



Dédicace :

**Nous dédions ce travail à tous
ce qui nous ont soutenu,
de près et de loin,
nos parents,
À nos proches,
À nos chers professeurs,
À tous nos amis.**





Remerciements

Avant d'entamer notre rapport, nous remercions notre encadrant à la société Mr. MEQQORI Mohammed Amine, Ingenieur et chef de service opérations chez l'ONE branche d'électricité, qui nous a accompagné tout au long de ce stage, nous le remercions pour le temps qu'il nous a consacré, pour sa patience et sa gentillesse, et pour les précieuses informations qu'ils nous a prodiguées avec intérêt et compréhension. Nous tenons aussi à remercier aussi Mr. MAIMOUNI Kamal l'aide operateur chez Abengoa pour ses précieux conseils et ses informations.

Nos remerciements vont à Mr. KHELFAOUI Mostapha Directeur général et Mme Bouamama Khoulood responsable RH qui nous ont donné cette opportunité pour effectuer ce stage au sein de la centrale, auprès desquelles nous avons trouvé un accueil chaleureux, ainsi que tout les personnels.

Nous tenons à remercier également notre cher professeur et encadrant Mr.HAOUACHE Said pour son suivi et pour son soutien afin de realiser ce modeste travail. Egalement à notre cher professeur Mr. RJEB Mohammed l'examineur de notre travail.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères salutations à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.



Nomenclature

ABM : Ain Beni Mathar.

Gaz : Gaz naturel ou bien gazduc

CO : Cycle ouvert.

CC : Cycle Combiné.

ISCC : Cycle Combiné avec intégration du champ solaire.

TG : Turbine à Gaz.

TG_{GT13E} : Turbine à gaz de la centrale d'ABM de type GT13E.

TV : Turbine à Vapeur.

T_{2S}, T_{4S} : Les températures théoriques des états 2 et 4.

C_{pmoy} : Capacité thermique massique des gaz brûlés (J/kg K).

r_{gb} : Constante des gaz brûlés (J/kg K).

PC_I : Pouvoir calorifique du gaz naturel.

m_{GN} : Le débit massique du gaz naturel.

τ : Taux de compression.

C'_{pmoy} : Capacité thermique massique de gasoil.

PC'_i : Pouvoir calorifique du gasoil.

γ_{air} : Coefficient polytropique.

w_{sc} : Travail isentropique fourni au gaz

w_c : Travail réel fourni au gaz.

Q_{cc} : Chaleur apportée au gaz au niveau de la chambre de combustion.

w_{ST} : Travail isentropique fourni par le gaz dans la turbine.

w_T : Travail réel fourni à la turbine à gaz.

w_{ut} : Travail util.



Liste des figures et tableaux

Tableau 1 : Le champ solaire de la centrale.....	06
Tableau 2 : Information sur TG.....	07
Tableau 3 : Information sur TV.....	08
Figure 1 : Turbine à gaz.....	04
Figure 2 : Turbine à vapeur.....	05
Figure 3 : Aérocondenseur.	05
Figure 4 : Chaudière de récupération de la chaleur	06
Figure 5 : Schéma représentant Les trois circuits.....	09
Figure 6 : Cycle Ouvert.....	10
Figure 7 : Cycle Combiné.....	10
Figure 8 : Cycle ISCC.....	11
Figure 9 : Transformateur élévateur.....	11
Figure 10 : Transformateur abaisseur.....	11
Figure 11 : Cycle idéal de Bryton fermé.....	12
Figure 12 : Cycle réel d'une turbine à gaz	13
Figure 13 : Représentation de la notion de travail d'un compresseur.....	14
Figure 14 : Représentation de la notion de travail d'une turbine.....	15



Figure 15 ; Brûleur à gaz	21
Figure 16 ; Diagramme de bête à corne.....	22
Figure 17 ; Diagramme pieuvre du brûleur Gaz/Gasoil.....	23
Figure 18 ; Diagramme FAST.....	23
Figure 19 ; Schéma de brûleur Gaz/Gasoil.....	24
Figure 20 ; Buse de pulvérisation.....	24
Figure 21 ; Régulateur de pression.....	25
Figure 22 ; Schéma représentatif de l'injection de la vapeur d'eau.....	27
Figure 23 ; Puissance absorbée par le compresseur.....	27
Figure 24 ; Rendement thermique global.....	28
Figure 25 ; Puissance sans et avec l'injection de la vapeur d'eau.....	28
Figure 26 ; Rendement sans et avec l'injection de la vapeur d'eau.....	29
Figure 27 ; Rendement et le rapport (vapeur-air)	30
Figure 28 ; Débit du fluide moteur.....	30



Introduction générale

La centrale thermo-solaire d'ABM se base sur la gaz naturel (Gazduc) de l'Algérie pour sa production d'électricité. Ces besoins de la matière première sont satisfaites grâce à un contrat d'approvisionnement signé entre le Maroc et l'Espagne, mais jusqu'à maintenant il n'y a pas une décision claire concernant l'avenir de ce contrat c'est-à-dire il peut être non renouvelé l'année prochaine. Pour cela et dans un cadre de gestion de risque (rupture de gaz), la centrale a décidé d'améliorer le système de fonctionnement des Turbines à gaz pour qu'elles puissent utiliser comme combustible le gazoduc et en même temps le gazole.

Ce rapport est divisé en trois chapitres, le premier concerne la centrale thermo-solaire d'ABM et les deux entreprises qui l'ont construite (ABENGOA et ONE). Dans ce même chapitre nous décrivons le fonctionnement de la centrale pour une meilleur compréhension de l'objectif qu'il faut atteindre. Le deuxième chapitre est consacré à une étude théorique de la TG_{GT13E} de la centrale pour tirer des informations qui vont aider à déterminer les autres paramètres de la turbine après l'amélioration, ces paramètres aussi vont être calculés dans ce même chapitre. Puis dans le troisième chapitre nous traitons les modifications à appliquer au système de fonctionnement de la TG_{GT13E} pour atteindre l'objectif souhaité. En fin nous proposons une amélioration des performances de la TG_{GT13E} , suivant une étude faite sur une turbine à gaz de production de l'électricité. Cette étude traite l'effet de l'injection de la vapeur d'eau dans la chambre de combustion, sur la diminution de l'influence de l'augmentation la température ambiante sur les TG. Et nous terminons par une conclusion qui résume tous les résultats obtenus.



Chapitre 1 :
Présentation et description de
l'organisme d'accueil.



