus;
- La figure II.6 montre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la machine correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus. [5]

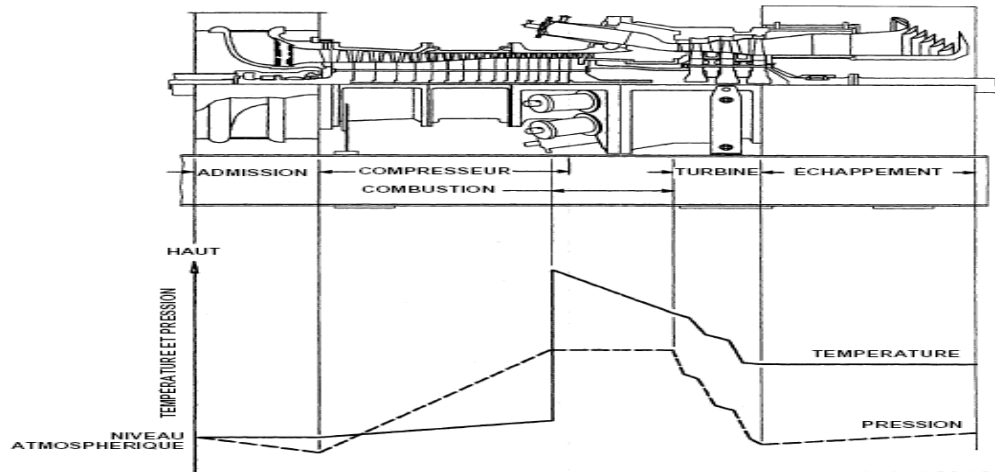


Figure (II-6) : Pression et température dans les sections de la turbine.[5]

II. 2-1-4-1 Théorie des turbines a gaz

II. 2-1-4-1-2 Diagrammes des turbines à gaz:

La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu. C'est une différence fondamentale par rapport aux moteurs à pistons qui réalisent une succession temporelle des phases dans un même organe (généralement un cylindre).

Dans sa forme la plus simple, la turbine à gaz fonctionne selon le cycle dit de **Joule** comprenant successivement et schématiquement:

- Une compression adiabatique qui consomme de l'énergie mécanique, Un chauffage isobare comme pour un moteur Diesel,
- Une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante qui produit de l'énergie mécanique (transformation de l'énergie thermique à l'énergie mécanique).
- un refroidissement isobare.

L'étude du cycle thermodynamique décrit réellement dans une turbine à gaz devrait tenir

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

compte de toutes les imperfections des différentes parties de cette machine ; en effet, l'intervention des rendements du compresseur et de la turbine.

Le rendement ainsi défini, qui est le rendement isentropique, est désigné par dans le diagramme T, S sont représentés à la fois le cycle idéal de JOUL (1, 2a, 3, 4a,1) et le cycle réel (1, 2, 3, 4,1).

Diagramme T S

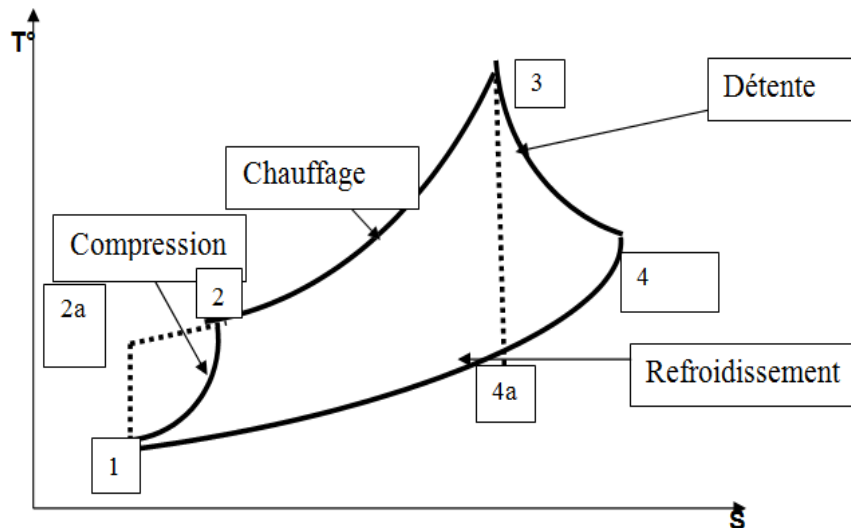


Figure (II.7) : Comparaison des cycles : idéal et réel. [5]

La turbine à gaz est le plus souvent à cycle ouvert et à combustion interne. Dans ce cas, la phase de refroidissement est extérieure à la machine et se fait par mélange à l'atmosphère. La turbine à gaz peut également être à cycle fermé et à combustion externe. Le chauffage et le refroidissement sont alors assurés par des échangeurs de chaleur. Cette disposition plus complexe permet l'utilisation de gaz particuliers ou de travailler avec une pression basse différente de l'ambiante.

Le cycle de base décrit plus haut peut être amélioré par différents organes complémentaires :

- Récupération de chaleur à l'échappement : les gaz détendus en sortie de turbine traversent un échangeur pour préchauffer l'air comprimé avant son admission dans la chambre de combustion,
- La détente: comprend deux étages (ou plus) séparés par un ou des réchauffages additionnels.

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

La puissance fournie est accrue d où amélioration du rendement.

Les deux dernières dispositions visent à tendre vers des transformations isothermes en lieu et place des adiabatiques et se justifient surtout sur les machines à taux de compression élevé. Les trois dispositifs peuvent être réalisés indépendamment ou simultanément. Dans ce cas, on retrouve le cycle dit d'Ericsson qui comme le cycle de Stirling présente un rendement théorique égal au rendement maximal du cycle de Carnot. Cette supériorité théorique par rapport aux cycles Otto et Diesel, est cependant contrebalancée par l'impossibilité pratique de réaliser les transformations isothermes. Dans tous les cas, ces dispositifs sont réservés aux installations stationnaires du fait de l'encombrement et du poids des échangeurs gaz/gaz.

II. 2-1-5 Domaines d'application des turbines à gaz

Les domaines d'application des turbines à gaz se divisent en deux catégories :

- **Domaines fixes (utilisation industrielle) :** Entraînement des compresseurs, Entraînement des pompes et Entraînement des alternateurs.
- **Domaines mobiles :** la traction automobile, la traction ferroviaire, l'application marine et l'aviation (turboréacteur et turbo hélice). [6]

II. 2-1-6 Avantages et inconvénients des turbines à gaz

✓ Avantages

- Une puissance élevée dans un espace restreint dans lequel un groupe diesel de même puissance ne pourrait pas être logé;
- A l'exception de démarrage et arrêt, la puissance est produite d'une façon continue;
- Démarrage facile même à grand froid;
- Diversité de combustible pour le fonctionnement;
- Possibilité de fonctionnement à faible charge.

✓ Inconvénients

- 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 groupe diesel. [5]

II. 2-2 Turbine à vapeur

II. 2-2-1 Définition

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Elle transforme l'énergie thermique de la vapeur d'eau pendant la détente en énergie mécanique de rotation d'arbre pour entraîner un dispositif mécanique tournant. [7]

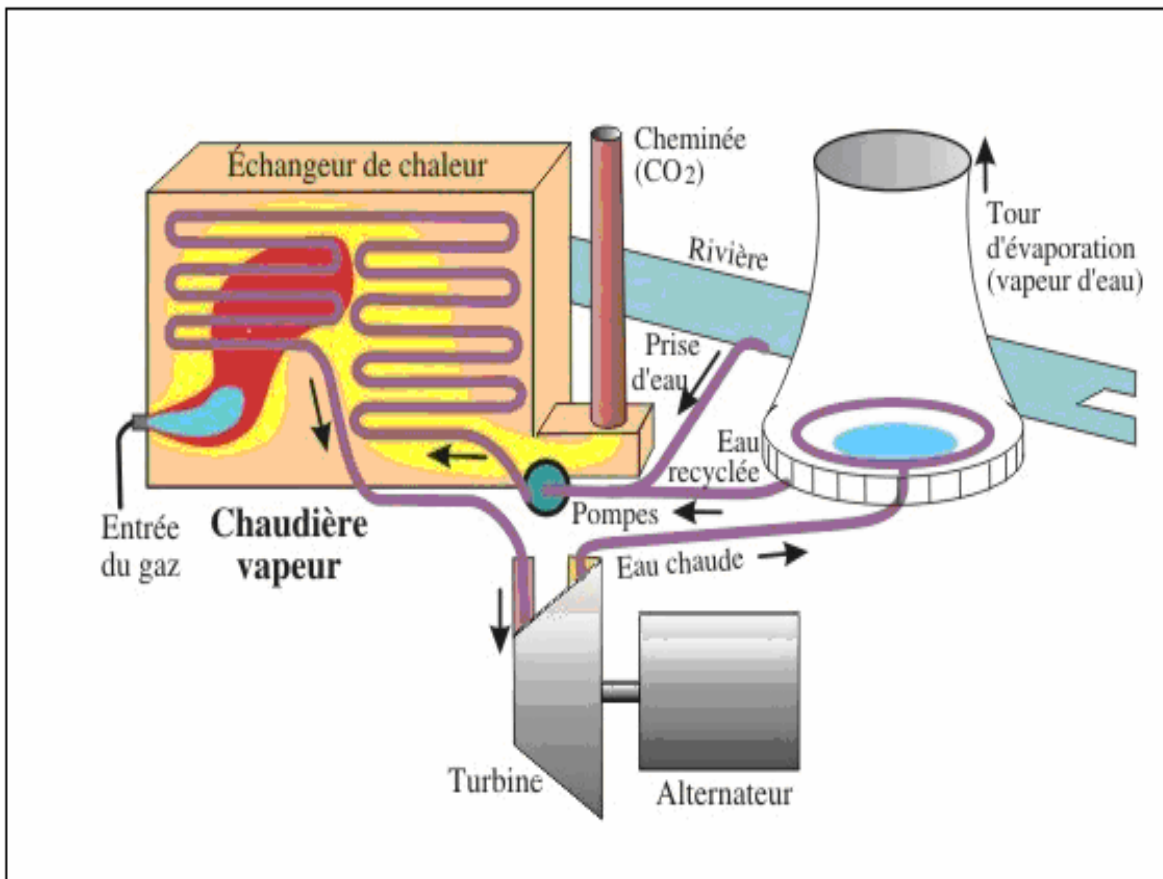


Figure (II.8) : Schéma d'une turbine à vapeur [7]

II. 2-2-2 Classification des turbines à vapeur

On peut classer les turbines à vapeur selon :

On a plusieurs critères pour la classification de la turbine à vapeur

- La manière d'écoulement de la vapeur.
- Le sens d'écoulement de la vapeur.
- La nature de fonctionnement thermodynamique.
- La méthode de transmission d'énergie thermique.
- Le mode de construction.

