

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED- NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Électrotechnique

Option : Énergies renouvelables en électrotechnique

Intitulé :

ÉTUDE D'UNE CENTRALE ÉLECTRIQUE A CYCLE COMBINÉ NAAMA

Présenté par :

- BENBRAHIM BACHIR
- HADDI MUSTAFA
- TALBI HACHEMI

Soutenu le :11/07/2021 devant le Jury :

M. HABCHI YACINE	MCB	Centre Universitaire Naâma	Président
M.KHESSAM MEDJDOUB	MCB	Centre Universitaire Naâma	Encadreur
M. BRAHIMI MOHAMMED	MCB	Centre Universitaire Naâma	Examineur

Résumé

Pour limiter les effets polluants tout en augmentant les performances de la centrale, de nouvelles installations ont été conçues : les centrales à cycle combiné gaz, dites CCGG. Si celles-ci fonctionnent sur le même principe que les centrales à gaz à cycle simple, elles récupèrent cependant la chaleur des gaz brûlés pour créer de la vapeur, qui alimente à son tour un second ensemble turbine/alternateur générant une production électrique additionnelle.

Moins de CO₂

Le rendement d'une telle centrale à cycle combiné est très intéressant puisqu'il peut dépasser les 60 %, contre 35 % pour une turbine à gaz seule. Au passage, la quantité de CO₂ rejetée dans l'atmosphère est réduite dans une proportion qui, elle, peut atteindre 50 % d'émissions polluantes en moins pour la même quantité d'électricité fournie.

ملخص

للمحد من التأثيرات الملوثة مع زيادة أداء المصنع، تم تصميم منشآت جديدة: محطات الغاز ذات الدورة المركبة، والمعروفة باسم CCGGs. إذا كانت هذه تعمل على نفس مبدأ محطات توليد الطاقة الغازية ذات الدورة البسيطة، فإنها مع ذلك تستعيد الحرارة من الغازات المحترقة لتوليد البخار، والذي بدوره يغذي مجموعة التوربينات / المولد الثاني التي تولد إنتاجًا إضافيًا للكهرباء. أقل من ثاني أكسيد الكربون

تعد كفاءة محطة توليد الطاقة ذات الدورة المركبة مثيرة جدًا للاهتمام حيث يمكن أن تتجاوز 60%، مقارنة بـ 35% لتوربينات الغاز وحدها. بالمناسبة، يتم تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في الغلاف الجوي بنسبة يمكن أن تصل إلى 50% أقل من انبعاثات الملوثات لنفس الكمية من الكهرباء التي يتم توفيرها.

Abstract

To limit the polluting effects while increasing the performance of the plant, new installations have been designed: gas combined cycle plants, known as CCGGs. If these operate on the same principle as simple cycle gas power plants, they however recover the heat from the burnt gases to create steam, which in turn feeds a second turbine / alternator assembly generating additional electricity production.

Less co₂

The efficiency of such a combined cycle power plant is very interesting since it can exceed 60%, compared to 35% for a gas turbine alone. By the way, the amount of CO₂ released into the atmosphere is reduced in a proportion which can reach 50% less pollutant emissions for the same amount of electricity supplied.

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,
A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,
A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,
Merci d'être toujours là pour moi.*

Benbrahim Bachir

Je dédie cet humble travail, À mes très chers parents, pour leurs amour et sacrifices, À mes adorables frères, sœur pour leur patience, A ma femme et mes enfants safouane et inaam, À mes proches amis et toute ma grande famille, pour leurs soutient et encouragements, À toutes les personnes qui connaissent hachemi de près ou de loin.

Talbi hachemi

*Ce travail est dédié tout d'abord à mes parents.
A mon frère.
A tous les membres de ma famille.
A mes Amies.
Et à tous les formateurs et les formatrices.*

Haddi Mustafa

REM ERCIÉ

Au terme de cette étude, nous remercions tout d'abord « DIEU » qui nous donné la santé, le courage, la patience et la volonté durant toutes les années de nos études et aidez-nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.

*Nous remercions Très sincèrement **Mr. Dr : KHESSAM MEDJDOUB** notre encadreur de ce Travail, pour ses conseils pertinents, et ses orientations judicieuses, sa patience et diligence, et par ses suggestions qui notre grandement facilité ce travail.*

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury pour avoir accepté

D'évaluer notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui aidez-nous de près ou de loin à la réalisation et à l'aboutissement de ce Travail.

Notations

TAG : turbo-alternateur gaz

TG : turbine à gaz

HRSG : chaudière de récupération

TAV : turbo-alternateur vapeur

TV : turbine à vapeur

CCR : salle de commande centrale

DCS : système de contrôle distribué

API : automate programmable industrielle

OWS : poste de travail operateur

TCS : système de commande turbine

DLN : système de combustion

NOx : oxyde azote

HP : haute pression

BP : basse pression

BOP : auxiliaire centrale

MW : méga watt

CO2 :deuxième oxyde carbone

SO2 : oxyde de soufre

MS-9001FA : type de la turbine

RTD : sonde température à résistance

CCCGs : centrale cycle combinée gaz

NB : notation à binet

E : les entrées

S : les sorties

Tables des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : généralité sur la centrale électrique cycle combinée naama	
I-1 Présentation de la centrale électrique cycle combinée Naama	2
I-2 Concept d'automatisation de la centrale	3
I-3 Démarrage du second ensemble de TAG et HRSG.....	3
I-4 Augmentation de charge.....	5
I-5 Arrêt caractéristique.....	5
I-6 Arrêt de la second HRSG, TAG en mode cycle combinée.....	5
I-7 Conclusion.....	6
Chapitre II : description fonctionnelle de la turbine à gaz	
II-1 Introduction	7
II-2 Socle et supports turbine.....	8
II-3 Section compresseur.....	9
II-4 Dln-2.6+ système de combustion	11
II-5 Section turbine.....	18
II-6 Paliers.....	26
II-7 Conclusion.....	27
Chapitre III : description générales des alternateurs	
III-1 Introduction	30
III-2 Description générales des alternateurs.....	30
III-3 Sonde de température a résistance.....	34
III-4 Traversées haute tension et transformateur de courant	34
III-5 Réfrigérants à gaz	35
III-6 Ventilation du stator	35

III-7 Rotor de l'alternateur	36
III-8 Enroulement du champ et bague de retenue	37
III-9 Collecteur et connexions du collecteur.....	37
III-10 Balais et réglage du porte-balais	38
III-11 Flasques et paliers.....	38
III-12 Conclusion.....	38
 Chapitre IV : simulation d'un groupe turbo-alternateur a gaz	
IV-1 Définition logiciel virtualbox.....	39
IV-2 Etude du système de commande	39
IV-3 Système mark 6 ^e	39
IV-4 Architecture mark 6 ^e	40
IV-5 Résultats de simulation et interprétations.....	41
IV-6 Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures des simulations....	41
IV-7 Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures	
• résultats	
simulations.....	44
 Conclusion générale	48

Liste des figures et tableaux

Chapitre I : généralité sur la centrale électrique cycle combinée naama

Figure I-1. centrale électrique en cycle combinée2

Chapitre II : description fonctionnelle de la turbine à gaz

Figure II- 1. Ensemble du rotor du compresseur9

Figure II- 2. Corps d'admission et palier N 1 du compresseur11

Figure II- 3. Disposition du système de combustion MS9001FA DLN-2,6+.....12

Figure II- 4. Manchon d'écoulement13

Figure II- 5. Injecteur de carburant central DLN-2,6+.....13

Figure II- 6. Injecteur de carburant central DLN-2,6+.....15

Figure II- 7. DLN-2,6+section transversale de l'injecteur de carburant extérieur.....15

Figure II- 8. Disposition de l'injecteur de carburant16

Figure II- 9. Tube de flamme de combustion.....16

Figure II- 10. Ensemble du chapeau17

Figure II- 11. Ensemble du chapeau — Vue en aval17

Figure II- 12. Bougie d'allumage18

Figure II- 13. Détecteur de flammes19

Figure II- 14. Montage du rotor de turbine19

Figure II- 15. Eléments des premier, second et troisième étages de la turbine MS9001FA.....20

Figure II- 16. Coupe de la section de la turbine montrant les flux d'air de refroidissement 21

Figure II- 17. Passages de refroidissement des aubes premier étage de la MS9001FA23

Figure II- 18. Flux de refroidissement des aubes 2ème étage de la MS9001FA.....24