1 Présentation de l'organisme d'accueil.

1.1 Centrale thermo-solaire d'ABM.

La centrale thermo-solaire d'Ain Beni Mathar est un site industriel de production de l'Energie électrique première du genre en Afrique qui travaille à cycle combiné en utilisant comme combustible le gaz naturel permettant la production de 452 MW et en profitant de l'Energie solaire qui permet la production de 20 MW de puissance électrique. Elle se situe à la commune de Ain béni Mather province de Jerada qui a été choisie pour l'implantation du site grâce à l'ensoleillement suffisant dans la région, la proximité de la gazoduc Maghreb-Europe, la disponibilité d'un débit d'eau suffisant pour le refroidissement des équipements et le nettoyage des miroirs solaires et la proximité du réseau électrique haute tension pour l'évacuation de l'énergie produite par la centrale. Elle a une superficie de 160 hectares dont 88 est couvert par un champ solaire. Cette centrale à cycle combiné (ISCC) est développée par l'Office National d'Electricité en 2010, ce projet a été confié, après appel à la concurrence, à la société espagnol ABENGOA.

1.2 L'Office National de l'Électricité (ONE).

L'Office National de l'Électricité (ONE) est l'unique établissement public à caractère industriel et commercial qui assure la satisfaction des besoins du Maroc en électricité en respectant les contraintes de cout et de qualité. Il est créé en 1963 et compte environ 4 millions abonnées.

1.3 ABENGOA.

ABENGOA est un groupe industriel et technologique espagnol du secteur énergétique créé en 1941 par les ingénieurs Benjumea Javier Puigcerver et Jose Manuel Fernandez-Fasalagua Abaurre, au départ son but était de fabriquer des compteurs électriques, mais dans les années 2000 elle a beaucoup développé ses activités dans les secteurs de l'énergie, des biotechnologies en investissant dans des grandes centrales solaires et a devenue leader dans le thermo - solaire via sa filiale ABENGOA Solar.

1.4 ABENER.

ABENER énergie, est une société qui appartient au département ingénierie industriel du groupe ABENGOA et construction (ABEINSA), a été créé en 1991, quand la division mécanique d'ABENGOA a entrepris des projets de cogénération. Une ingénierie et une construction pour un

2 Description de la centrale thermo-solaire d'Ain béni Mathar.

2.1 Principales composantes de la centrale d'ABM.

➤ Turbine à gaz :

Il existe deux turbines à gaz dans la centrale d'ABM, ou encore la turbine à combustion est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur en écoulement continu, la figure 1 montre la forme de la TG et ses composantes.

E : L'entrée d'air filtré.

C : Le compresseur constitué d'un ensemble d'ailettes fixes (stator) et mobiles (rotor).

G : Le combustible gazeux ou liquide pulvérisé.

Ch : Chambre de combustion.

T : Turbine de détente.

Ec : Echappement.

A : L'arbre de la TG lié à l'alternateur.

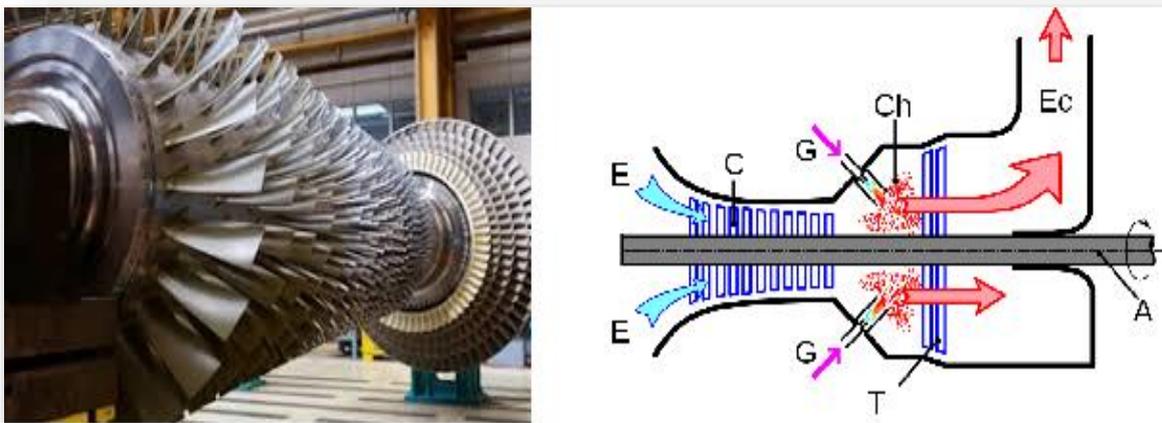


Figure 1 : Turbine à Gaz

➤ Chaudière de récupération de chaleur :

Elle est composée de trois parties, une à haute pression la plus proche à TG où la température est la plus élevée (500 °C), l'autre à moyenne pression (partie intermédiaire) où la température est de 480 °C et la troisième à faible pression est la plus loin de la chaudière ou la température est la plus faible (200 °C). Chaque partie de la chaudière est composée d'un économiseur qui fait augmenter la température de l'eau pour le préparer à s'évaporer (afin d'éviter un choc thermique), évaporateur (générateur de vapeur) et surchauffeur qui fait augmenter la température de la vapeur.

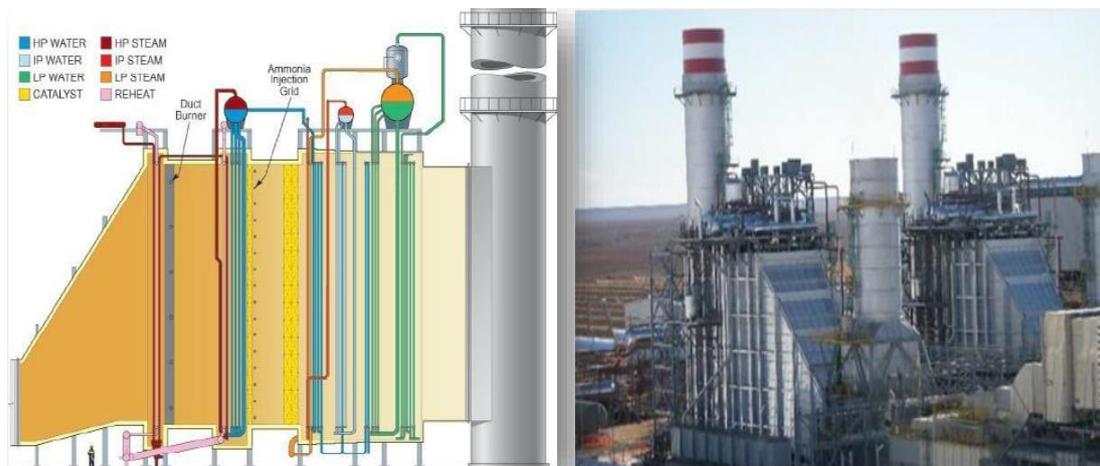


Figure 4 : Chaudière de récupération de la chaleur

➤ Générateur électrique :

Le générateur utilisé dans la centrale ISCC (Type : WY 21 Z- 095) est construit par ALSTOM, il convertit l'énergie mécanique en énergie électrique en utilisant le principe d'induction électromagnétique ; D'une puissance de 205 MVA, d'une fréquence de 50Hz et d'une vitesse de rotation de 3000 tr/min, courant nominal de 8163 A sous une température nominale de 40 °C.