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

II. 2-2-2-1 La méthode de fonctionnement de la vapeur

On distingue les turbines suivantes :

➤ Les turbines à action

Dans ces turbines la chute d'enthalpie est utilisée en totalité dans la tuyère pour engendrer de l'énergie cinétique, qu'est transformée à son tour en énergie mécanique dans la roue figure II.9. La turbine peut être monocellulaire, bicellulaire, ou multicellulaire. Dans les deux derniers cas, la transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique a lieu en plusieurs étapes. Dans les canaux fixes intermédiaires, entre les canaux mobiles, il n'existe aucune transformation d'énergie, seule la direction de la vitesse est modifiée.

➤ Les turbines à réaction

Dans lesquelles une partie seulement de la chute thermique mise à la position de l'étage, est transformée en énergie cinétique dans le distributeur; le reste est transformé en énergie cinétique dans les aubages mobiles de la roue.

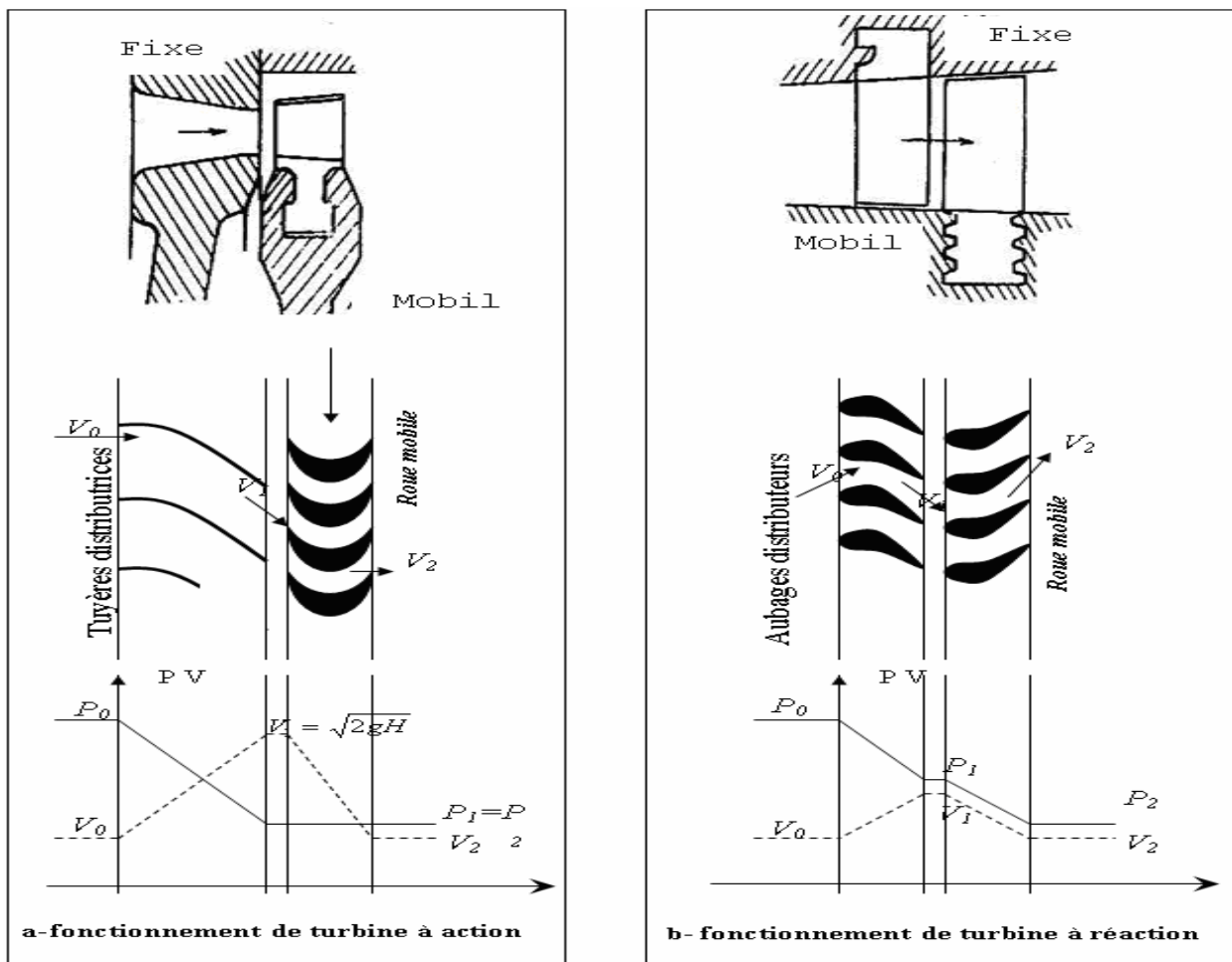


Figure (II.9) : Mode de fonctionnement de la vapeur. [7]

II. 2-2-2-2 Le sens d'écoulement de la vapeur

➤ Turbine axiale:

C'est le type le plus utilisé ou les aubes sont placées radialement sur la roue ce qui exige un déplacement de vapeur à l'axe de la turbine.



Figure (II-10) : Turbine axial. [7]

➤ Turbine radiale:

L'écoulement de la vapeur se fait dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe de la turbine.

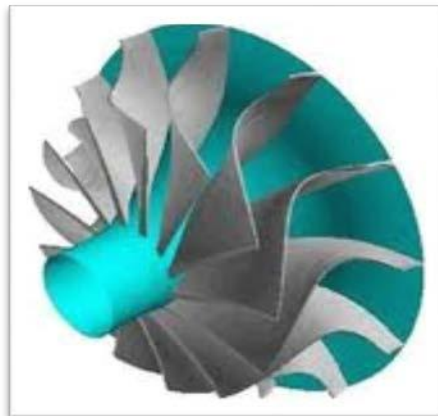


Figure (II-11) : Turbine radiale. [7]

II. 2-2-2-3 La nature de fonctionnement thermodynamique

➤ Turbine à condensation

La vapeur circule suivant un cycle fermé, et l'opération de détente permet de détendre la vapeur jusqu'à des pressions très basses (0.05 bar). Généralement ce type de turbines est composé de turbines haute pression, moyenne pression et basse pression.

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz à vapeur

➤ Turbine à contre pression :

La vapeur circule suivant un cycle ouvert, à l'échappement les pressions sont toujours supérieures à la sortie est utilisée pour d'autres fins (séchage, chauffage industrie chimique,...).

II. 2-2-2-4 Le mode de transmission d'énergie thermique

➤ Transmission directe:

L'énergie mécanique produite est transmise directement à la génératrice à la même vitesse de rotation

➤ Transmission indirecte:

L'installation nécessite un réducteur de vitesse, comme c'est le cas de la turbine de bateaux ou les vitesses d'hélices sont plus petites

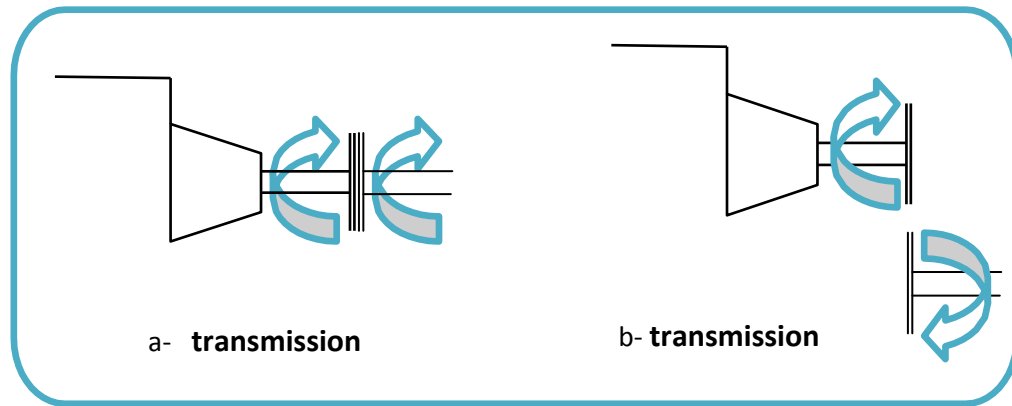


Figure (II.12) : Mode de transmission. [8]

e. Le mode de construction:

➤ Turbine à disque

Les roues à disque sont construites séparément et calées sur un arbre. [8]



Figure(II.13) : Turbine à disque. [8]

➤ Turbine à tambour

Les aubes sont calées sur un tambour rapporté sur l'arbre.