Figure II- 19. Refroidissement de la directrice premier étage MS9001FA.....26

Chapitre III : description générales des alternateurs

<i>Figure III- 1. Turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène type.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure III- 2. : Perforation de stator type.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure III- 3. Structure de l'extrémité de l'enroulement de stator.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure III- 4. Spires terminales types de l'enroulement du stator et connexion pour un alternateur bipolaire refroidi à hydrogène.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III- 5. : Conducteurs de l'induit assemblés en barre (Roebel).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure III- 6. Système de ventilation a flux en cycle ouvert pour un alternateur refroidi a l'hydrogène.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure III- 7. Système de ventilation a flux direct en cycle ouvert pour un alternateur Refroidi à l'hydrogène.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure III- 8. Rotor assemblé type.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure III- 9. Montage d'encoche du rotor.....</i>	<i>37</i>
<i>Chapitre IV : simulation d'un groupe turbo-alternateur a gaz</i>	
<i>Figure IV-1A. schema architecture mark 6^e.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure IV-1B schéma architecture mark 6^e.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure IV-2A. simulation groupe turbo-alternateur a T=18°C.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure IV-2B. resultats simulation a T=18°C.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure IV-3A. Simulation groupe turbo-alternateur a T=23°C.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure IV-3B. resultats simulation a T=23°C.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure IV-4A. simulation groupe turbo-alternateur a T=45°C.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure IV-4B. resultats simulation a T=45°C.....</i>	<i>47</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures des simulations.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures résultats simulations.....</i>	<i>44</i>

Introd uction généra le

Introduction générale :

Le secteur de l'énergie est l'un des plus stratégiques pour l'économie. L'importance de son rôle dans le développement d'un pays est énorme. Pour cela, aucune nation ne saurait y prétendre sérieusement avant de se doter tout d'abord d'une source d'énergie aussi importante que celle de l'électricité. Les centrales quel que soit de type sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.). La centrale électrique de Naama est une centrale thermique à nouveau type c'est le cycle combiné entre turbine à gaz et autre à vapeur qui fait appel aux caractéristiques thermodynamiques de l'eau de puits dans un but de transformation d'énergie. La partie traitement des eaux en présence de la chimie est très importante dans la production d'électricité surtout qu'on parle sur les turbines à vapeur l'eau de puits, de par sa nature, est très corrosive vis-à-vis des matériaux de construction. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, l'utilisation de l'eau de puits nous donne un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations (présence des bouchages et endommagements sur le matériel). L'objectif de ce traitement est de diminuer ou d'éliminer totalement ces particules présentes dans l'eau de puits, l'eau de puits sera traitée de façons très différentes suivant qu'il s'agisse de fournir de l'eau refroidissement. L'eau puits a plusieurs chemins comme la déminéralisation et la reminéralisations afin d'utiliser dans les différents systèmes. L'eau déminéralisée alimente la chaudière de récupération de haute pression et assure le fonctionnement de la turbine à vapeur.

Pour atteindre cet objectif, le présent mémoire est structuré autour de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on s'intéresse sur généralité sur la centrale Naama cycle combinée. Le deuxième chapitre, sera consacré sur la description et fonctionnement de la turbine à gaz. Quant au troisième chapitre, description et fonctionnement de l'alternateur. Finalement le dernier chapitre, s'intéresse à la simulation d'un groupe turbo-alternateur à gaz par logiciel virtualbox.

**Chapit
re I :
Généra
lités
sur la
central
e
électri
que
cycle
combin
ée
Naama**

I-1. Présentation de la centrale électrique cycle combinée Naama :

La Centrale à cycle combiné de Naama est située dans la partie sud-ouest de l'Algérie, à la commune de mecheria à 26 km de la wilaya de Naama .au bord de la route nationale n°22 limitée par une caserne ,au sud par la route nationale n°22, l'Ouest par djebel Antar , l'Est par GRTE (poste de distribution) sur un superficie de 40hectars.la centrale Naama a cycle combinée Multi shuft 209FA est d'une puissance de 1163.444 MW constituée de deux tranches chacune contient deux TAG+TAV et deux chaudière de récupération .

La turbine a gaz est de type de 9FA construite par général Electric tournant à 3000 tr /min avec une puissance de 188.12 MW (condition site) fonctionnant au gaz naturel comme combustible principale et au gasoil comme combustible de secours, avec la possibilité de passage d'un combustible a l'autre en mode automatique.

La turbine à vapeur est de type A10 construite par général Electric tournant a 3000 tr/min avec une puissance de 226.04 MW (condition site).

Les six alternateurs de la centrale de type 324 sont refroidi a l'hydrogène.

La date de mise en service en 2018.



Figure I-1 : Centrale électrique cycle combinée Naama

I-2. Concept d'automatisation de la centrale :

Le contrôle et la surveillance de la centrale électrique principale, des installations secondaires et des systèmes électriques seront effectués à l'aide DCS modernes à base de microprocesseur et les systèmes de contrôle API. Les systèmes de cycle d'alimentation, HRSG, TAG et TAV, et leurs éléments auxiliaires, de chaque unité et des systèmes communs aux deux unités seront contrôlés et surveillés depuis la CCR. Tous les fonctionnements normaux compris le démarrage et l'arrêt à froid et à chaud seront commandés par l'opérateur depuis la CCR. Le contrôle et la surveillance depuis la salle de commande centrale seront de deux catégories : Contrôle et surveillance depuis le DCS de la centrale et Contrôle et surveillance à partir du système de contrôle dédié.

I-2-1 Contrôle et surveillance depuis le DCS de la centrale

Le contrôle et la surveillance des équipements HRSG, système de dérivation de vapeur, systèmes de cycle de vapeur et d'eau, système auxiliaire de vapeur, système d'eau de refroidissement fermé, etc. doivent être possible depuis les postes de travail en bloc respectif. Les fonctionnalités de mise en marche pour les systèmes communs aux deux unités, tels que le système d'alimentation au gasoil, système de gasoil, systèmes électrique de la centrale, pompes de transfert d'eau de déminéralisation, système d'eau potable et de service, etc., sera possible depuis le OWS commun.

I-2-2 Contrôle et surveillance à partir du système de contrôle dédié

Le TAG et le TAV doivent être commandés à partir des systèmes de contrôle du fabricant, désigné dans ce document comme TCS. Le principe de contrôle et critères de redondance de capteur pour le TAG et TAV doivent être régies par les pratiques habituelles du fabricant. Les contrôleurs TAG & TAV seront situés dans le bâtiment de commande local respectif. Le contrôle et la surveillance du TAV doivent s'effectuer depuis la CCR. Les systèmes de protection de turbine à gaz et de turbine à vapeur seront conformes au système de sécurité de GE, et à leur conception originelle basée sur le DCS Mark VIe.

I-3. Démarrage des seconds ensembles de TAG et HRSG :

Le mode cycle combiné peut être réalisé en démarrant la TAG en mode cycle combiné ou en commutant la TAG du mode cycle simple au mode cycle combiné.

En démarrant la TAG en mode cycle combiné, la TAG sera démarré comme indiqué au-dessus. Une fois synchronisé et à la charge réserve tournante, la TAG est mise en mode correspondance de la température. La température d'échappement de turbine à gaz sera contrôlée en ouvrant des aubes de guidage d'admission afin d'éviter la contrainte excessive sur la HRSG et la turbine à vapeur. Pendant le démarrage initial de TAG, le registre de contournement est ouvert afin de permettre l'écoulement maximal de gaz combustible à travers la HRSG, en répondant aux exigences de la purge.

En commutant la TAG du mode cycle simple au mode cycle combiné, le registre de contournement sera mis aux positions intermittentes pendant une certaine période de temps, afin d'éviter la contrainte excessive sur la HRSG [1].

Le démarrage par contrôle de charge de HRSG peut être mis en place de différentes façons comme suit:

I-3-1 Démarrage à froid:

La HRSG est initialement en condition d'arrêt et de froid. La pression dans le ballon HP est inférieure à 30 bars, Réduction de charge de TG (Température de gaz d'échappement de TG 400 °C), Registre de dérivation ouvert avec un débit de 25, 50, 75,100% pendant 10 minutes à chaque pourcentage.

I-3-2 Démarrage en tiède

(La pression du ballon HP est entre 30 bars et 60 bars), Réduction de charge de TG (Température de gaz d'échappement de TG 400 °C), Registre de dérivation ouvert avec un débit de 25, 75,100% pendant 10 minutes à chaque pourcentage

I-3-3 Démarrage à chaud

(La pression du ballon HP est supérieure à 60 bar), Réduction de charge de TG (Température de gaz d'échappement de TG 400 °C), Registre de dérivation ouvert avec un débit de 50,100% pendant 10 minutes à chaque pourcentage

I-3-4 Le démarrage par contrôle de charge

est fait si la vanne de contournement HP est à la position minimum et le vide du condenseur est également complet.

I-3-5 Le démarrage par contrôle de température de HRSG

Pour démarrage en cycle combiné peut être mis en place comme suit :

I-3-6 Démarrage à froid, en tiède et à chaud

Augmentation de charge de TG après la purge complète de TG (La température de gaz d'échappement de TG 400 °C doit être contrôlée).