2.2 Présentation et principe de fonctionnement du champ solaire.

2.2.1 Présentation du champ solaire.

Champ solaire (Surface totale de chauffe 183 200 m ²).	Tube récepteur	Température d'huile d'entrée collecteur : 295°C
	Réflecteur cylindre-parabolique	Température d'huile sortie collecteur : 395°C
	Structure de support	Distance entre les rangées : 18 m Longueur du collecteur : 5,7 m Longueur focale : 1,71 m Longueur absorbeur : 150 m

Tableau 1 : Le champ solaire de la centrale



2.3.2 Présentation et principe de fonctionnement de la TV d'ABM.

2.3.2.1 Présentation de la TV d'ABM.

Composante :	Caractéristiques :
Turbine à vapeur ALSTOM	Type : DKYZ2-1N41B Puissance : 172 MW. Vitesse de rotation : 3 000 tr/min

Tableau 3 : Information sur TV

2.3.2.2 Principe de fonctionnement de la TV d'ABM.

Une partie d'eau qui sort du condenseur passe par un dégazeur qui élimine l'oxygène et tous les autres gazes qui peuvent influencer le fonctionnement normale du cycle, puis cet eau déminéralisé entre dans un économiseur pour qu'elle atteigne le degré de température de vaporisation (c'est à dire elle subit un préchauffement), ensuite elle s'injecte dans un générateur de vapeur où un transfert thermique à lieu entre l'huile sortie collecteur (fluide caloporteur) et l'eau ce qui entraîne sa vaporisation, après, l'eau quitte cet échangeur sous forme de vapeur qui entre une autre fois dans la chaudières de récupération de chaleur, plus précisément dans la partie HP où il subit un surchauffement afin d'augmenter l'efficacité du cycle ISCC (d'après le théorème de Carnot le **rendement max** $= 1 - T_f / T_c$ avec T_f la température du réservoir froid et T_c la température du réservoir chaud), cette vapeur à grande pression (80 bar) entre dans le corps HP de la TV et assure sa rotation. Pour une meilleure optimisation de l'utilisation de cette vapeur, la TV comporte deux autres corps l'un à moyenne pression (20 bar) et l'autre à faible pression (2 à 5 bar), la vapeur sortante du corps de la turbine à haute pression rentre encore une autre fois dans la zone BP de la chaudière de récupération de chaleur pour qu'elle se réchauffe avant d'alimenter le corps à moyenne pression puis à basse pression.

L'autre partie d'eau d'alimentation venant du condenseur passe par trois circuits pour alimenter la turbine comme montre la figure 5.

➤ Circuit basse pression BP :

L'eau venant du condenseur est envoyé vers un ballon BP à travers un économiseur qui élève sa température pour le préparer à s'évaporer, ce ballon alimente un évaporateur qui assure la vaporisation de l'eau, cette vapeur résultante revient à nouveau au ballon puis passe par un surchauffeur BP et finalement alimente la corp de la turbine à BP.

➤ **Circuit moyenne pression MP :**

Deux pompes MP (et une réserve) absorbent l'eau du ballon BP et l'envoie par l'intermédiaire d'un économiseur MP au ballon MP, l'eau sort de ce ballon et entre dans un surchauffeur MP et deux resurchauffeurs MP et alimente finalement la corp de la turbine à MP.

➤ **Circuit haut pression HP :**

Deux pompes HP (et une réserve) absorbent l'eau du ballon HP et en passant par deux économiseurs HP l'eau entre dans un ballon HP et l'évaporateur HP, la vapeur produite passe par trois surchauffeurs HP avant qu'elle alimente le corps de la turbine à HP.