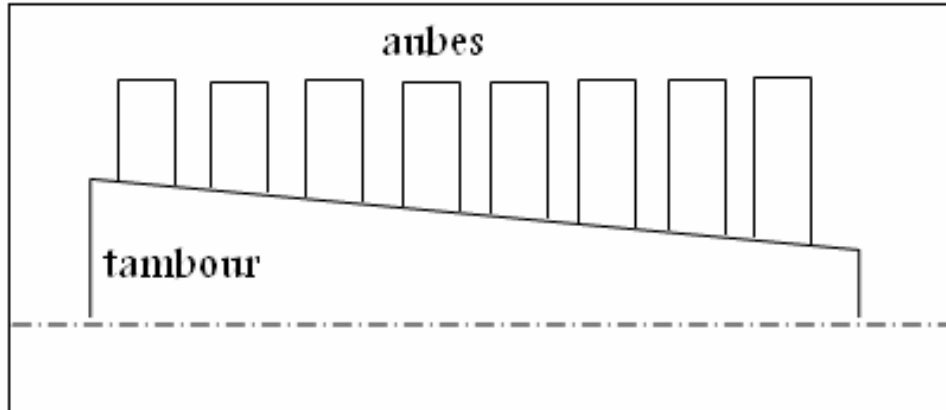


Figure (II.14) : Turbine à tambour. [8]

II. 2-2-3 Principe d'une turbine à vapeur

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Ce cycle comprend aux mains les étapes suivantes:

- L'eau liquide est mise en pression par une pompe et envoyée vers la chaudière
- L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée,
- La vapeur se détend et refroidit dans la turbine en fournissant de l'énergie mécanique,
- La vapeur détendue est condensée au contact de la source froide sous vide partiel. [4]

II. 2-3 Echangeur de récupération HRSG

La station HASSI BERKINE contient deux HRSG identiques. Pour cela, on va effectuer des calculs pour une seule HRSG. Le HRSG dans SPP1 est l'assemblage d'une basse pression économiseur (DECO), une basse pression évaporateur (DEVA), deux économiseurs (ECO1 et ECO2), évaporateur (EVA) avec un tambour (DR) et deux surchauffeurs (SHE1 et SHE2). Généralement le HRSG composé d'un économiseur, d'un évaporateur et d'une surchauffeur, si l'eau et les fumées circulent à contre-courant.

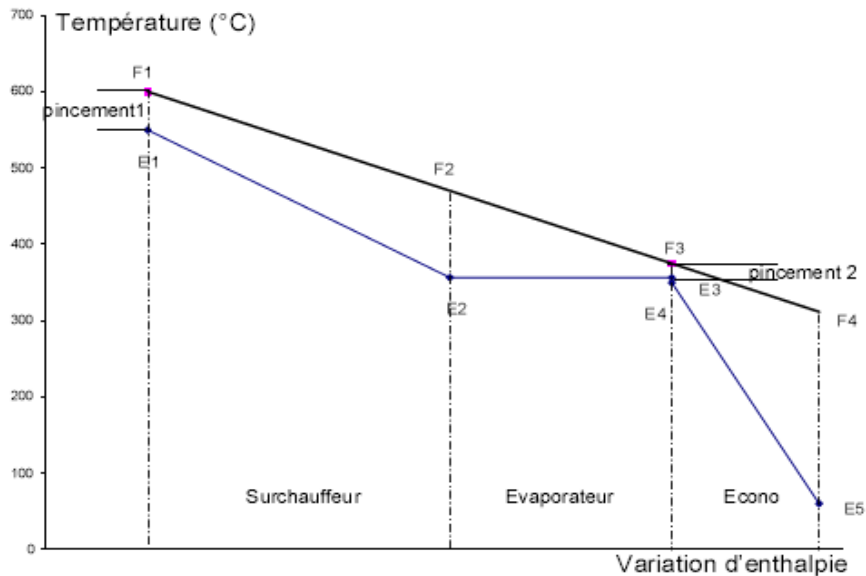


Figure (II.15) : Évolution des températures dans une chaudière à contre-courant. [9]

➤ Section évaporateur

Dans cet évaporateur, en passant par les tubes, l'eau est chauffée jusqu'au point de saturation pour la pression qu'il circule.

➤ Section surchauffeur

La section de surchauffeur du HRSG est utilisée pour sécher la vapeur saturée étant séparée dans le ballon de vapeur. Dans certaines unités, on ne peut pas la chauffer au-dessus du point de saturation et dans d'autres unités, elle peut être surchauffée à une température importante pour le stockage de l'énergie supplémentaire. La section surchauffeur est normalement située dans le flux de gaz chaud, en face de l'évaporateur.

➤ Section économiseur

La section de l'économiseur, parfois appelée un préchauffeur, est utilisée pour préchauffer l'eau d'alimentation étant introduit dans le système pour remplacer la vapeur retirée du système par la sortie surchauffeur ou la perte d'eau par la purge. Il est habituellement situé dans l'aval gazier les plus froides de l'évaporateur. Les températures à l'entrée de l'évaporateur et à la sortie de l'économiseur sont à la proximité de la température de saturation pour la pression du système (température d'approche). La quantité de chaleur qui peut être présente dans le gaz d'échappement est limitée en raison de l'approche de l'évaporateur, connu sous le nom de pincement. [9]

Chapitre II : cycle combiné turbine gaz et vapeur

II. 2-3-1 Températures du pincement et de l'approche

Deux expressions particulières sont fréquemment utilisées pour caractériser l'échange thermique dans la chaudière. Il s'agit de :

➤ **Température de l'approche**

Ecart de température de l'eau en sortie de l'économiseur par rapport à l'état de saturation dans le ballon.

➤ **Température du pincement**

Ecart de température entre la sortie des fumées à l'évaporateur et la température de saturation dans la boucle évaporatoire. [9]

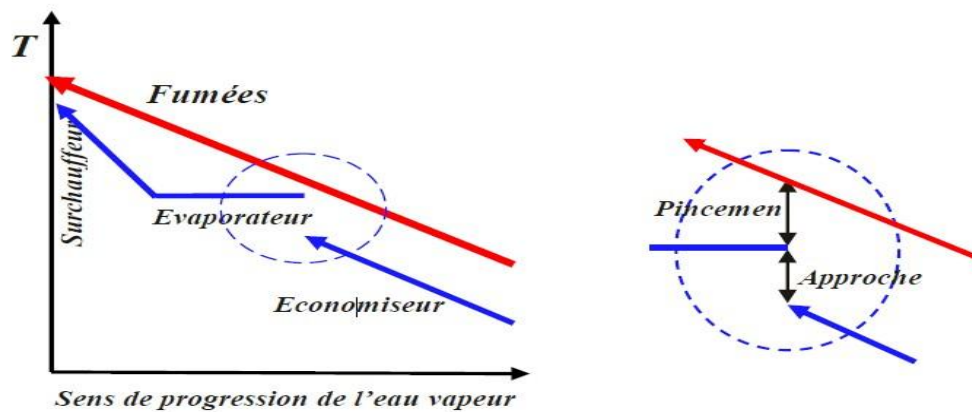


Figure (II.16) : Représentation du pincement et de l'approche. [9]

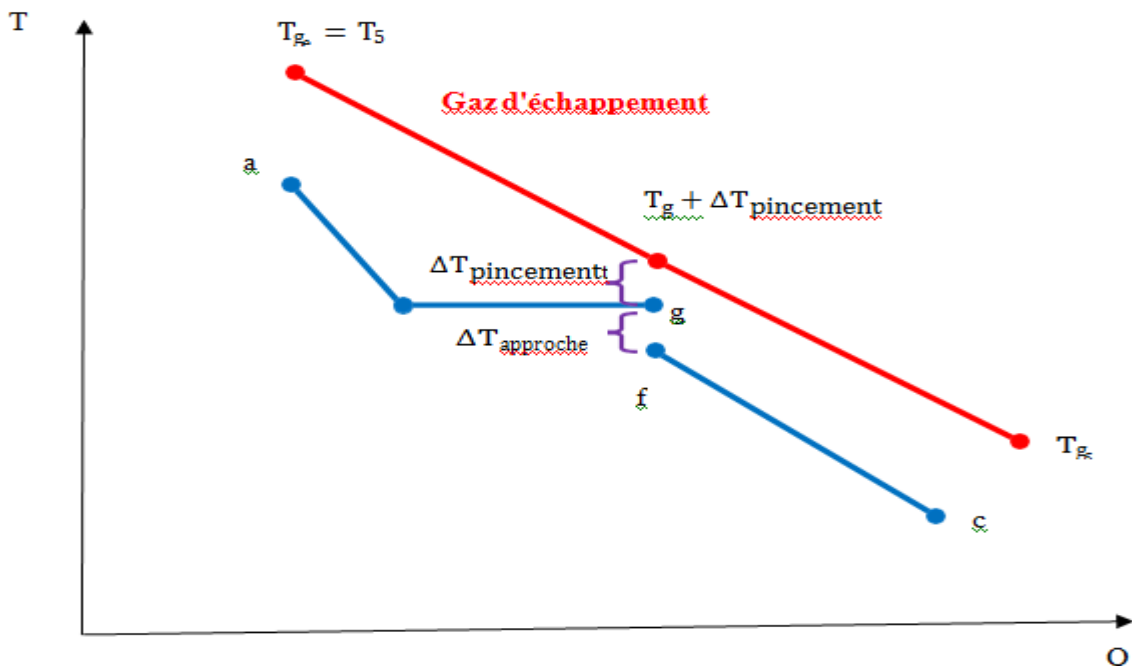


Figure (II.17) : Bilan d'énergie dans l'échangeur. [9]

II.2-4 Les condenseurs

II.2-4-1 Principes de fonctionnement

Le condenseur composant le moins glorieux de l'installation, est en charge de rejeter toute la chaleur dont l'ingénieur ne sait plus faire usage. L'eau y est toujours refroidie à pression constante, ce qui ne nécessite pas de pièce mobile. Technologiquement, le condenseur est un élément simple : on met simplement la canalisation de vapeur en contact avec un circuit de température basse. Usuellement, ce circuit de refroidissement est constitué d'eau extérieure, qui sera refroidie ensuite par évaporation dans les larges cheminées que l'on aperçoit aux abords des centrales. Comme la pression de la vapeur à l'intérieur du condenseur est souvent très basse (jusqu'à 0,1 bar) pour abaisser la température minimale du cycle de la centrale, il faut veiller à la représentation schématique d'un condenseur. L'eau du circuit thermodynamique y pénètre par le haut, dans un état proche de la vapeur saturée. Elle en ressort par le bas à l'état liquide. L'extraction de chaleur est usuellement assurée par un circuit d'eau secondaire (schématisé en bleu) qui, elle, est mise en contact avec l'atmosphère [10]

II.2-4-2 Représentation schématique d'un condenseur.