Les vannes de purge de HRSG seront ouvertes comme requis afin de purger du condensat de la tuyauterie de vapeur de HRSG.

Les événements de démarrage de la HRSG seront en mode automatique, fonctionnant selon la procédure du fournisseur de HRSG et les courbes de démarrage, en limitant la montée en température.

Les vannes de purge/réchauffement sur des points bas de tuyauterie de vapeur des BOP seront ouvertes afin d'enlever tout condensat accumulé pour protéger la turbine contre l'entrée d'eau.

Le tempéreur (désurchauffeur) HP de la phase intermédiaire contrôlera la température à la sortie de la vapeur.

Une fois les conditions de charges de la HRSG prêtes (conditions données par le vendeur de HRSG), la TG peut être placée en mode de charge présélectionné, et se voir attribué un point de consigne de charge supérieur à la limite de Nox bas sec (DLN). Le point de consigne de charge correspondra à la charge de la TG principale. Le TG sera chargée à un taux de charge acceptable.

Second ensemble de points de consigne de pression des d'événements de démarrage de la HRSG devant correspondre au collecteur. Des vannes de dérivation peuvent être requises pour finir la correspondance.

L'opérateur ouvre les vannes d'isolement de la HRSG BP et HP une fois que les pressions et les températures sont acceptables.

I-4. Augmentation de charge :

Si le fonctionnement est en mode cycle simple, lorsque la TG se déclenche, aucune autre action BOP/TAV ne se fera automatiquement. La réduction de la production en MW doit être résolue par l'opérateur [1].

Si le fonctionnement en mode cycle combiné avec une seule TG fournissant de la vapeur au collecteur de TAV, lorsque le TG se déclenche, les vannes de TAV commenceront à se fermer afin de maintenir la pression d'admission. L'opérateur devra déclencher le TAV une fois qu'il sera en dessous des données de sorties MW prédéfinies. Si l'opérateur ne déclenche pas le TAV, il sera automatiquement mis en retour de puissance.

Si le fonctionnement en mode cycle combiné avec de multiples TG fournissant de la vapeur au collecteur de TAV, lorsque le TG se déclenche, les vannes d'isolement HP et de HRSG BP seront forcées à se fermer et les vannes contournement HRSG seront mises en mode régulation de pression, avec un point de consigne qui correspond à la pression de HRSG au moment du déclenchement de TG. Le TAV continuera à fonctionner avec les autres TG fournissant de la vapeur au collecteur de TAV. Lorsque la Seconde TAG se déclenche, toutes les vannes de contournement seront forcées à s'ouvrir à une position prédéterminée sur la base des flux de vapeur de HRSG, et placées en mode de régulation de pression avec un point de consigne qui correspond à la pression du collecteur au moment du déclenchement de TAV. Si une TAG supplémentaire est disponible, elle sera automatiquement démarrée en mode cycle simple pour compenser la perte de puissance.

I-5. Arrêt caractéristique :

Enlever la seconde TAG et la HRSG depuis le collecteur du TAV. La charge de TAG devrait être réduite à un point de consigne minimum de charge DLN. Les vannes de contournement pour le démarrage de HRSG doivent être placées en mode régulation de pression de HRSG, avec un point de consigne légèrement au-dessous de la pression de fonctionnement du collecteur de TAV.

Une fois le contrôle d'évent régulier est établi, les vannes d'isolement HP et HRSG BP doivent être fermées (BP doit être fermé en premier).

I-6. Arrêt de la seconde HRSG, TAG en mode cycle simple :

Une fois les TAG et HRSG secondaires sont isolées du collecteur de TAV et TAG est fixé à un point de consigne de charge DLN minimale, le registre de contournement peut se fermer. Cela forcera le gaz de combustion à passer par la cheminée du contournement, en isolant la HRSG. Après s'être assuré que le registre de contournement est fermé, fermer toutes les

vannes d'évent de démarrage de HRSG en séquence pour emprisonner la pression de chaque ballon dans leur pression respective, le cas échéant.

Arrêter la pompe de recirculation du préchauffeur de condensat, Fermer toutes les vannes motorisées d'isolement d'eau d'alimentation. Fermer les vannes motorisées d'eau de pulvérisation pour le désurchauffeur.

La charge de la TAG peut être augmentée selon le point de consigne de contrôle de charge en mode de cycle simple. Arrêt de la TAG principale, HRSG & TAV. La charge de TG devrait être réduite à une charge minimale DLN et maintenue pendant des minutes déterminées comme défini par le fabricant [1].

La charge de TAG devrait être réduite à une charge minimale et maintenue pendant des minutes déterminées comme défini par le fabricant, La TAG devra être arrêtée via la Commande d'arrêt normale.

Après s'être assuré que la turbine à gaz est arrêtée, fermer toutes les vannes de dérivation BP/HP de façon séquentielle pour emprisonner la pression de chaque ballon dans leur propre pression respective si cela est nécessaire.

Arrêter la pompe de recirculation du préchauffeur de condensat, Fermer toutes les vannes motorisées d'isolement d'eau d'alimentation, Fermer les vannes motorisées d'eau de pulvérisation pour le désurchauffeur.

L'opérateur devra déclencher le TAV une fois que la charge définie passe en dessous la charge minimum définie par le fabricant. Si l'opérateur ne déclenche pas le TAV, il sera automatiquement mis en retour de courant [1].

I-7.Conclusion :

Les cycles combinés permettent de réduire de 50 % les émissions de CO₂, de diviser par trois les oxydes d'azote (NO_x) et de supprimer les rejets d'oxydes de soufre (SO₂) par rapport aux moyens de production thermique à flamme « classiques ». En outre, lorsque la combustion utilise du gaz naturel, cela ne produit ni particules de poussières, ni odeurs malgré leur nom, la plupart des turbines dites "à gaz" peuvent brûler divers combustibles liquides, et c'est la teneur en soufre du combustible utilisé qui provoque la présence d'oxydes de soufre à l'échappement. L'utilisation du gaz naturel comme combustible dans les cycles combinés présente donc des avantages notables en termes de pollution atmosphérique.

**Chapit
re II :
Descri
ption
fonctio
nnel de
la
turbin
e à gaz**

Description fonctionnelle de la turbine à gaz :

II-I. Introduction

La turbine à gaz à arbre unique MS-9001FA est conçue pour fonctionner dans une installation configurée en unité à cycle simple ou cycle combiné à la vapeur et au gaz. La turbine à gaz comporte six principales sections ou groupes :

. Admission d'air, Compresseur, Système de combustion, Turbine, Echappement, Systèmes de support

Cette section décrit brièvement le fonctionnement de la turbine à gaz et la relation existant entre les principaux composants. Des illustrations et des photographies types accompagnent le texte. Le présent manuel décrit également en partie l'encombrement de turbine à gaz. Une section séparée est consacrée aux systèmes d'admission et d'échappement d'air. Les systèmes de support appartenant à l'huile de lubrification, à l'eau de refroidissement, etc. sont également couverts en détail dans des sections individuelles. Il est fait référence à l'avant et à l'arrière et aux côtés droit et gauche de la turbine à gaz et de ses composants. Par définition, l'admission d'air de la turbine à gaz correspond à son côté avant et l'échappement d'air à son côté arrière. Les côtés avant et arrière de chaque composant sont définis de la même manière, selon leur position au sein de l'ensemble de la turbine. Les notions de côtés droit et gauche de la turbine ou d'un composant particulier impliquent de se placer à l'avant de la turbine et de regarder vers l'arrière. La veine gazeuse est le chemin suivi par le flux de gaz depuis l'entrée d'air à travers le compresseur, la chambre de combustion et la turbine jusqu'à l'échappement de la turbine. Lorsque le système de démarrage de la turbine est actionné et que l'embrayage est engagé, l'air Ambiant est tiré de la gaine d'admission d'air, filtré et comprimé dans le compresseur à débit axial et à phases multiples. Les robinets de purge du compresseur sont ouverts au démarrage pour éviter des pulsations et les Aubes directrices à ouvertures variables sont en position fermée. Lorsque le relais de grande vitesse s'active, les robinets de purge commencent à fonctionner automatiquement et l'actionneur des aubes est alimenté pour positionner les aubes directrices pour un fonctionnement normal de la turbine. L'air comprimé par le compresseur passe par l'espace annulaire qui entoure les chambres de combustion, puis dans les espaces entre les corps externes et les tubes de flamme, et entre dans la zone de combustion par les trous calibrés de chaque tube de flamme. Le combustible venant d'une source extérieure arrive par des conduites qui se terminent par des injecteurs primaires et secondaires dans le couvercle d'extrémité des chambres de combustion séparées. Dans le cas des turbines à combustible liquide, le combustible fait l'objet d'un contrôle avant d'être acheminé dans les injecteurs, afin d'assurer un débit uniforme pour chaque vanne de distribution de combustible liquide installée sur chaque couvercle d'extrémité et chaque conduite de combustible liquide sur chaque ensemble d'injecteurs secondaires. Sur les machines à combustible gazeux, les injecteurs de carburant sont les orifices de mesure d'instrument qui fournissent le débit approprié dans les zones de combustion des chambres. Les injecteurs introduisent le carburant dans la zone de combustion de chaque chambre où il est mélangé avec l'air de combustion et allumé par une ou plusieurs bougies [6].