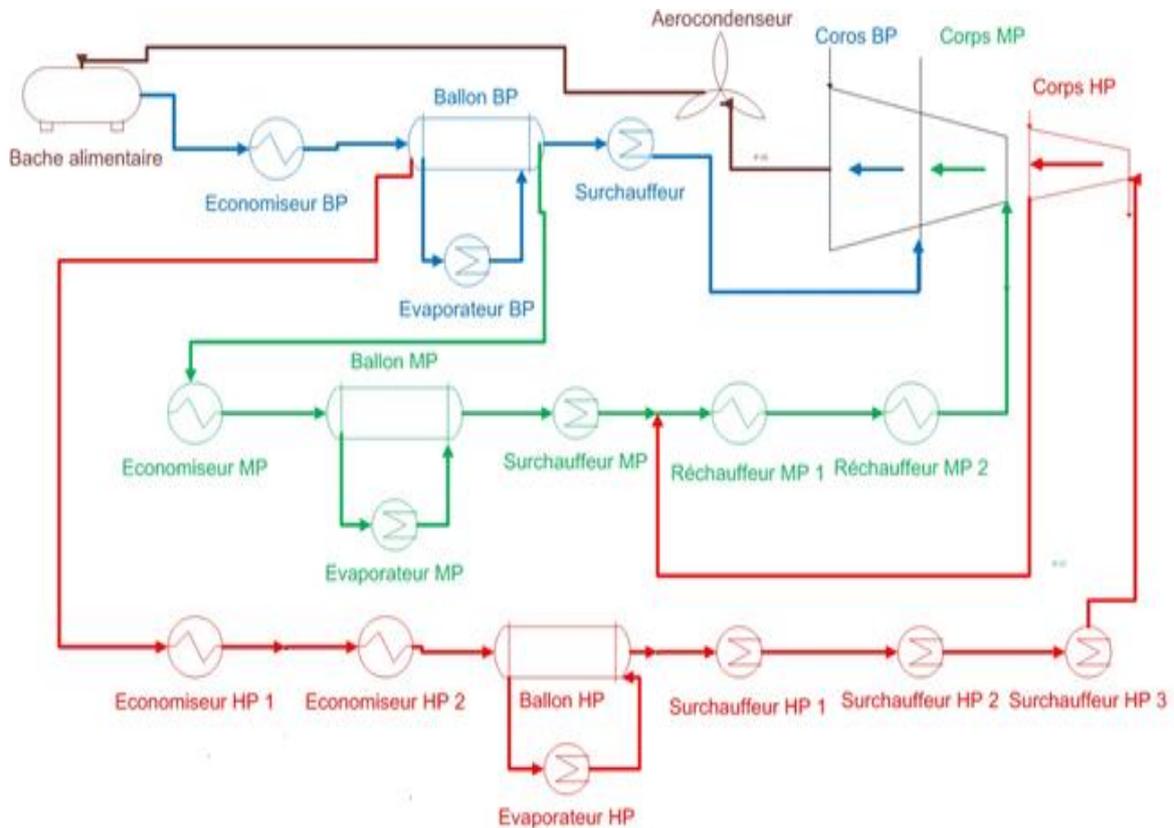


Figure 5 : Schéma représentant Les trois circuits

2.4 Les modes de fonctionnement de la centrale.

➤ **Cycle Ouvert (CO) :**

Consiste à produire de l'électricité juste par les deux turbines à gaz (production de 150 MW chacune). Dans ce cas on n'exploite pas le système de récupération de la chaleur (HRSG) et par conséquent on n'utilise pas la turbine à vapeur.

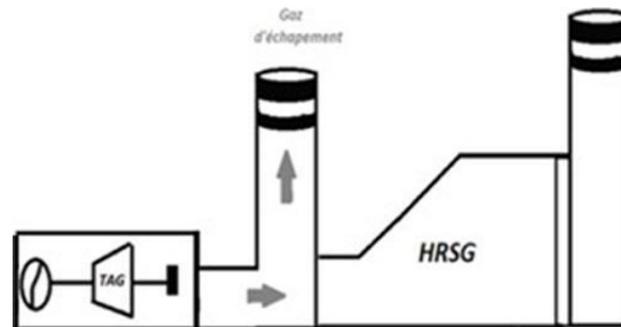


Figure 6 : Cycle Ouvert

➤ **Cycle Combiné (CC) :**

Combinaison entre les deux turbines à gaz et la turbine à vapeur par l'intermédiaire des deux chaudières de récupération (production de 452 MW).

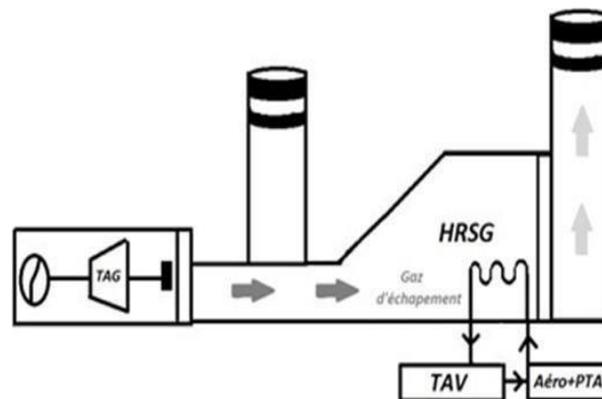


Figure 7 : Cycle Combiné

➤ **Cycle Combiné (1/2 CC) :**

Le même que le CC, la seule différence est que dans ce cycle la combinaison n'est entre qu'une seule turbine à gaz et la turbine à vapeur par l'intermédiaire d'une chaudière de récupération (production de 302 MW).

➤ **Cycle combine avec intégration du champ solaire (ISCC : Integrated Solar Combined Cycle) :**

Il s'agit d'une intégration de l'énergie produite par le champ solaire (20 MW) avec le CC pour produire la 472 MW de puissance électrique.



Chapitre 2 :

Etude théorique et calcul des paramètres de la TG.

Réellement la TG fonctionne suivant un cycle un peu différent de celui décrit précédemment c'est le cycle réel de Baryton (figure 12), ce cycle se caractérise par :

- 1- La compression est adiabatique de rendement isentropique η_c car la température réelle est plus élevée que la température théorique à cause des frottements qui interviennent lors de la rotation des étages du compresseur.
- 2- La détente est adiabatique de rendement isentropique η_d puisque la température réelle est plus élevée que la température isentropique et cela est dû une autre fois aux forces de frottement causé par les 5 corps de la TG.

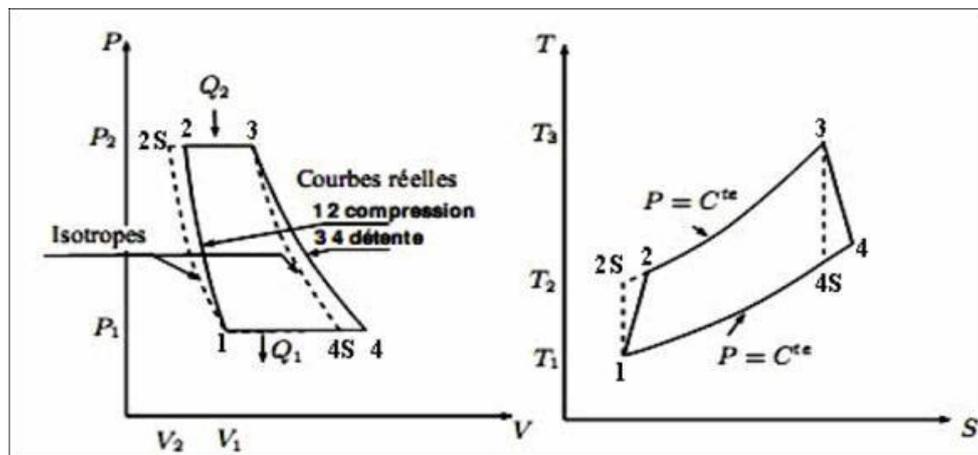


Figure 12 : Cycle réel d'une turbine à gaz

1.2 Calcul des paramètres de la TG.

✓ **Données :**

➤ **Compresseur :**

$$T_1 = 15^\circ\text{C} ; P_1 = 895 \text{ mbar} \quad // \quad T_2 = 425^\circ\text{C} ; P_2 = 13 \text{ bar}$$

➤ **Chambre de combustion :**

$$T_2 = 425^\circ\text{C} ; P_2 = 13 \text{ bar} \quad // \quad T_3 = 1100^\circ\text{C} ; P_3 = 13 \text{ bar}$$

➤ **Turbine à gaz :**

$$T_3 = 1100^\circ\text{C} ; P_3 = 13 \text{ bar} \quad // \quad T_4 = 512.8^\circ\text{C} ; P_4 = 895 \text{ mbar}$$

➤ **Débit massique de gaz d'échappement :** $m_{ge} = 503.9 \text{ Kg/s}$

➤ $C_{p,air} = 1005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à $T = 29^\circ\text{C}$.