L'eau du circuit thermodynamique y pénètre par le haut, dans un état proche de la vapeur saturée. Elle en ressort par le bas à l'état liquide. L'extraction de chaleur est usuellement assurée par un circuit d'eau secondaire schématisé en bleu (voir figure II.18) qui, elle, est mise en contact avec l'atmosphère. [10]

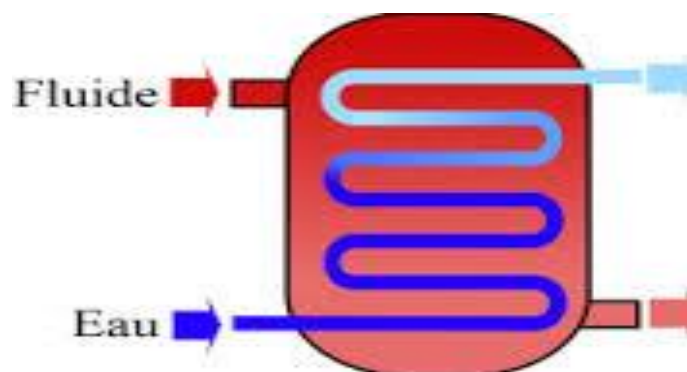


Figure (II.18) : les condenseurs.

III. 1 Introduction

Une centrale de turbine à gaz est caractérisée par son coût relativement bas comparé à une centrale à vapeur et elle a des délais de constructions qui sont courts. Cependant, son rendement est faible, particulièrement à charge partielle. Une des technologies adoptées de nos jours pour l'amélioration du rendement de la turbine à gaz est "le cycle combiné". La technologie du cycle combinée est maintenant bien établie et offre une efficacité supérieure à n'importe quel système basé sur la concurrence de turbine à gaz disponibles à moyen terme pour des applications de production d'électricité. On arrive ainsi à combiner un cycle ouvert de turbine à gaz avec un cycle fermé à vapeur, du type de celui de Rankine. Les deux cycles sont évidemment partiellement juxtaposés car tous deux doivent comporter une source froide.

La combinaison des deux cycles se fait dans l'Echangeur de récupération qui n'est en fait qu'un échangeur de chaleur à contre-courant.

III. 2 Historique du cycle combiné

Le développement commercial de la turbine à vapeur et à gaz des cycles combinés a procédé en parallèle avec le développement de la turbine à gaz. La première turbine à gaz installée dans une compagnie d'électricité aux Etats-Unis a été appliquée dans un cycle combiné. était une turbine à gaz de 3.5 MW qui a employé l'énergie d'échappement de la turbine à gaz pour chauffer l'eau d'alimentation pour une unité de vapeur conventionnel de 35-MW.

La plupart des systèmes de cycle combiné de production d'électricité installés dans les années 50 et 60 a inclus conventionnellement des chaudières (fully-fired boilers). Ces systèmes étaient fondamentalement en adaptations avec les centrales de vapeur conventionnel avec la fraction des gaz d'échappement de la turbine à gaz comme air de combustion pour la chaudière. Le rendement de ce type de cycle combiné était approximativement 5 % à 6 % plus haut que celui d'une usine de vapeur conventionnelle semblable. Ces systèmes pourraient économiquement utiliser les tubes nus dans la chaudière en raison de la haute différence de la température moyenne entre les produits de combustion et l'eau/vapeur [12]

III. 3 Cycle combiné

De nos jours, le cycle combiné est l'un des systèmes les plus utilisés dans les centrales électriques ; c'est une technologie hybride qui comprend un Cycle de Brayton sur la partie de production de l'énergie électrique et un Cycle de Rankine Cycle sur le côté de production de l'énergie thermique.

Le gaz d'échappement à haute température qui sort d'une turbine à gaz est réutilisé pour générer une vapeur à haute pression qui passe ensuite par une turbine à vapeur pour générer plus d'électricité. Il est clair que cette combinaison fournit des efficacités plus élevées que celles des cycles uniques, jusqu'à 55%, et est généralement utilisée dans production de l'électricité à grande échelle. La chaleur peut toujours être récupérée du cycle de la turbine à vapeur pour des applications supplémentaires, exactement comme dans les installations à simple turbine à vapeur. Pour une efficacité plus élevée et plus d'électricité générée, il est évident que les cycles combinés sont plus intéressants du point de vue économique. En effet, au cours des quarante dernières années, les centrales à cycle combiné ont eu un grand succès dans l'industrie de la génération de l'électricité. [11]

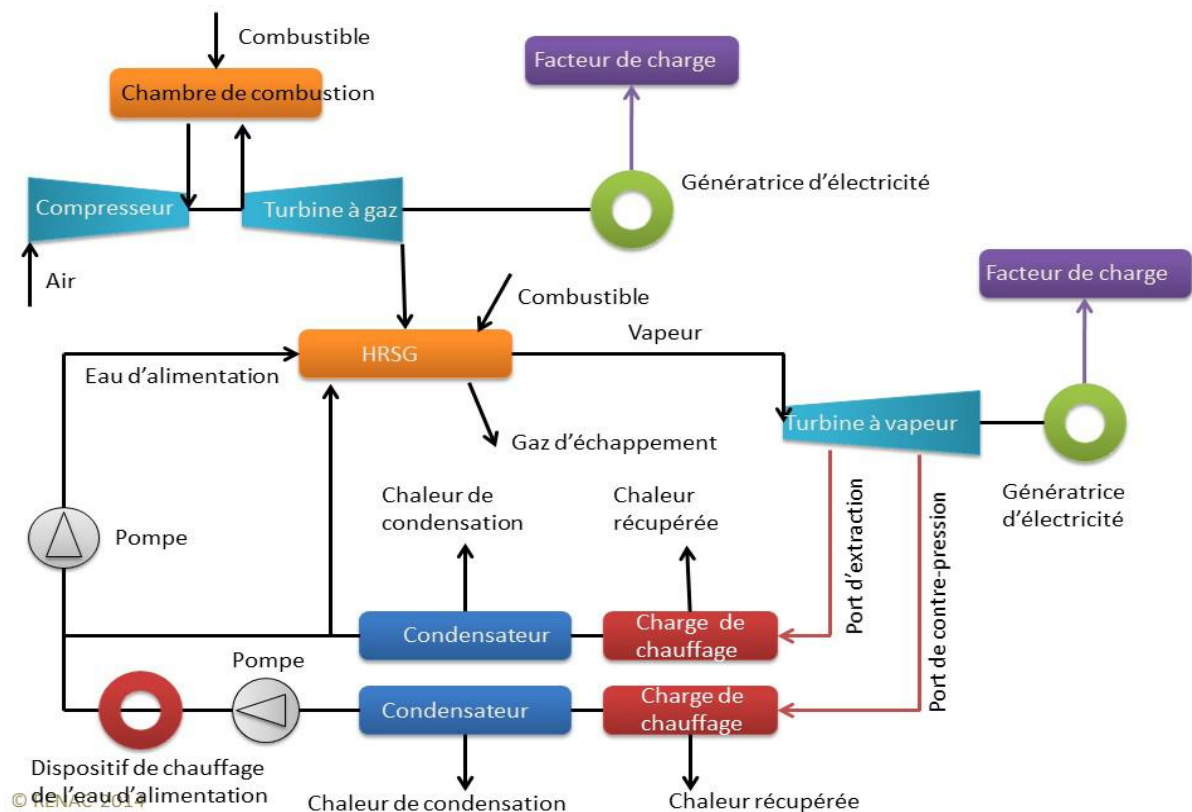


Figure (III.1): Schéma d'une centrale CHP à cycle combiné. [10]

III. 3-1 Cycle à récupération de la chaleur des gaz d'échappement :

Les turbines à gaz fonctionnent en cycle ouvert avec un coefficient d'excès d'air $3 < \alpha < 5$, de ce fait la quantité de chaleur dégagée vers l'atmosphère est énorme à titre d'exemple un groupe d'une puissance de 250 MW évacue 600 kg/s d'air chaud vers l'atmosphère (gaz brûlé d'une température voisine de 500°C) à l'une des méthodes d'amélioration du rendement de cycle de l'installation consiste à récupérer une partie de la chaleur des gaz d'échappement, en préchauffant l'air avant son entrée dans la chambre de combustion, le préchauffage de l'air permet de réduire la quantité de combustible apportée dans la chambre de combustion, ce qui améliore le rendement interne de cycle.