A l'instant où le carburant explose dans une chambre de combustion, la flamme est propagée, par des tubes d'interconnexion, à toutes les autres chambres où elle est détectée par quatre détecteurs de flamme, montés chacun sur un support aménagé sur le corps de la chambre de combustion.

Les gaz chauds venant des chambres de combustion passent dans des pièces de transition séparées fixées à l'arrière des tubes de flammes des chambres et de là dans la section de turbine à trois étages. Chaque étage consiste en un distributeur annulaire et une rangée d'aubes de turbine. Dans chaque distributeur annulaire, l'énergie cinétique du jet est augmentée avec une chute de pression associée qui est absorbée par le travail des aubes du rotor de la turbine et amène une rotation de l'arbre utilisée pour entraîner l'alternateur et produire de l'électricité. Après le passage dans les aubes troisième étage, les gaz sont dirigés dans le diffuseur d'échappement. Les gaz passent ensuite dans la gaine d'échappement et sont introduits dans l'atmosphère à travers la cheminée d'échappement. [6]

II-2. Socle et supports turbine :

A. Socle turbine :

Le socle sur lequel repose la turbine à gaz est une structure en acier de construction avec poutres et plaque de fondation en acier soudé. Ce socle sert principalement de support sur lequel installer la turbine à gaz. Le socle est équipé de tourillons de levage et de supports, à raison de deux installés sur chaque côté du socle et alignés avec les deux traverses de ce dernier. Des amortisseurs usinés sont installés de chaque côté du socle pour en faciliter le montage sur les fondations du site. Deux amortisseurs usinés, situés au sommet du socle, permettent d'installer les supports turbine arrière.

B. Supports turbine :

Le MS9001FA possède des supports aux pieds rigides au niveau de l'extrémité du compresseur et des supports avec pivots au-dessus et en dessous au niveau de l'extrémité de la turbine sur la surface intérieure de chaque béquille est fournie une chemise d'eau au travers de laquelle circule l'eau de refroidissement afin de minimiser la dilatation thermique et de conserver l'alignement entre la turbine et l'équipement de charge. Les pattes supports maintiennent les positions axiale et verticale de la turbine, tandis que deux clavettes à nez couplées aux pattes supports de la turbine maintiennent sa position latérale. L'une des contre-clavettes est usinée sur la moitié inférieure du cadre d'échappement. L'autre contre-clavette est usinée sur la moitié inférieure du corps compresseur avant. Les clavettes s'installent sur les blocs de guidage, soudés aux poutres transversales du socle turbine. Des boulons posés sur chaque côté des clavettes en garantissent la fixation sécurisée sur les blocs de guidage. Cette configuration clavettes et blocs permet d'éliminer tout risque de déplacement latéral ou de mouvement de rotation de la turbine, tout en garantissant des mouvements axiaux et radiaux, conséquents à la dilatation thermique. [6]

II-3-3 Stator :***II-3-3-1 Généralités :***

Le secteur du corps de la section compresseur se compose de trois sections principales : Corps d'entrée, Corps du compresseur, Corps d'échappement du compresseur

Ces corps, en conjonction avec le corps de la turbine, forment la structure primaire de la turbine à gaz. Ils soutiennent le rotor au niveau des points d'appui et constituent la paroi extérieure de l'espace annulaire de la veine gazeuse. Tous ces corps sont divisés horizontalement pour faciliter la maintenance.

II-3-3-2 Carter d'admission :

Le corps d'entrée (voir Figure II- 2) est situé à l'extrémité avant de la turbine à gaz. Sa fonction première est de diriger uniformément l'air dans le compresseur. Le corps d'entrée soutient également l'ensemble du palier N° 1. La partie inférieure du palier N° 1 est intégralement coulée avec l'évasement interne. La partie supérieure du palier est un moulage séparé, bridé et boulonné sur la moitié inférieure. L'évasement intérieur est positionné sur l'évasement extérieur par neuf montants aérodynamiques radiaux. Les montants sont moulés avec les parois de l'évasement. Ils transfèrent également les charges structurales du carter adjacent vers le support avant qui est boulonné et chevillé à ce carter d'entrée. Les aubes directrices à ouvertures variables sont placées à l'extrémité arrière du corps d'entrée et sont positionnées mécaniquement par un anneau de contrôle et un engrenage à pignons relié à un actionneur hydraulique et un bras de tringlerie. La position de ces aubes influe sur le volume du flux d'air d'admission du compresseur.

II-3-3-3 Carter du compresseur :

Le corps avant du compresseur contient les étages 0 à 4 du stator. La moitié inférieure du carter du compresseur est équipée de deux grands tourillons intégralement coulés qui sont utilisés pour lever la turbine à gaz lorsqu'elle est séparée de sa base. La partie arrière du corps du compresseur contient les étages 5 à 12 du stator. Les ouvertures d'extraction dans la partie arrière permettent de retirer l'air au 13ème étage du compresseur. Cet air est utilisé pour le refroidissement et aussi pour le contrôle des pulsations pendant le démarrage et l'arrêt.

II-3-3-4 Carter de décharge du compresseur :

Le corps d'échappement du compresseur est la partie finale de cette section. C'est l'élément le plus long ; situé au milieu entre les supports avant et arrière, il est en fait la clef de voûte de la structure de la turbine. Le corps d'échappement du compresseur contient les derniers étages du compresseur, forme les parois internes et externes du diffuseur et lie les corps du compresseur et de la turbine. Il fournit aussi un support pour les corps extérieurs de la combustion et le support intérieur pour la directrice premier étage de la turbine. [6]

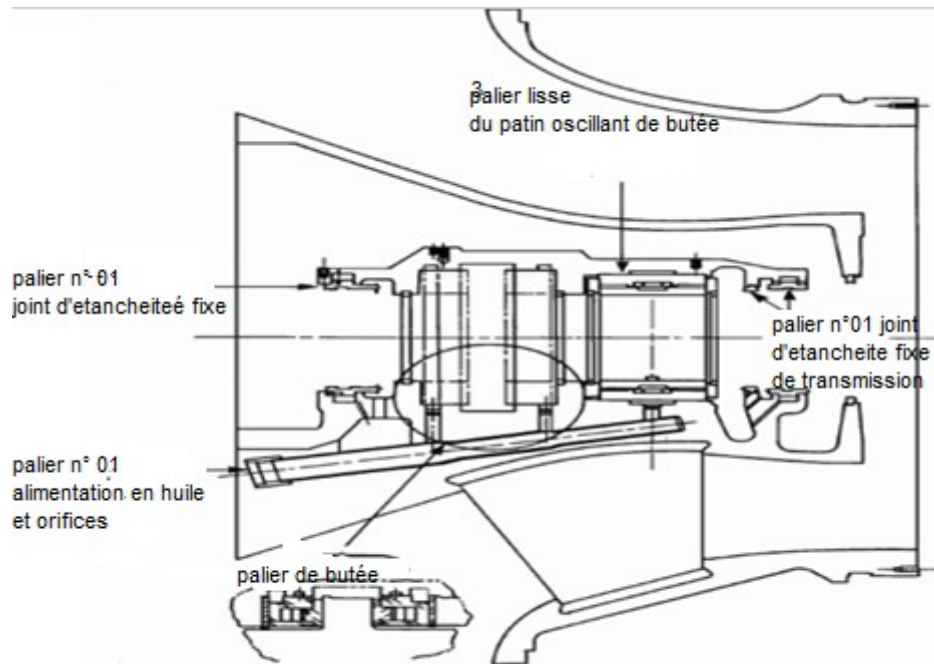


Figure II- 2 : Corps d'admission et palier N 1 du compresseur

Le corps d'échappement du compresseur se compose de deux cylindres, le premier étant une continuation du corps du compresseur et le second étant un cylindre interne qui entoure le rotor du compresseur. Les deux cylindres sont positionnés concentriquement par quatorze nervures radiales. Un diffuseur est formé par un anneau conique entre les cylindres intérieur et extérieur du corps d'échappement. Le diffuseur convertit une certaine vitesse de sortie du compresseur en pression statique ajoutée pour l'alimentation en air de la combustion.