➤ $r_{air} = 287.15 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

➤ $C_{pmoy} = 1275 \text{ J/kg K}$.

➤ $r_{gb} = 288.5 \text{ J/kg. K}$

➤ $Pc_i = 45966 \text{ kJ/Kg}$

➤ $\dot{m}_{GN} = 10 \text{ kg/s}$

➤ $\tau = 13$ et $f = 0.019$

➤ **L'air est considéré comme un gaz parfait.**



✓ Le travail réel fourni par le gaz à la turbine :

$$\eta_{sT} = \frac{w_T}{w_{sT}} \rightarrow w_T = \eta_{sT} w_{sT} \quad (I.12)$$

Avec :

η_{sT} : Rendement isentropique de la turbine.

$\eta_{sT} = 88 \%$.

✚ Application numérique :

$$w_T = 0.88 * (-767109) = -675055.9 \text{ J/kg.}$$

❖ Calcule des débits massiques : [3]

On a :

$$\dot{m}_a h_e + \dot{m}_{GN} P c_i = h_s (\dot{m}_a + \dot{m}_{GN}) \quad (I.13)$$

On divise par \dot{m}_a et on obtient la relation suivante :

$$h_e + \frac{\dot{m}_{GN}}{\dot{m}_a} P c_i = h_s \left(1 + \frac{\dot{m}_{GN}}{\dot{m}_a} \right) \quad (I.14)$$

On pose que :

$$f = \frac{\dot{m}_{GN}}{\dot{m}_a} \rightarrow \dot{m}_a = \frac{\dot{m}_{GN}}{f} \quad (I.15)$$

Avec :

f : Le rapport des débits dans une chambre de combustion.

\dot{m}_a : Débit de l'air.

\dot{m}_{GN} : Débit de gaz naturel.

h_e : L'enthalpie d'entrée à la chambre de combustion.

h_s : L'enthalpie de sortie à la chambre de combustion.

$P c_i$: Pouvoir calorifique du gaz naturel.

L'expression (I.13) devient :

$$h_e + f P c_i = h_s (1 + f) \quad (I.16)$$



Chapitre 3: Amélioration de la TG (GT13E) .

1 Les modifications à appliquer sur la TG (GT13E) .

1.1 Solution proposée.

La solution proposée est de remplacer les brûleurs actuels par des brûleurs combinés gaz-gasoil.

Mais d'abord qu'est-ce qu'un brûleur ?

Le brûleur est un élément mécanique (figure 15) constitué de plusieurs pièces permettant la combustion d'un carburant au sein d'une chaudière en mélangeant l'air comburant et le fioul, spécialement pour les TG, c'est l'élément qui assure la combustion du gaz naturel dans la chambre de combustion.



Figure 15 : Brûleur à gaz

1.2 Analyse fonctionnelle du brûleur gaz /gasoil.

1.2.1 Définition.

L'analyse fonctionnelle est une méthode d'analyse qui permet de transcrire des besoins d'une manière particulièrement précise et structurée, sans évoquer un moyen, mais tout en restant focalisée sur les détails de l'objectif.

Quelques mots clés de cette méthode :

Système : un système est un ensemble d'éléments interagissant selon certains principes.

Besoin : un besoin est une nécessité ou désir éprouvé par un utilisateur.

Fonction : une fonction est l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants

Contraintes : est une condition obligatoire à laquelle la fonction doit répondre.

1.2.2 Identification et validation du besoin.

1.2.2.1 Identification du besoin par la méthode APTE.

La méthode APTE est une méthode universelle d'aide à la gestion de projet, pour la bonne utilisation de cette méthode nous allons nous baser sur un outil graphique (bête à corne) et un diagramme de pieuvre.

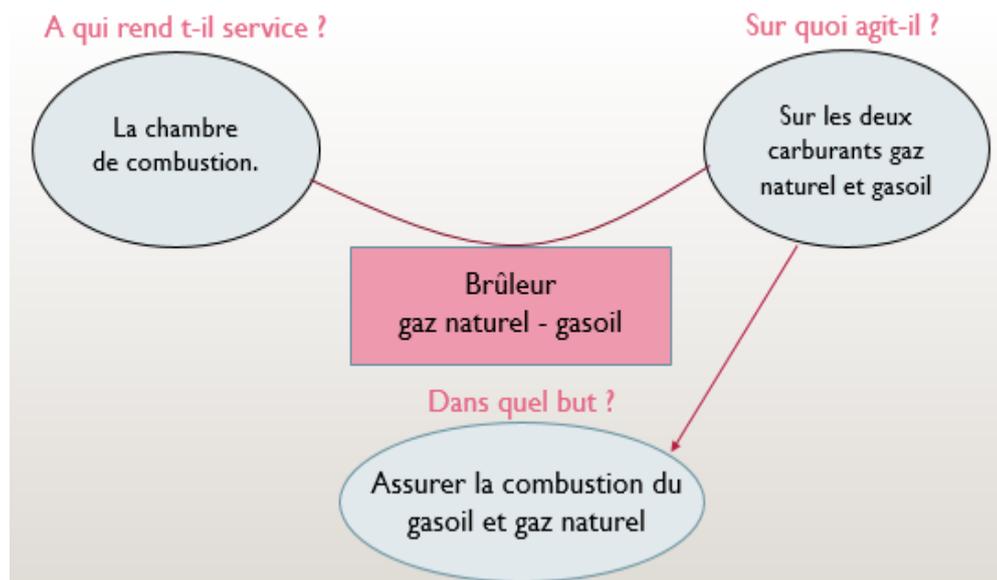


Figure 16 : Diagramme de bête à corne

1.2.2.2 Validation du besoin.

La validation du besoin nécessite la réponse à ces deux questions :

- **Pourquoi le besoin existe ?**

Le besoin existe à cause du manque d'espace dans la chambre de combustion d'ajouter des brûleurs pour le gasoil.

- **Dans quel besoin existe ?**

Le but de ces brûleurs est d'assurer la combustion du gaz naturel et du gasoil.