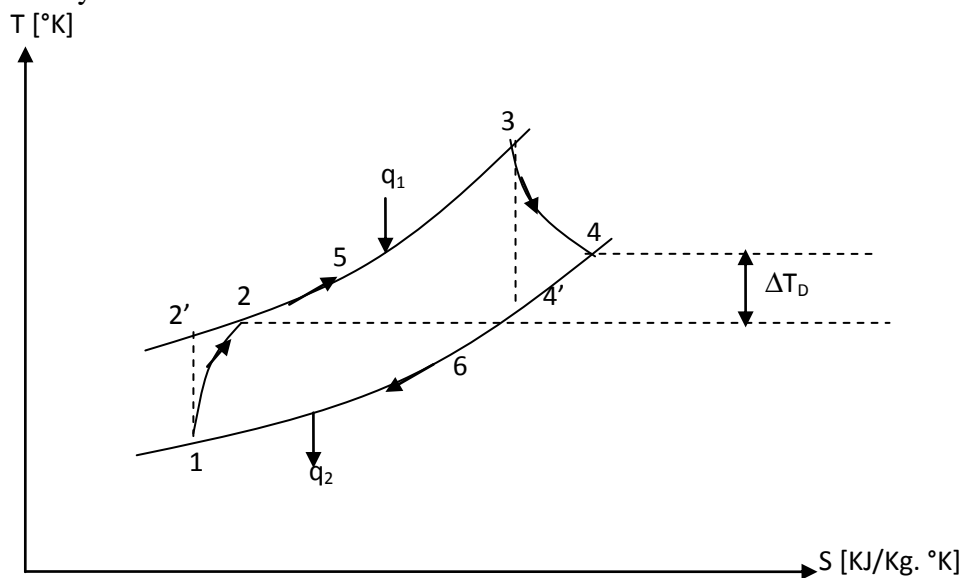


Figure (III.2): Représentation du cycle réel de Joule dans le diagramme (T.S). [12]

1-2 : Compression dans le compresseur.

2-5 : Echauffement de l'air dans le récupérateur.

5-3 : Echauffement de l'air dans la chambre de combustion.

3-4 : Détente dans la turbine.

4-6 : Refroidissement des gaz dans le récupérateur.

III. 4 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 un échangeur de récupération où l'on produit de la vapeur qui est ensuite détendue dans une turbine à condensation. Le cycle combiné ainsi obtenu est un mariage particulièrement réussi dans la recherche de l'amélioration du rendement thermique :

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

avec les matériels disponibles actuellement, les rendements atteints dépassent 55 % et sont donc supérieurs à ceux que l'on peut espérer, même à moyen terme, des futures centrales à vapeur les plus avancées.

III. 4-1 Cycle combine gaz -vapeur

Les niveaux de température des gaz d'échappement des turbines à gaz sont de l'ordre de grandeur maximale des températures des installations motrices à vapeur. Le principe de cycle combiné est de Récupérer l'enthalpie des gaz d'échappements de la turbine par le biais d'une chaudière de récupération alimentant un cycle de vapeur. Cette constatation est à l'origine du couplage entre les cycles de Joule (et dérivés) et de Rankine (et dérivés) qui donne lieu à ce qu'il est convenu d'appeler des cycles combinés.

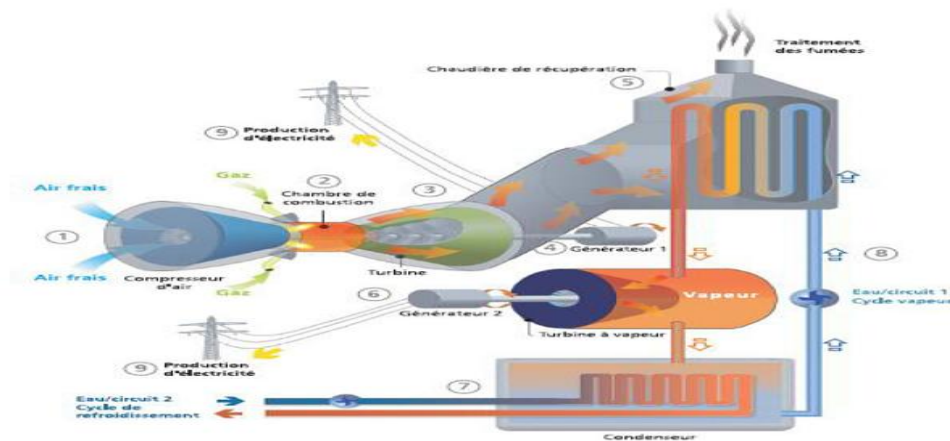


Figure (III.3): Le principe d'un cycle combiné. [10]

III. 5 Thermodynamique du cycle combiné

La température de gaz d'échappement des turbines à gaz d'aujourd'hui change entre pour les petites et plus anciennes turbines à gaz et 600°C pour les TG avancées, et le jet spécifique du gaz d'échappement s'élève. En employant la chaleur de ce gaz d'échappement dans un cycle d'eau -vapeur, le rendement totale du cycle peut être augmenté considérablement parce qu'une différence totale très élevée de la température peut être utilisée dans le cycle combiné comparé à un cycle simple de turbine à gaz [13]

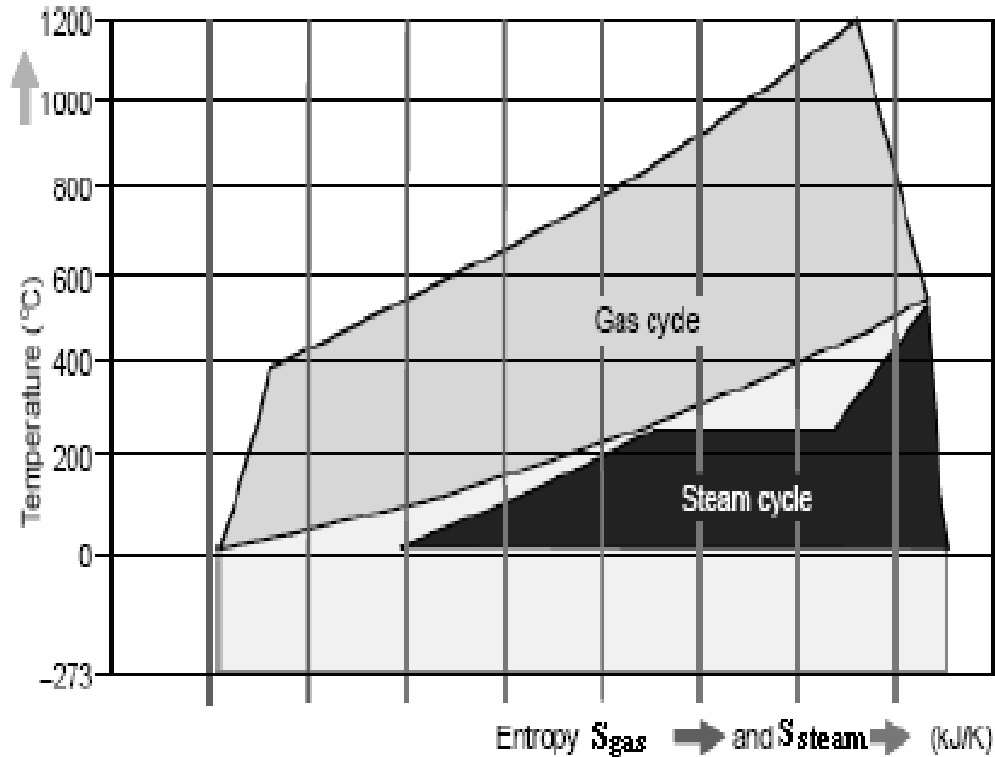


Figure (III.4): Diagramme T-S du cycle combiné TG avec un cycle TV à simple pression [13]

Avec l'amélioration des turbines à gaz qui est accompagnée par l'augmentation dans la température d'échappement, la pression et la température du cycle de vapeur sont aussi augmentées à plus de 150 bars et 550°C. En outre, des générateurs de vapeur par récupération de la chaleur à double pression (HRSG/heat-recovery steam générateurs) avec réchauffage sont utilisés, qui représente une autre amélioration de l'utilisation de la chaleur d'échappement. De cette façon, les pertes peuvent être réduites suivant les indications de la, qui compare un récupérateur à simple pression avec un récupérateur à trois pressions. Le diagramme idéal du transfert thermique serait un dans lequel la différence de la température dans le récupérateur de chaleur entre la vapeur et les gaz d'échappement est constante [13]

III. 6 schémas de montage des turbines

L'exploitation maximal de puissance nécessite l'adoption d'un système de soutirages de la turbine a haute pression vers la turbine a basse pression selon le schéma simplifié de cycle à soutirage de l'installation montré sur la figure (III.6)

Après la sélection des turbines correspondant, on a choisi une solution qui permet d'exploiter toute l'énergie et de limiter la perte appropriée de la première turbine. La première turbine avec une capacité de 50 MW avec une haute pression d'entrée de 140 bars, et une pression de vapeur de 25 bars a la sortie. Et de la même turbine lorsque l'arrivée de la pression d'entrée 103 bars de la secondes la turbin à vapeur basse pression avec une capacité de 20 MW la et faire la même chose procédé est pressé par 25 pour réduire la perte de pression d'énergie et une basse pression 10 bars de cycle soutirage. Comme il est indiqué dans la figure suivant:

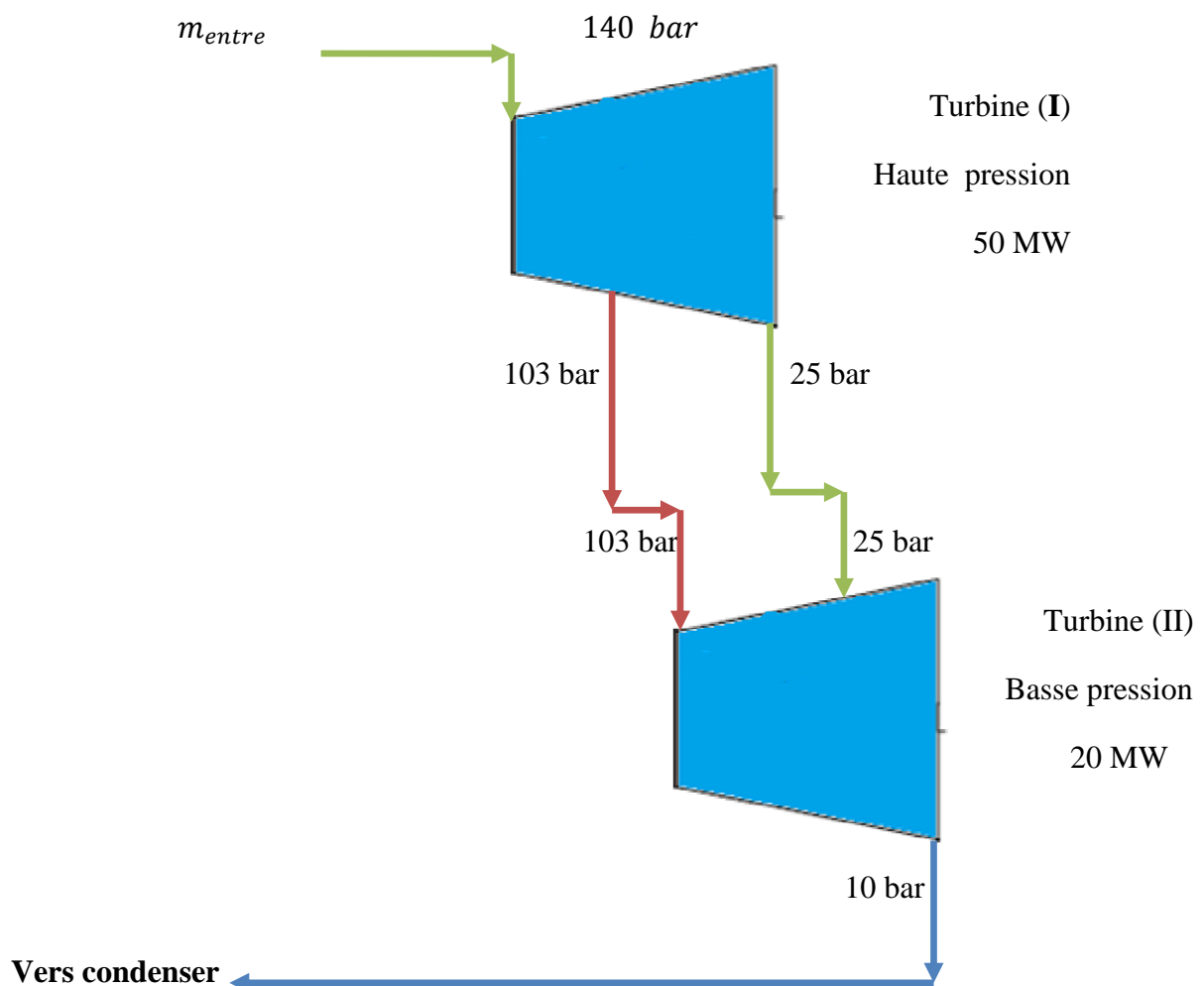
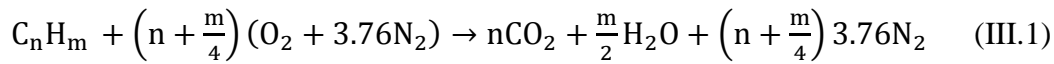


Figure (III.5) : Schéma de montage la méthode de la turbine à vapeur

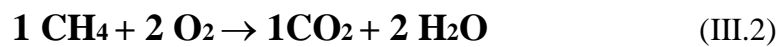
III. 7 Evaluation de l'énergie récupéré

Une performance et établie sur programme **Simply Fortran** pour ferre le calcule puissance MW, pour sélectionner une turbine à vapeur que nous devons mener à bien la contribution à la production d'énergie électrique, en utilisant l'équation combustion d'axés d'aire et de la combustion du méthane.

En suivant les étapes et les lois :



On donne les masse molaires suivantes : C = 12 g. mol⁻¹ O = 16 g. mol⁻¹ H = 1 g. mol⁻¹
N = 14 g. mol⁻¹



Calcul la masse molaire du méthane.

$$M(CH_4) = 1 \times M(C) + 4 \times M(H) = 1 \times 12 + 4 \times 1 = 16 \text{ g.mol}^{-1} \quad (III.3)$$

On utilise la formule:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = n * M \quad (III.4)$$

$$m_{CH_4} = 1 \text{ mol} \times 16 \text{ g.mol}^{-1} = 16 \text{ g} \quad (III.5)$$

Calcul la masse molaire du di- oxygène.

$$M(O_2) = 2 \times M(O) = 2 \times 16 = 32 \text{ g.mol}^{-1} \quad (III.6)$$

$$m_{O_2} = 2 \text{ mol} \times 16 \text{ g.mol}^{-1} = 64 \text{ g}$$

Calcul la masse molaire du di-N₂

$$m_{N_2} = m_{O_2} * 4 \rightarrow m_{N_2} = 64 \times 4 = 256 \text{ g}$$

Calcul la masse molaire du dioxyde de carbone CO₂

$$\text{On calcul : } M(CO_2) = 1 \times M(C) + 2 \times M(O) = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 12 + 32 = 44 \text{ g.mol}^{-1}$$

On utilise la formule:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = n * M \quad (III.4)$$

$$m_{CO_2} = 1 \text{ mol} \times 44 \text{ g.mol}^{-1} = 44 \text{ g}$$

Calcul la masse molaire de l'eau H₂O

$$M(H_2O) = 2 \times M(H) + 1 \times M(O) = 2 \times 1 + 1 \times 16 = 2 + 16 = 18 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$m_{H_2O} = 2 \text{ mol} \times 18 \text{ g.mol}^{-1} = 36 \text{ g}$$

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

La masse volumique de Méthane (CH_4) $\dot{m}_{CH_4} = 0.6709 \text{ Kg/m}^3$ (15C°_1 bar)

$$\dot{m}_{CH_4} = 6.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{CH_4} = (6.2) / \dot{m}_{CH_4} = 9.241 \text{ Kg/s}$$

Calcul pourcentage $N_2 \cdot CO_2 \cdot H_2O$

$$N_2 = \frac{m_{N_2}}{m_{\text{gaz}}} = 0.716\%$$

la masse molair $N_2 = 28 \text{ g/mol}$

$$CP_{N_2} = 1.04 \text{ kJ/Kg k}$$

$$CO_2 = \frac{m_{CO_2}}{m_{\text{gaz}}} = 0.1309\%$$

la masse molair $CO_2 = 44 \text{ g/mol}$

$$CP_{CO_2} = 0.844 \text{ KJ/kg k}$$

$$H_2O = \frac{m_{H_2O}}{m_{\text{gaz}}} = 0.1071\%$$

la masse molair $H_2O = 18 \text{ g/mol}$

$$CP_{H_2O} = 1.93 \text{ kJ/kg k}$$

$$Cp_{cap} = \langle N_2 \times CP_{N_2} \rangle + \langle CO_2 \times CP_{CO_2} \rangle + \langle H_2O \times CP_{H_2O} \rangle = 1.1096 \text{ kJ/Kg K} \quad (\text{III.7})$$

$$P_{pui} = \dot{m}_{CH_4} \times Cp_{cap} \times (T_{ge} - T_{amb}) \quad (\text{III.8})$$

$$\dot{m}_{CH_4} = 9.241 \text{ Kg/s}$$

$$Cp = 1.1096 \text{ kJ/Kg K}$$

$$T_{ge} = 600^\circ\text{C} \quad T_{amb} = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{pui} = 120598 \text{ KW}$$

$$\Delta H_{gaz} = \frac{P_{pui}}{\dot{m}_{ge}} = 621.42 \text{ Kj/Kg} \quad (\text{III.9})$$

Pour une seule turbine à gaz 621.42 Kj/Kg

Pour 05 turbines

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

$$Q_{t\ speci} = 5 \times \Delta H_{gaz} = 3107.7 \text{ Kj/Kg} \quad (\text{III.10})$$

Le rendement de l'échangeur de chaleur est environ 91%

Donc utilise le Diagramme de MOLLIER avec les conditions d'entrée de l'échangeur (P=4 bar ; T=150°C)

$$h_2 = 620 \text{ Kj/Kg}$$

Un réchauffement de l'eau sera effectué dans l'échangeur de chaleur, jusqu'à la température T = 340°C

Ensuite l'eau mélangée sera évaporée à température d'une manière isobare à une pression de P=140 bar

Enfin la vapeur saturée sera surchauffée d'une façon isobare (P=140 bar), pour étendre la température (T=550°C).