II-3-3-5 Aube :

Les pales du rotor du compresseur et du stator ont une forme aérodynamique et sont conçues pour comprimer avec efficacité l'air aux vitesses de pointe de pale élevées. Les pales sont fixées aux roues du compresseur par des assemblages en queue d'aronde. La queue d'aronde est très précise en taille et position pour maintenir chaque pale dans la position voulue sur la roue. Les pales du stator du compresseur sont aérodynamiques et montées par les mêmes queues d'aronde sur des segments de cercles pour les cinq premiers étages. Les segments annulaires sont insérés dans des rainures circonférentielles dans le corps et sont maintenus en place par des clavettes de verrouillage. Les pales du stator des autres étages ont une base carrée en queue d'aronde et sont insérées directement dans des gorges à la circonférence du corps. Des clavettes de verrouillage les maintiennent en place. [6]

II-4. DIn-2,6+ système de combustion :

II-4-1 Généralité :

Le système de combustion est de type flux inversé avec 18 chambres de combustion installées autour de la périphérie du corps d'échappement compresseur (. Figure II- 3). Les chambres de

combustion sont numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre lorsqu'observées en aval et en partant de la partie supérieure gauche de la turbine. Ce système prévoit également des injecteurs de combustible, un système d'allumage par bougies, des détecteurs de flamme et des tubes d'interconnexion. Les gaz chauds, dégagés du combustible enflammé au sein des chambres de combustion, circulent en direction de la turbine à travers les pièces de transition refroidies par contact. L'air à haute pression de l'échappement du compresseur est dirigé autour des pièces de transition. Une partie de cet air pénètre dans les orifices du canalisateur de refroidissement par contact afin de refroidir les pièces de transition, puis circule dans le canalisateur d'air. Le reste entre dans l'espace annulaire entre le manchon d'écoulement et le tube de flamme de combustion par les trous dans l'extrémité en aval du manchon d'écoulement. (. Figures II- 4 et II- 5). Cet air pénètre ensuite dans la zone de combustion à travers l'ensemble chapeau pour assurer une combustion efficace. Le combustible est acheminé dans chaque chambre de combustion en passant cinq injecteurs conçus pour disperser et mélanger le combustible avec le volume d'air de combustion approprié.

Le DLN-2,6+ le système de combustion de la figure II- 4 forme un unique étage, chambre de combustion double capable de fonctionner au gaz et au combustible liquide. Avec du gaz, la chambre de combustion fonctionne en mode diffusion, avec des charges faibles (charge < 50 %) et en mode pré-mélange avec des charges élevées (charge > 50 %). Bien que la chambre de combustion soit capable de fonctionner en mode diffusion sur l'intégralité de la plage de charge, l'injection de diluant reste nécessaire pour l'atténuation NOx. Le fonctionnement de l'huile sur cette chambre de combustion est en mode diffusion sur toute la plage de charge, avec une injection de diluant utilisée pour le NOx [6].

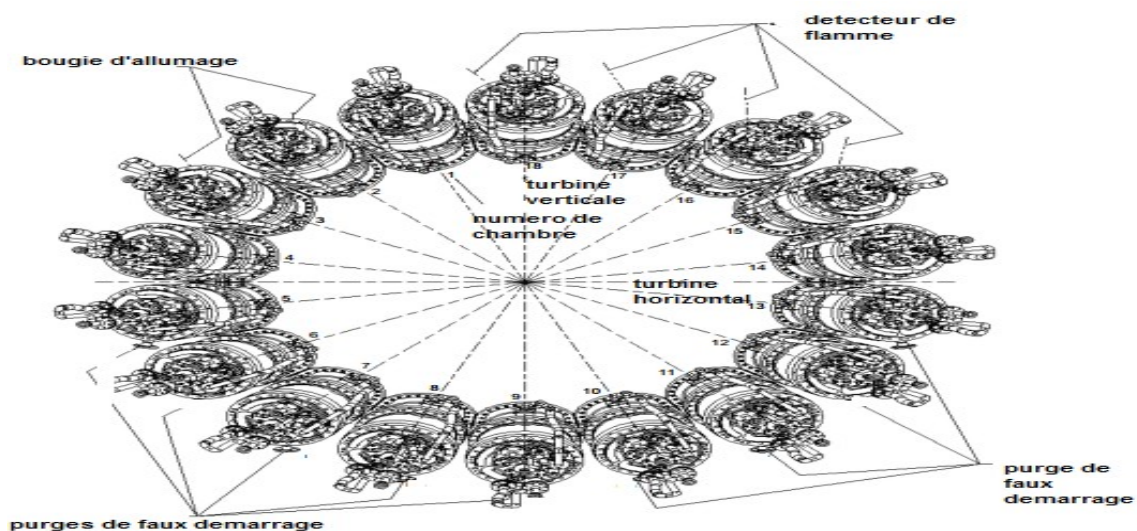


Figure II- 3 : Disposition du système de combustion MS9001FA DLN-2.6+

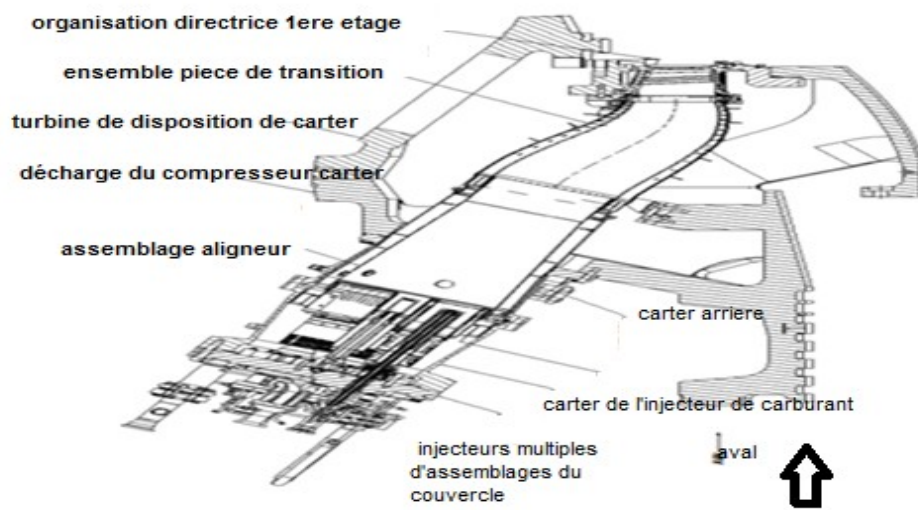


Figure II- 4 : Manchon d'écoulement

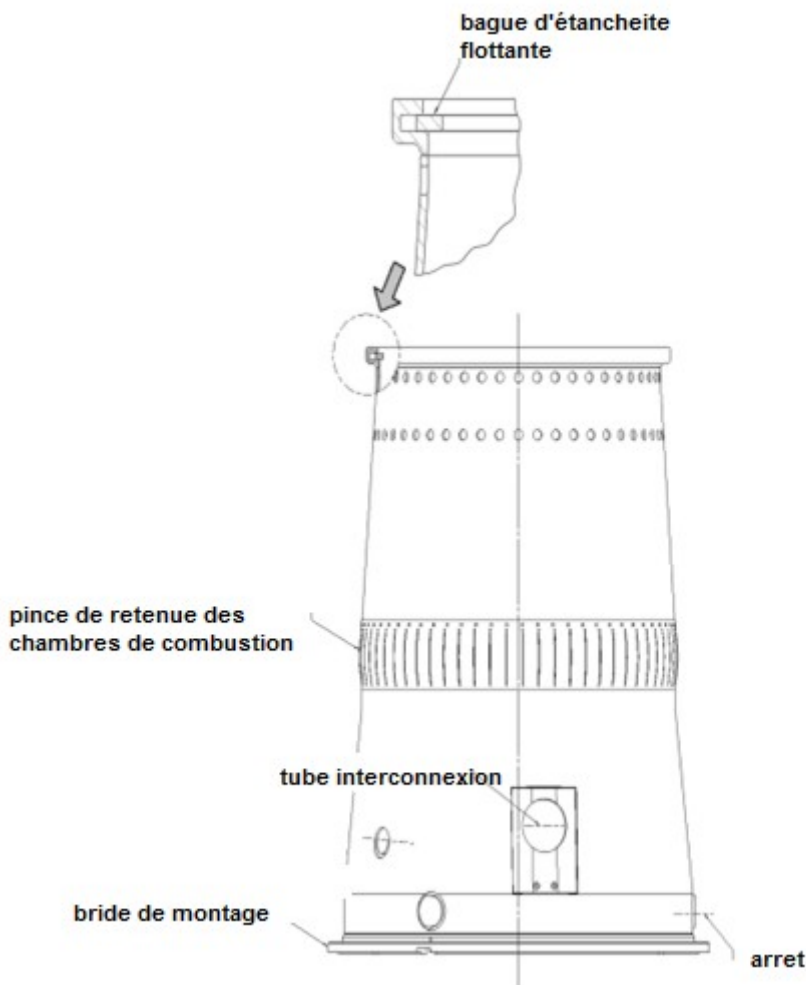


Figure II- 5 : Injecteur de carburant central DLN-2,6+

II-4-2 Chambres de combustion externes et enveloppes intermédiaires des chambres de combustion :

Les chambres de combustion externes agissent comme des coques de pression pour les brûleurs. Elles servent aussi à la fixation des couvercles d'injecteurs, des tubes d'interconnexion et, en cas de besoin, des bougies d'allumage, des détecteurs de flamme et des purges de faux départ. Les enveloppes intermédiaires (Figure II- 5) forment un espace annulaire autour du chapeau et des ensembles de tube de flammes qui dirige la combustion et l'air de refroidissement dans la zone de réaction. Les ouvertures des tubes d'interconnexion, des bougies d'allumage et des détecteurs de flamme sont scellées par des guides coulissants pour conserver la chute de pression des enveloppes intermédiaires de contact.