1.2.3 Identification et validation des fonctions.

1.2.3.1 Identification de fonction (pieuvre).

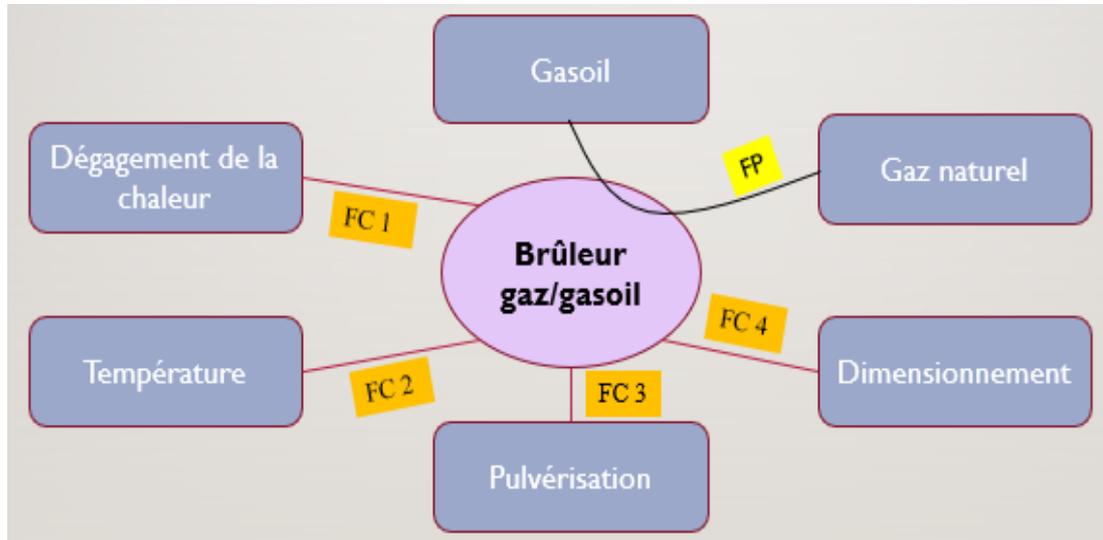


Figure 17 : Diagramme pieuvre du brûleur Gaz/Gasoil

FP : Assurer la combustion du gaz et gasoil.

FC1 : Assurer le dégagement de la quantité de chaleur convenable.

FC2 : Supporter la température élevée de la chambre de combustion.

FC3 : Assurer la pulvérisation des carburants.

FC4 : Etre compatible avec le dimensionnement des brûleurs actuels.

1.2.3.2 Diagramme FAST (Fonction Analyse System Technique).

Ce diagramme sert à analyser quelques fonctions énoncées dans le schéma de pieuvre.

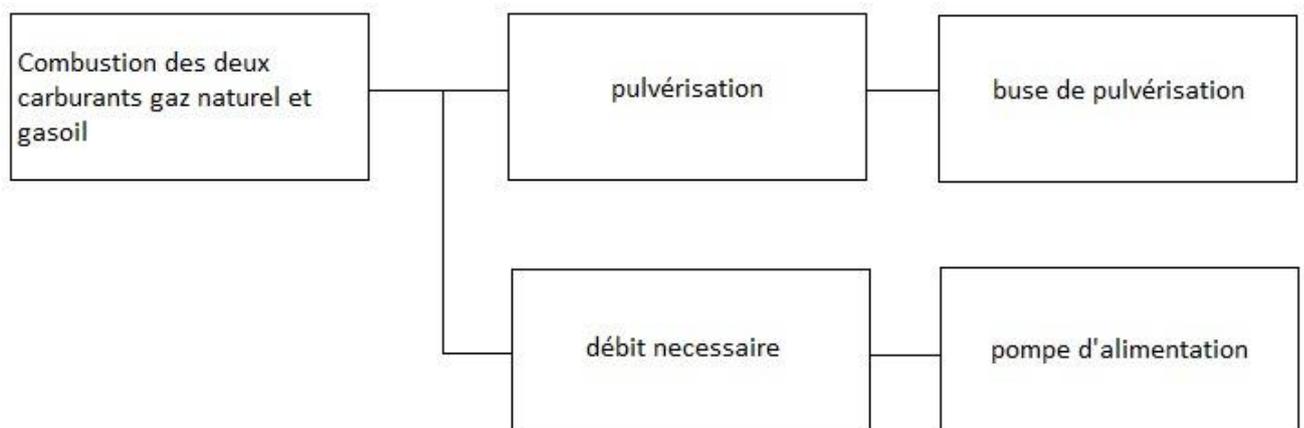
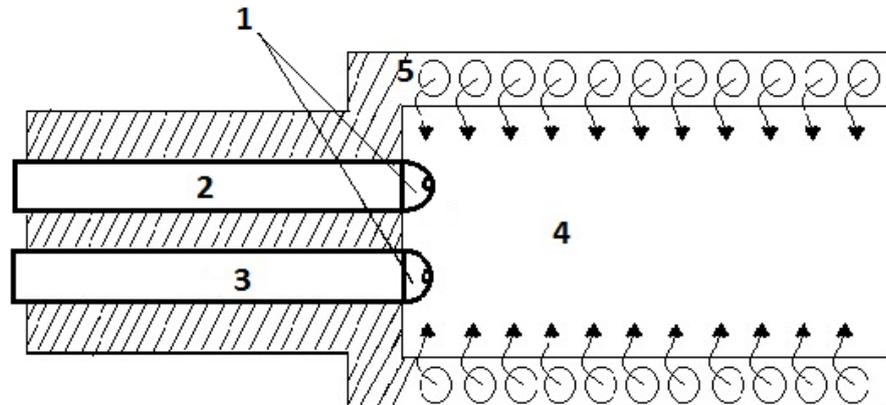


Figure 18 : Diagramme FAST

1.2.4 Description du brûleur bicombustible proposé.



Avec :

Figure 19 : schéma de brûleur gaz/gasoil

- 1 : Buses de pulvérisation.
- 2 : Conduit du gaz naturel.
- 3 : Conduit du gasoil.
- 4 : Zone de flamme.
- 5 : Entrée d'air comprimé.