$$\text{Enthalpy} \quad h_3 = 3450 \text{ Kj/Kg}$$

En donnée

$$\dot{n} = 0.7$$

$$h_2 = 620 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_3 = 3450 \text{ Kj/Kg}$$

$$\dot{m}_{gaz} \times Q_{t\ speci} = \dot{m}_{eau} \times (h_3 - h_2) \times n$$

$$\dot{m}_{eau} = \frac{\dot{m}_{gaz} \times Q_{t\ speci}}{(h_3 - h_2) \times n} = 0.3043 \text{ Kg/s}$$

Pression de sortie P=2 bar T=110°C

Le débit vapeur d'eau

$$T_{et} = 550^\circ\text{C}$$

$$m_{vap} = \frac{P_{pu}}{P_m} = 142.014 \text{ Kg/s} \quad (\text{III.13})$$

En général le rendement des turbines à vapeur de type SIMENS varie entre 40_80% donc on choisit une valeur d'un rendement 60%

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

Donc, en négligeant la puissance fournie ou pompe eau, puissance mécanique qui peut être développée par la turbine à vapeur est la calcule comme suit :

$$P_{mt} = P_{pui} \times 0.6 = 72 \text{ MW} \quad (\text{III.14})$$

III.8 Procédures numériques

III.8 -1 Définition Fortran77

(Formula Translator) est un langage de programmation utilisé principalement pour le calcul scientifique. Inventé en 1954, c'est le plus ancien langage de programmation de haut niveau, suivi notamment par Lisp (1958), Algol (1958) et COBOL (1959). Le nombre de bibliothèques scientifiques écrites en Fortran et les efforts continus consacrés aux compilateurs pour exploiter au fil des décennies les nouvelles possibilités des calculateurs (vectorisation, coprocesseurs, parallélisme) ont maintenu l'usage de ce langage, non sans d'importantes évolutions [14]

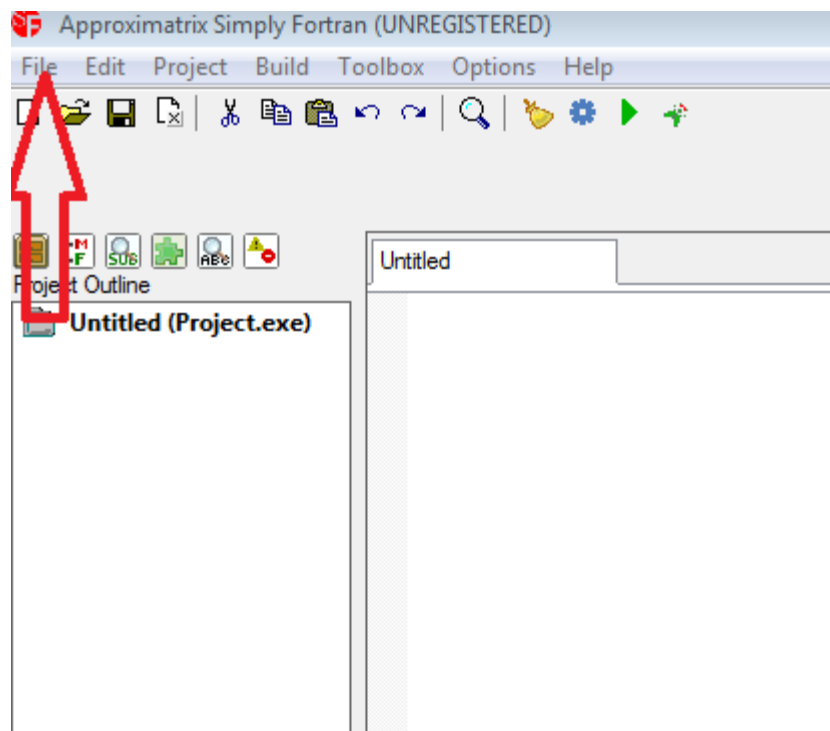
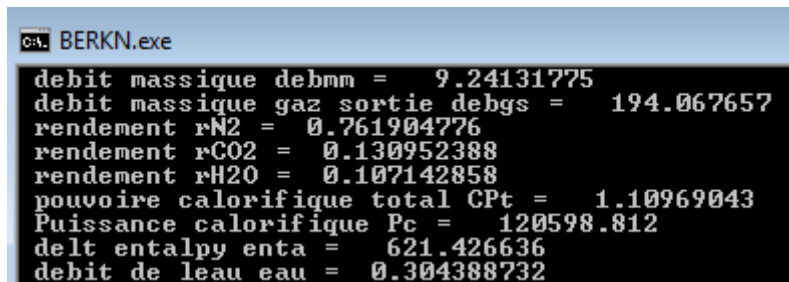


Figure (III.6): l'entrée du programme FORTRAN 77

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

```
program berk
c          hassi berkine
c
c    deb volumique methane m***3/h
debvm = 6.2
c    la msse voliuniqu (rohM)  kg/m***3
rohM = 0.6709
c    la masse molaire methane g/mol
masse meth=16
c    la masse de gaz sortie g
gz = 336
c    clcul debit massique de methane kg/s
debmm = (debvm/rohM)
write(*,*) 'debit massique debmm =', debmm
c
c    la msse voliuniqu (rohN) kg/m***3
rohN = 1.25
c    la masse molaire N2 g/mol
masseN = 28
c    la masse N2 g
mN2 = 256
c    capacite clorifique Kj/Kg*k
CpN2 = 1.04
c
c    la msse voliuniqu (rohC) kg/m***3
rohC= 1.804
c    la masse molaire CO2 g/mol
masseC = 44
```

Figure (III.7) : l'écriture sur la page du programme



```
CAL: BERKN.exe
debit massique debmm = 9.24131775
debit massique gaz sortie debgs = 194.067657
rendement rN2 = 0.761904776
rendement rCO2 = 0.130952388
rendement rH2O = 0.107142858
pouvoir calorifique total CPt = 1.10969043
Puissance calorifique Pc = 120598.812
delt entalpy enta = 621.426636
debit de leau eau = 0.304388732
```

Figure (III.8) : fichier de résultats

III.9 choix de turbine à vapeur :

En consultant le catalogues des turbine à vapeurs, on choisi une turbine à vapeur le références En utilisent le deux turbine à vapeur avec les caractéristiques techniques ci-dessous:

III. 9-1 caractéristiques techniques

SST-150

20MW: la SST-150 est une turbine à boîtier unique, fournissant un entrainement à engrenage à un générateur de 1500 ou 1800 tr/min et conçu pour une conception déguisée.

III. 9-1-1 Données techniques

Puissance desortieà20MW

Pression d'entrée103bar/1,495psi

Température de vapeur d'entrée 505°C/940°F

Vitesse rotationnelle 13,500 tr/min

Saigner 25bar/365psi

Extraction Jusqu'à 16bar/232psi

Pression d'échappement (contre pression) Jusqu'à 10bars/145psi

Pression d'échappement(condensation) Jusqu'à 0,25bar/3,6psi

Zone d'échappement0,28-1,6m²/3.0-17.2sq.ft.

Dimensions typiques:

Longueur:12m/39ft.

Largeur:4m/13.1ft.

Hauteur: 5m / 16.4ft.



Figure (III.9) : photo d'une turbine SST-150

Chapitre III : calcul et récupération d'énergie

SST-300

50 MW: La SST-300 est une turbine à enveloppe unique, Orienté vers le groupe électrogène.

Il a un compact Et un design flexible avec un haut degré de Standardisation

.Utilisé pour la génération d'énergie applications.

III. 9-1-2 Données techniques:

Puissance de sortie jusqu'à 50MW

Pression d'entrée 120bar / 1,740psi

Température d'entrée 540 ° C / 1,004 ° F

Vitesse de rotation jusqu'à 12 000 tr / min

Extraction contrôlée jusqu'à 25 bar / 363 psi

Et jusqu'à 350 ° C / 662 ° F

Purge jusqu'à 60 bar / 870 psi

Pression d'échappement (contre-pression) Jusqu'à 16bar / 232psi

Pression d'échappement (condensation) Jusqu'à 0.3bar / 4.4psi

Zone d'échappement 0,28-1,6m² / 3.0-17.2sq.ft.

Dimensions typiques:

Longueur: 12 m / 39ft.

Largeur: 4m / 13.1ft.

Hauteur: 5m / 16.4ft



Figure (III.10) : Photo d'une turbine SST-300[15]

III. 10 Effet de débit de gaz

La puissance produit des turbines à vapeur est examiné. On constate que la puissance mécanique

Récupéré sur les turbines à vapeur revoit proportionnellement en fonction de débit massique des gaz utilisé la figure (III.12) montre une relation linéaire entre le débit de gaz et la puissance récupéré.