II-4-3 Tubes d'interconnexion :

Toutes les chambres de combustion sont interconnectées à l'aide des tubes d'interconnexion. Les chambres externes sont connectées à l'aide d'un tube d'interconnexion externe et les zones principales du tube de flamme de combustion sont connectées à l'aide de tubes d'interconnexion internes.

II-4-4 Couvercles d'extrémité d'injecteurs de combustible :

Cinq ensembles d'injecteurs de carburant extérieurs (Figure II- 7) entourent un ensemble d'injecteur de carburant central (Figure II- 6) dans chaque chambre de combustion. Les injecteurs de carburant extérieurs sont équipés de passages pour le gaz de diffusion et le gaz pré-mélangé alors que l'injecteur de carburant central n'utilise que le gaz pré-mélangé. Pour le fonctionnement avec du carburant liquide, une cartouche offre des passages supplémentaires pour l'huile, l'air d'atomisation et l'eau pour les injecteurs de carburant extérieurs. Lorsque les injecteurs de carburant sont montés sur le couvercle d'extrémité (Figure II- 8), les passages de diffusion des injecteurs de carburant extérieurs sont alimentés à partir d'un collecteur commun. Le gaz pré-mélangé pour ces injecteurs extérieurs provient de deux circuits indépendants et est conduit vers les injecteurs de carburant via un collecteur interne. Le gaz pré-mélangé pour les injecteurs centraux provient d'un autre circuit indépendant.

II-4-5 Ensembles chapeau et tube de flammes :

Les tubes de flamme de combustion (Figure II- 9) utilisent des crêtes externes et des encoches de refroidissement classiques pour le refroidissement. Les surfaces intérieures du chapeau ont un revêtement de protection thermique pour réduire les températures du métal et les gradients thermiques. Le couvercle (Figures II- 10, II- 11) comporte six tubes de pré-mélange s'insérant dans chacun des six injecteurs de combustible. Son système de refroidissement associe un système par contact et par film (Figures II- 10, II- 11).

II-4-6 Bougies :

La combustion est déclenchée par l'arc de bougies d'allumage, qui sont vissées sur les brides des chemises de combustion et centrées entre le tube de flamme et l'enveloppe intermédiaire des chambres de combustion adjacentes. La figure II- 12 illustré un agencement type de

bougies d'allumage. L'alimentation des bougies est assurée par des systèmes d'alimentation à décharge de condensateur haute puissance. Au moment de l'allumage, l'étincelle d'une ou de plusieurs de ces bougies allume les gaz dans une chambre ; les autres chambres sont allumées par les tubes qui relient leur zone de réaction. [6]

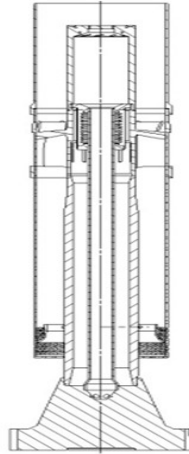


Figure II- 6 : Injecteur de carburant central DLN-2,6+

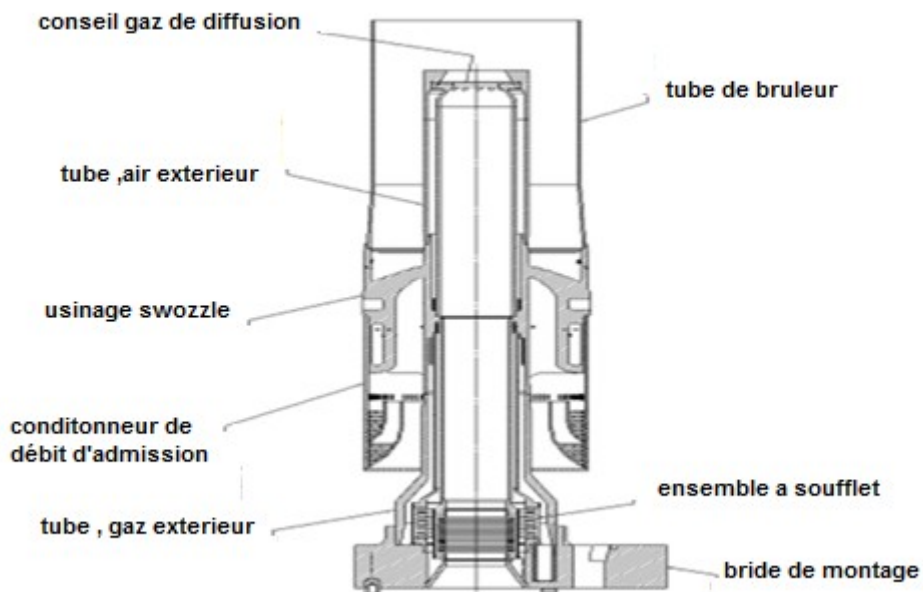


Figure II- 7 : DLN-2,6+section transversale de l'injecteur de carburant extérieur