1.3 Principe de fonctionnement.

1.3.1 Les composants et Principe de fonctionnement de la buse de pulvérisation :

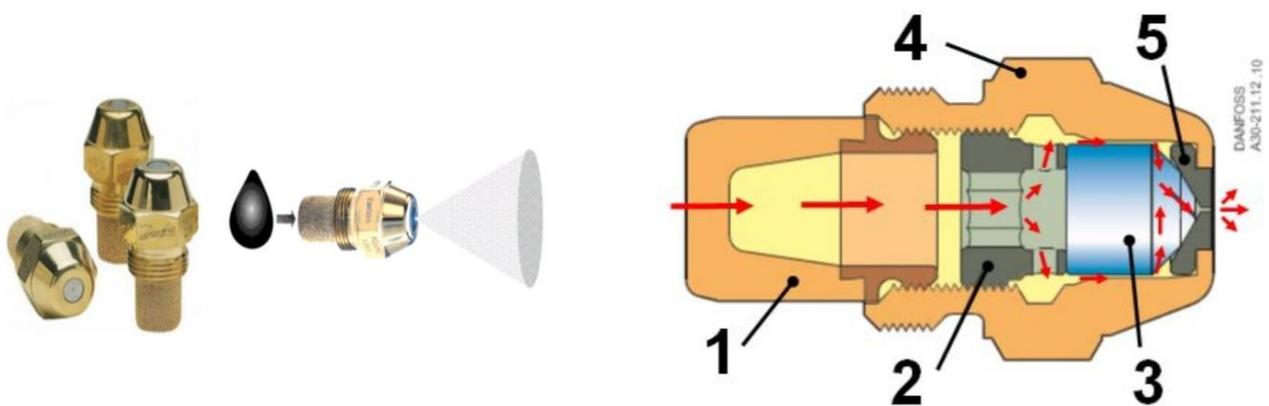


Figure 20 : Buse de pulvérisation

- 1- **Filtre** : il permet de filtrer les impuretés les plus fines que le préfiltre fioul et le filtre interne de la pompe ont laissées passer.
- 2- **Vis de blocage** : permettre de maintenir l'obus au fond du corps, près de l'orifice de pulvérisation.
- 3- **L'obus conique** : composé de canaux, provoquant la circulation giratoire du gasoil, avant de former un cône de fines gouttelettes lors de sa pulvérisation.
- 4- **Le corps de la buse** : intégrant de disque à orifice de pulvérisation 5.

Grâce au rétrécissement de sa section de passage, la buse voit augmenter la vitesse de débit du liquide pulvérisé. L'énergie potentielle se trouve transformée en énergie cinétique (vitesse). Lors de la détente en sortie de la buse, il se crée des lamelles de liquide en forme de vaguelettes aérodynamiques qui vont mener à la désagrégation du liquide et finir en gouttes de différentes tailles. Pour une pulvérisation idéale les goulettes résultantes de ce phénomène ont la même taille.

L'utilisation des buses de pulvérisation nécessite une pression constante ceci implique l'utilisation d'un régulateur de maintien de pression.

1. Régulateur de maintien de pression.

Un régulateur de pression est une vanne qui contrôle la pression d'un liquide ou d'un gaz a une valeur souhaitée, un régulateur de maintien est une soupape qui maintient la pression de consigne à son coté d'entrée en s'ouvrant pour permettre l'écoulement lorsque la pression d'entrée dépasse la valeur de consigne grâce à un capteur de pression.



Figure 21 : Régulateur de pression



1.3.2 Principe de fonctionnement du brûleur gaz/gasoil.

L'air comprimé à 13 bar entre dans la chambre de combustion, en suit il entre dans la zone de flamme du brûleur, puis dans le cas d'un fonctionnement au gasoil il y'a injection d'un débit de 0,142Kg/s du gasoil pulvérisé grâce à une buse de pulvérisation, ce dernier se mélange avec l'air comprimé et ce mélange se brûle grâce à une étincelle, la pompe d'injection assure l'alimentation continue du gasoil dans le conduit 3 de la figure 19, ce qui assure le dégagement continue d'une quantité de chaleur de **860625 J/kg** (pour les 72 brûleurs). Le cas de l'autre fonctionnement c'est-à-dire fonctionnement au gaz naturel, est similaire à celui décrit précédemment, la différence c'est la buse de pulvérisation.

2 Amélioration des performances de la TG par l'injection de la vapeur d'eau.

2.1 Introduction.

Comme l'air ambiante est nécessaire pour le fonctionnement d'une turbine à gaz, donc ses performances sont extrêmement influencées par les facteurs ambiants, parmi ses facteurs la température dont son augmentation a un impact négatif sur les performances des turbines, ces effets sont résumés comme suit :

- ✓ L'augmentation de la température ambiante baisse la masse volumique d'air d'admission, de ce fait une réduction du débit massique traversant la turbine, et cela conduit à une réduction du rendement à la sortie.
- ✓ Le taux de compression, devient plus petit avec l'augmentation de la température.
- ✓ L'effet des températures ambiantes élevées est une augmentation de la quantité de chaleur ce qui implique une réduction de la puissance utile et bien évidemment une diminution du rendement de la turbine.

2.2 Solution proposée. [4][5]

Pour remédier à ce problème, nous proposons comme solution d'injecter une quantité de vapeur d'eau venant de la chaudière de récupération de chaleur dans la chambre de combustion comme montre la figure 22 suivante :

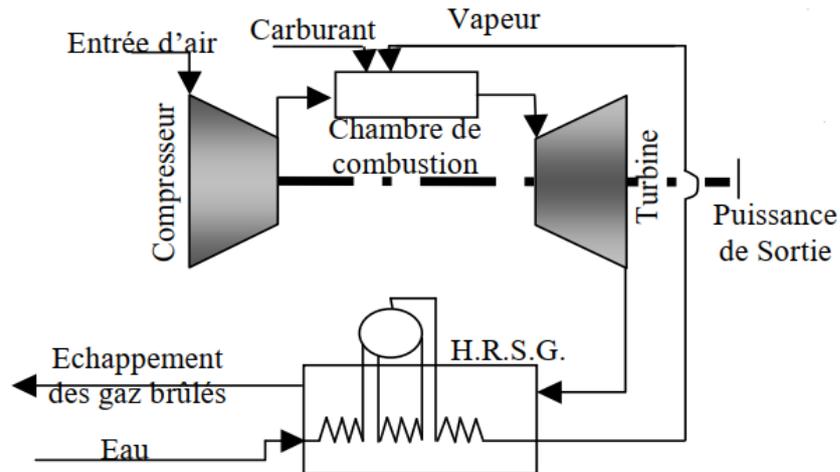


Figure 22 : Schéma représentatif de l'injection de la vapeur d'eau.

Cette solution proposé et basé sur une étude faite par la Faculté des hydrocarbures et de la chimie « Université M'Hameden Bougra Boumerdès » et le centre de la recherche Nucléaire de « Birine CRNB » d'Algérie qui étudiait le rôle de l'injection de la vapeur d'eau sur l'insensibilité d'une turbine à gaz de production d'électricité à la variation de la température.

(Pendant l'hivers : 0°C et pendant l'été : 50°C) et du taux de compression ($1 < \tau < 10$).