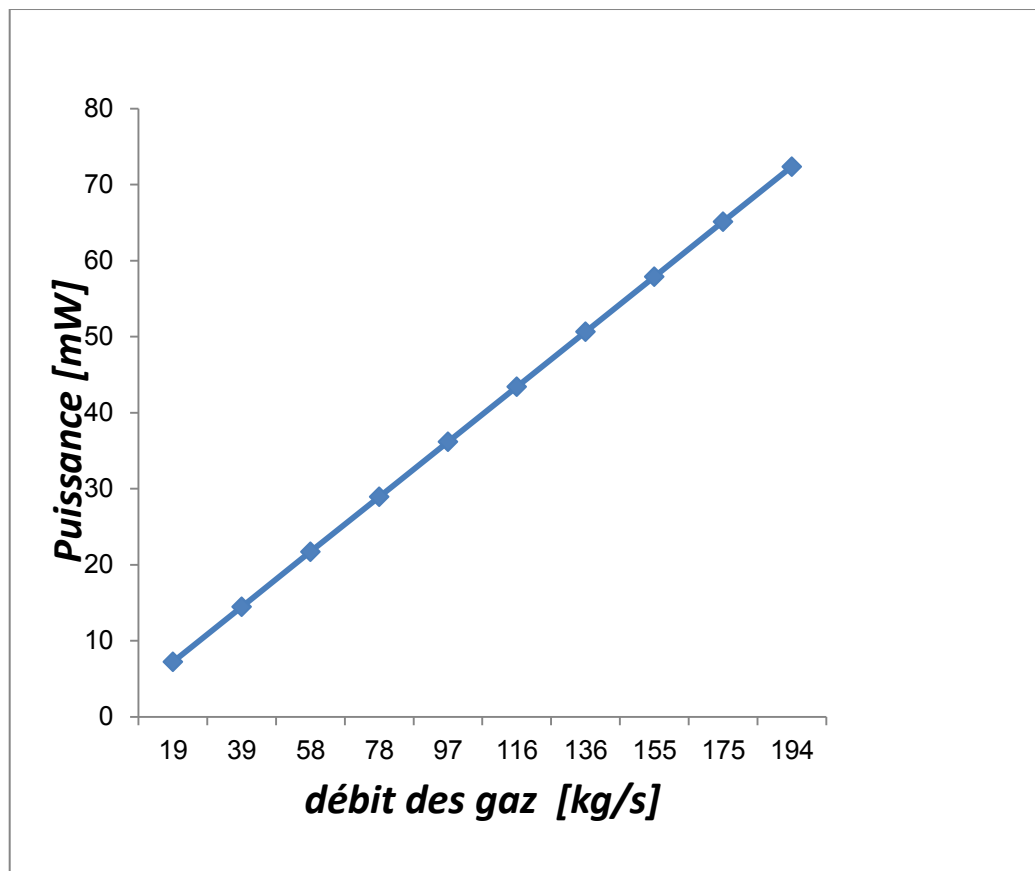


Figure (III.11) : Puissance mécanique en fonction de débit des gaz

Conclusion

Le programme sous langage FORTRAN est développé pour mener les calculs et réaliser une étude paramétrique. En utilisant ce programme on a calculé les gains ainsi que les chutes d'enthalpie pour la puissance produite par les turbines à vapeur. On a choisi une solution qui permet d'exploiter toute l'énergie des gaz d'échappement.

Les résultats obtenus de cette l'installation de cycle combiné gaz-vapeur montre qu'avec cette chaleur récupérée on peut tourner deux turbines à vapeur d'une puissance totale de 70 MW.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, les performances d'un cycle simple de turbine à gaz combiné avec une turbine à vapeur utilisant la récupération d'énergie. et le dimensionnement de la station est calculé à partir de données des turbines à gaz de la station d'elmerk Hassi Berkine.

Un programme sous langage FORTRAN est développé pour mener les calculs et réaliser une étude paramétrique. En utilisant ce programme on a calculé les gains ainsi que les chutes d'enthalpie pour la puissance produite par les turbines à vapeur. On a choisi une solution qui permet d'exploiter toute l'énergie des gaz d'échappement.

Les résultats obtenus de cette l'installation de cycle combiné gaz-vapeur montre qu'avec cette chaleur récupérée on peut tourner deux turbines à vapeur d'une puissance totale de 70 MW.

Comme perspective, en utilisant les résultats de ce mémoire, il est intéressant de poursuivre ce travail, nous avons concentrés notre analyse sur la turbine à vapeur pour les études à venir, nous allons aborder l'autre élément de cycle combiné telle que échangeur de chaleur, condenseur, pompa eau.

Référence

Référence

- [1] **BOUSLIMANI Fatma Zohra.** Rapport de stage. Automatisation. Université M'Hamed BOUGARRA Boumerdès.01/04/2014 au 22/04/2014
- [2] **SONATRACH SRGA2** (Manuel de formation pour la conduit et l'entretien)
- [3] **HERZALLAH, A.** Étude thermodynamique Maintenance et Fiabilité d'une turbine à gaz MS 5002, mémoire d'ingénieur, Université de Boumerdes, 2006.
- [4] **BELKHAMSA, S. ABD ESSELAM, S.** Contribution à l'étude et au calcul des cycles thermodynamiques des turbines à gaz, mémoire d'ingénieur, Université Ouargla, 2008.
- [5] **BENDJEDIDI,S.**Pompe centrifuge, Rapport de stage, Université de Batna, 2012.
- [6] **BEN AMOR, Y. REZIG, T.,** Calcul énergétique d'une turbine à gaz à cycle combiné, mémoire d'ingénieur (Université Mohamed Khider –Biskra), 2010
- [7] **BENNARA, I.** "Etude et calcul de vérification d'un turbo alternateur Mémoire d'ingénieur, Université M'hamed Bouguara Boumerdes, 2009.
- [8] **TEBIB, W. Slatni, Y.** Investigation des conditions optimales de soutirages dans les turbines à vapeur, Mémoire d'ingénieur, Centre Universitaire Tbessa, 2007.
- [9] **Jean-Marie MONTEIL.** Centrale à cycle combiné, Ingénieur de l'école EDF-GDF, Ingénieur DPE-grade de Mastère, Ingénieur au service études et projets thermiques et nucléaires.
- [10] Cycles moteurs à vapeur ou Le glamour des machines à bulles <https://thermodynamique.ninja/>
- [11] **Hedman, Bruce,** ICF International, CHP: The State of the Market, presentation to the U.S. EPA Combined Heat and Power Partnership 2009 Partners Meeting, 1 October 2009
- [12] **D. Grace:** Gas Turbine Upgrades for Enhancing Operational Flexibility, Technical Update, March 2007, Electric Power Research Institute, Inc
- [13] **Goswami and Frank keith,** Energy Conversion , 2007 by Taylor & Francis Group, LLC.
- [14] **fortran 77 tutorial** (nearly identical versions available at several sites online)
- [15] **siemens.com / energy / steam turbines**

Annexe

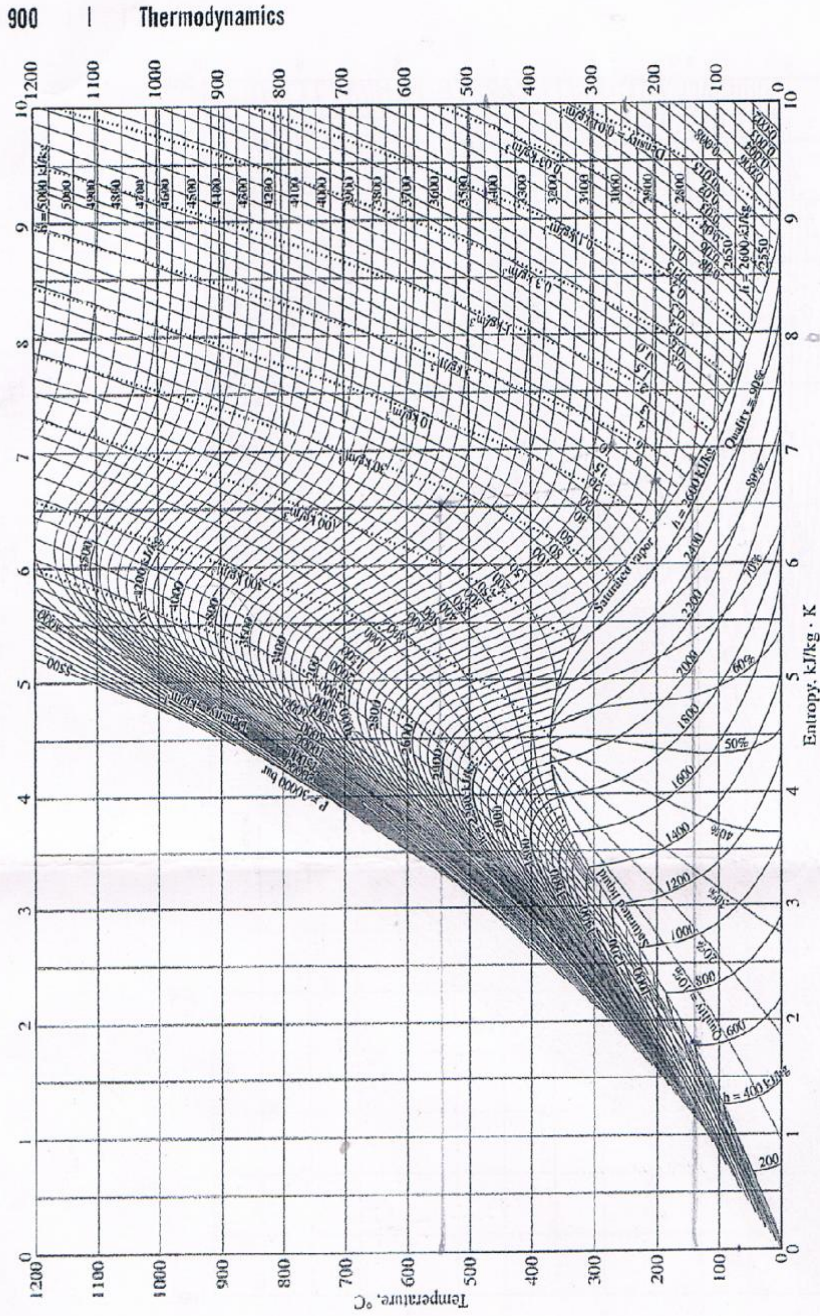


FIGURE A-9

T-s diagram for water.

Copyright © 1984, From NBS/NRC Steam Tables/1 by Lester Haar, John S. Gallagher, and George S. Kell. Reproduced by permission of Routledge/Taylor & Francis Books, Inc.