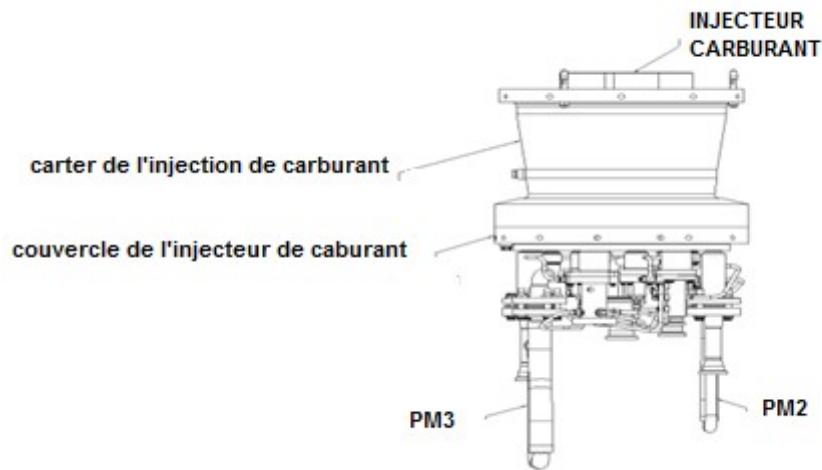


Figure II- 8 : Disposition de l'injecteur de carburant

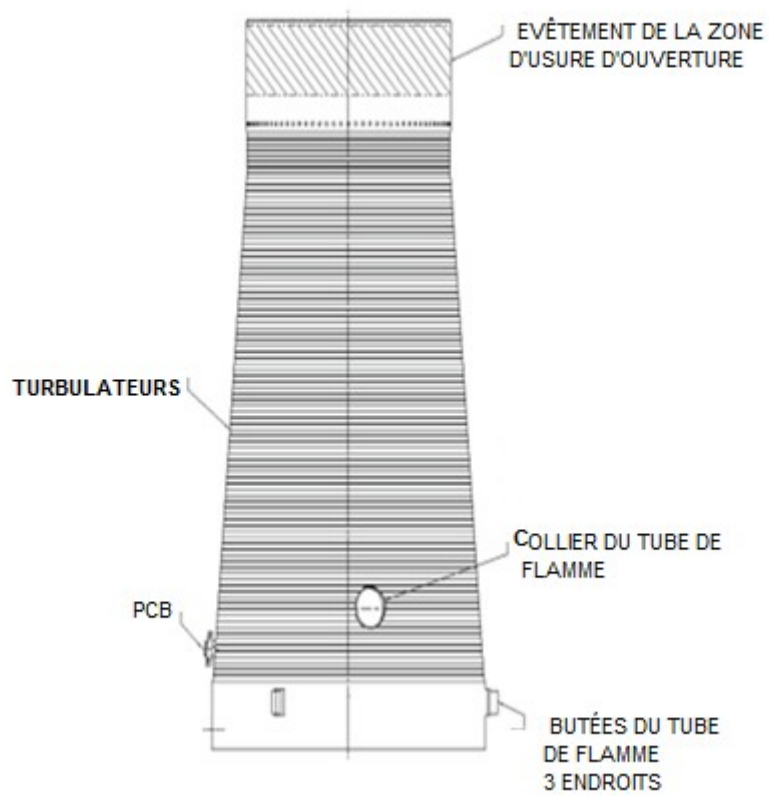


Figure II- 9 : Tube de flamme de combustion

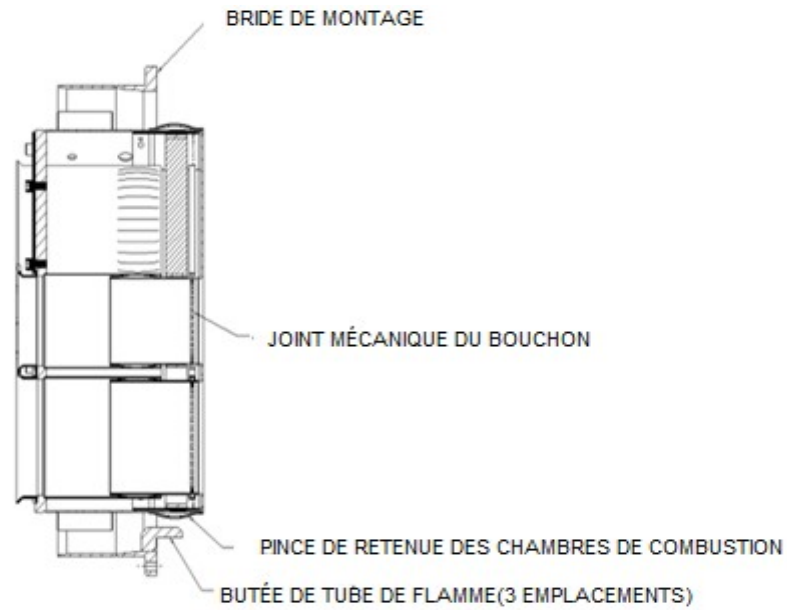


Figure II- 10 : Ensemble du chapeau

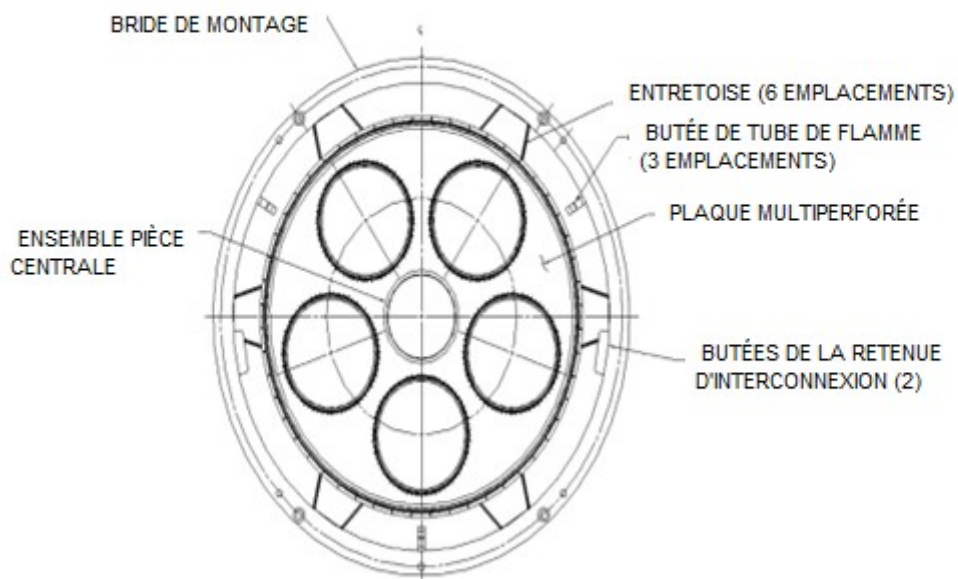


Figure II- 11 : Ensemble du chapeau — Vue en aval

II-4-7 Détecteurs de flamme aux ultraviolets :

Pendant la séquence de démarrage, il est essentiel qu'une indication de la présence ou de l'absence de flamme soit transmise au système de commande. Pour cette raison, un système de

surveillance de la flamme est utilisé et consiste en détecteurs placés (Figure II- 13) comme indiqué sur la figure II- 3. Le détecteur de flamme aux ultraviolets contient un détecteur rempli de gaz. Le gaz de ce détecteur est sensible à la présence de radiations ultraviolettes émises par une flamme d'hydrocarbure. Une tension continue, fournie par un amplificateur, traverse les bornes du détecteur. Si une flamme est présente l'ionisation du gaz dans le détecteur permet la conduction dans le circuit, ce qui active l'électronique et donne un signal indiquant une flamme. De même, l'absence de flamme va générer un signal indiquant qu'il n'y a pas de flamme. Les signaux venant des quatre détecteurs de flamme sont envoyés au système de contrôle, qui utilise une logique interne pour déterminer si la condition de flamme ou d'absence de flamme existe.

II-5. Section turbine :

II-5-1 Généralité :

La section de turbine à trois étages est le secteur dans lequel l'énergie contenue dans le gaz pressurisé à haute température, produit par les sections compresseur et combustion est convertie en énergie mécanique. La turbine à gaz MS9001FA comprend le rotor de turbine, le corps, le caisson d'échappement, le diffuseur d'échappement, les injecteurs et des bandages.

II-5-2 Rotor de turbine :

II-5-2-1 Structure :

L'ensemble de rotor de turbine, présenté en Figure II- 14, comprend les arbres avant et arrière des roues de la turbine, les ensembles des trois premiers étages avec les entretoises et les aubes. Le contrôle de concentricité est obtenu avec des feuillures qui correspondent sur les pièces d'écartement, les roues de turbine, les arbres des roues et les entretoises. Les roues sont assemblées par des boulons vissés sur des brides boulonnables sur les arbres et les entretoises de roues. Un positionnement sélectif des éléments du rotor est réalisé pour réduire les corrections d'équilibrage.

II-5-2-2 Arbres de roues :

La pièce d'écartement du rotor de turbine va de la roue de turbine première étage jusqu'à la bride arrière de l'ensemble rotor du compresseur. L'arbre arrière du rotor de la turbine inclut le palier lisse No. 2. [6]