2.3 Résultats et interprétations.

2.3.1 Performances de la turbine à gaz sans injection de la vapeur.

Pour un fonctionnement normal d'une turbine à gaz (sans injection), lorsque la température ambiante augmente au-dessus de celle de référence, les performances de la machine diminuent. La diminution devient importante lorsque la température ambiante est maximale (figure 24).

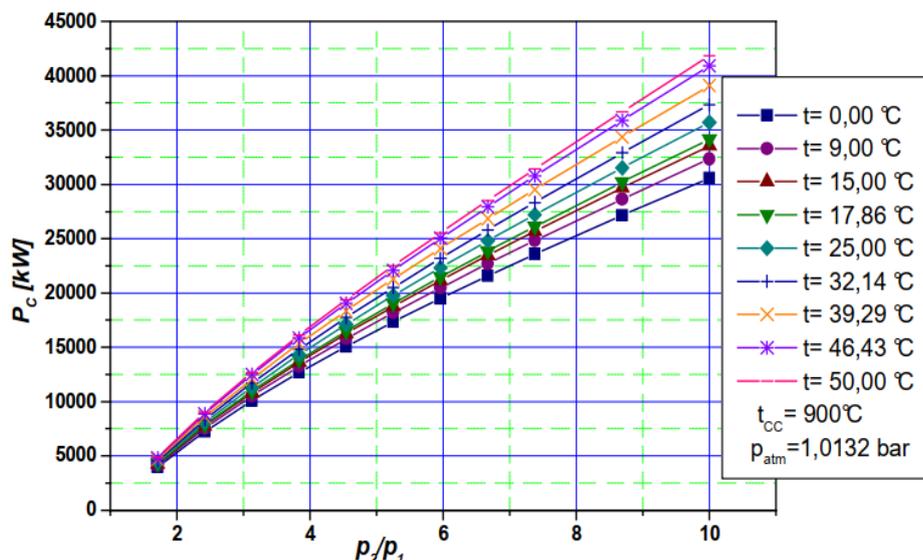


Figure 23 : Puissance absorbée par le compresseur.

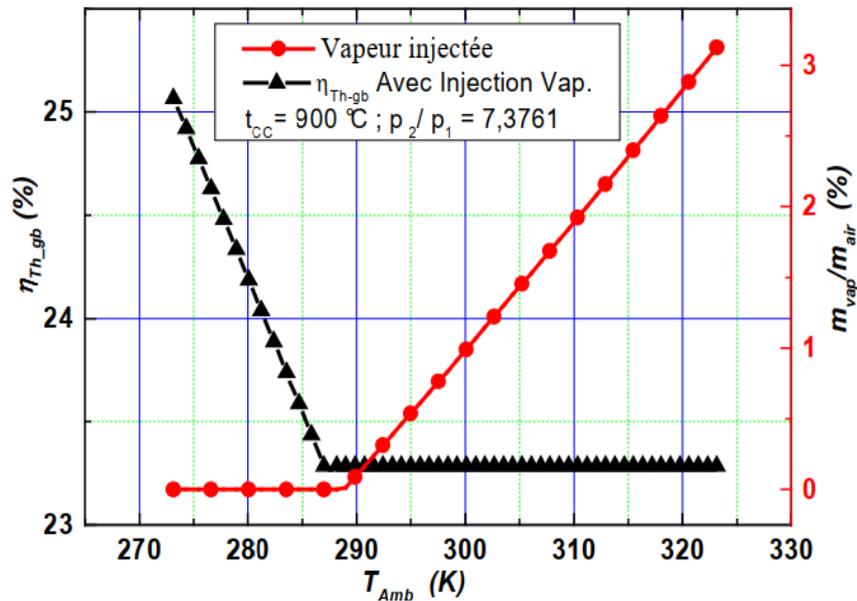


Figure 27 : Rendement et le rapport (vapeur-air) injecté.

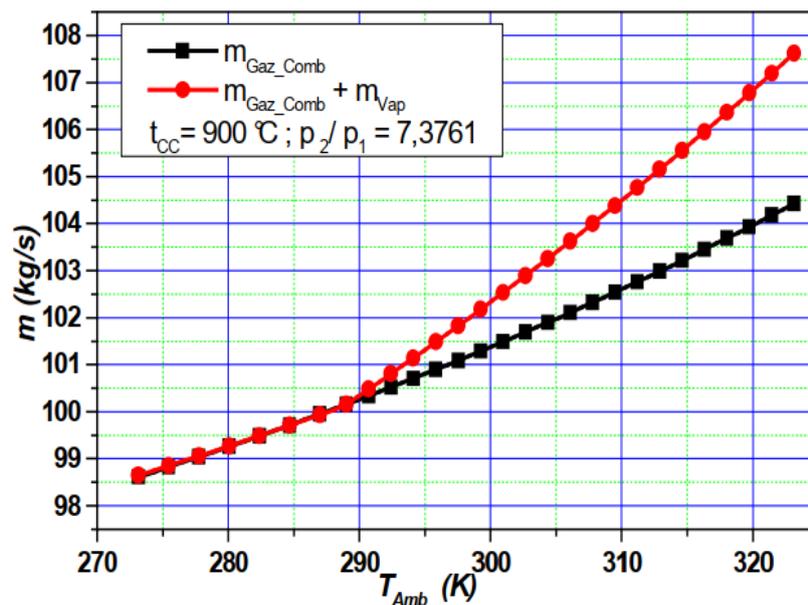


Figure 28 : Débit du fluide moteur.

La figure 27 montre les distributions de la quantité de vapeur injecté et le rendement thermique en fonction de la température ambiante. On constate sr cette figure que, pour $T_{amb} < T_{standard}$ l'évolution du rendement est comme une turbine à gaz fonctionnant sans injection ($vap = 0$).

La figure 28 montre une comparaison entre les fluides moteur dans les deux cas : pour un cycle normal et un cycle injecté par vapeur au cours d'un fonctionnement de la machine.

➤ **Conclusion :** l'injection d'une quantité de vapeur d'eau dans la chambre de combustion proportionnel à l'augmentation de la température ambiante améliore le rendement des TG.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Polycopié du cours « thermodynamique », Pr : HAOUACHE Said.
- [2] : Polycopié du cours « machines thermiques », Pr : HAOUACHE Said.
- [3] : Document technique de la centrale d'ABM.
- [4] : K. Mathioudakis, Evaluation of steam and water injection effects on gasturbine operation using explicit analytical relations, J. Power and Energy, Volume 216 Part A, 2002.
- [5] : International Association for the Properties of Water and Steam, Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, Erlangen, Germany, September 1997.