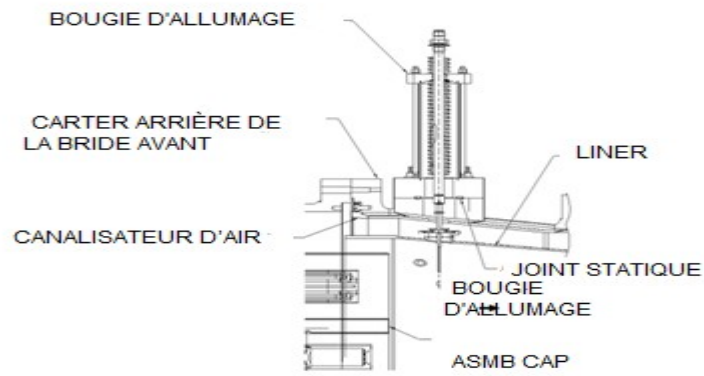


Figure II- 12 : Bougie d'allumage

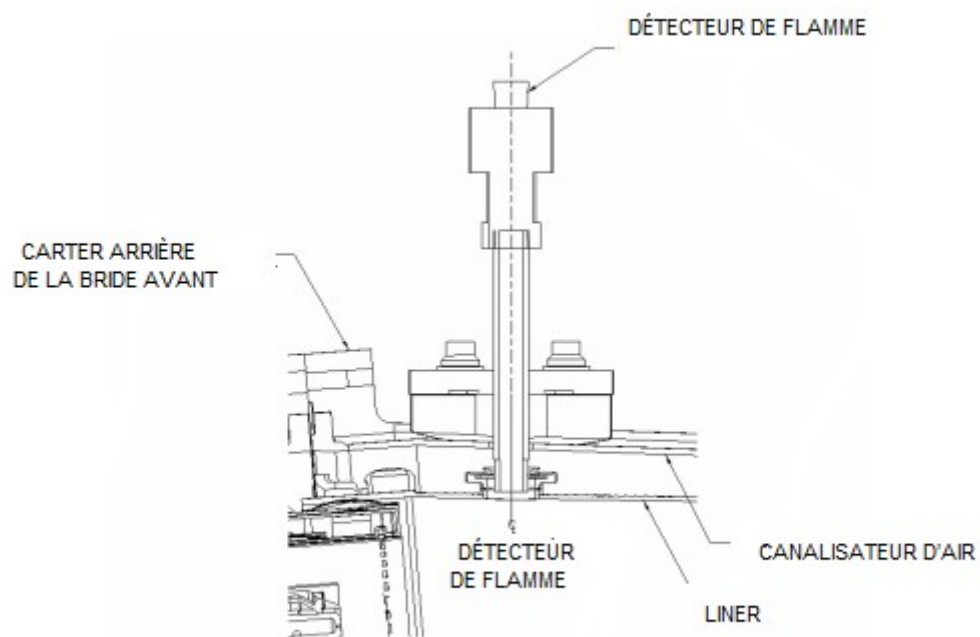


Figure II- 13 : Détecteur de flammes

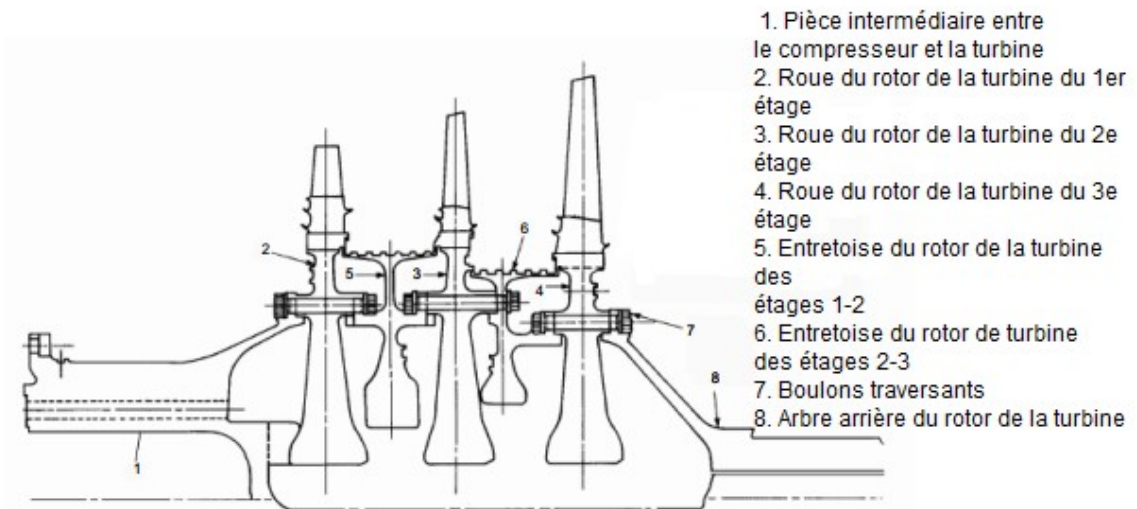


Figure II- 14 : Montage du rotor de turbine

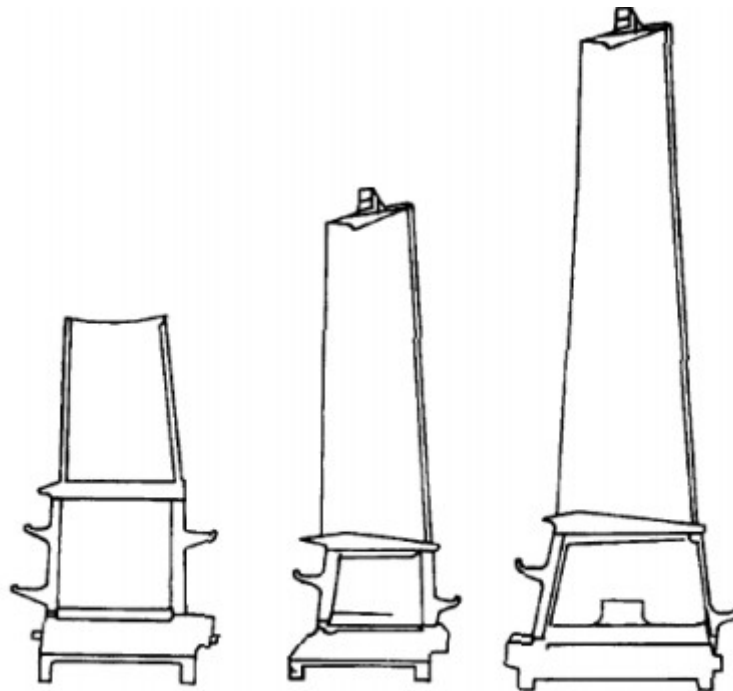


Figure II- 15 : Eléments des premier, second et troisième étages de la turbine MS9001FA

II-5-2-3 Montage des roues :

Les entretoises entre les roues de turbine premier et second étages et entre les roues de turbine second et troisième étages déterminent la position axiale des roues individuelles. Ces entretoises supportent les portées d'étanchéité du diaphragme. Les faces avant et arrière de

l'entretoise 1-2 comprennent des fentes radiales pour les passages d'air de refroidissement. Les aubes de turbine sont assemblées sur les roues avec des queues d'aronde en forme de sapin qui correspondent à des encoches sur la périphérie des roues de la turbine. Les trois étages de la turbine ont des aubes à pied long moulés avec précision à la cire perdue. La conception des aubes à pieds longs protège efficacement la jante des roues et la fixation de l'emplanture des aubes des hautes températures de la veine gazeuse tout en fournissant un amortissement mécanique des vibrations. Pour augmenter l'amortissement des vibrations, les aubes des deuxième et troisième étages ont des bandages emboîtés à leur extrémité. Ces bandages augmentent aussi le rendement de la turbine en réduisant les fuites à l'extrémité. Des dents radiales sur les bandages des aubes se combinent avec des surfaces crantées sur le stator pour réaliser un joint en labyrinthe contre les fuites de gaz des extrémités des aubes.

La figure II-15 montre les aubes typiques des premier, deuxième et troisième étages de la MS9001FA. L'augmentation de taille des aubes entre le premier et le troisième étage est rendue nécessaire par la baisse de pression qui résulte de la conversion de l'énergie entre chaque étage, ce qui entraîne une augmentation de l'espace annulaire pour accommoder le débit de gaz [6].

II-5-2-4 Refroidissement :

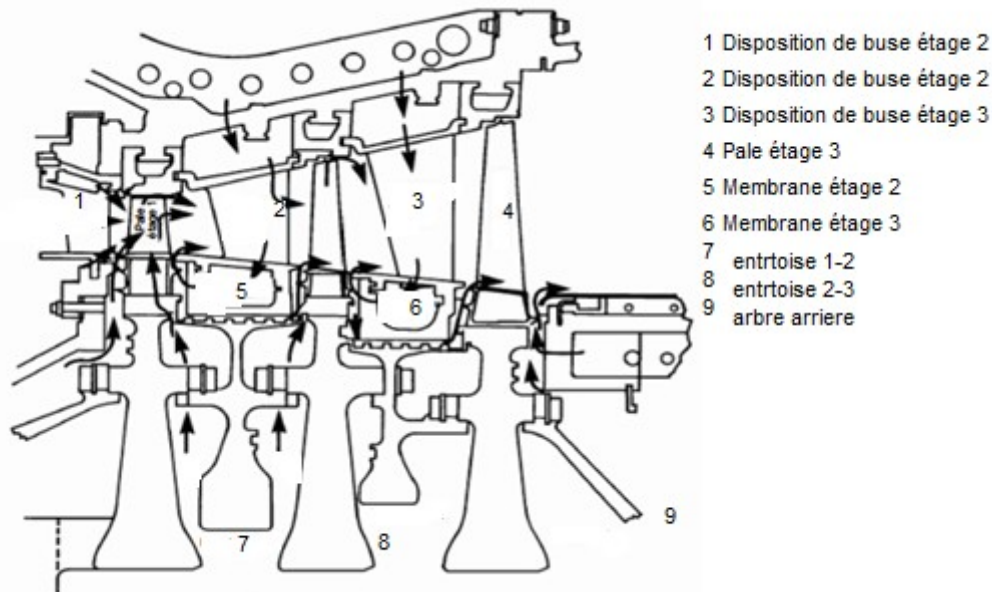
Le rotor de turbine est refroidi pour maintenir des températures de fonctionnement raisonnables et donc pour assurer une longue durée de vie à la turbine. Le refroidissement est effectué par un flux positif d'air froid prélevé sur le compresseur et déchargé radialement vers l'extérieur par un espace entre la roue de la turbine et le stator, dans le flux principal de gaz. Cette zone est appelée espace inter roues. La figure II- 16 représente les flux d'air de refroidissement de la turbine.

II-5-2-5 Espaces inter roues premier étage :

L'espace inter roues premier étage est refroidi par l'air de décharge du compresseur. Un joint à labyrinthe est installé à l'arrière du rotor du compresseur entre le rotor et le corps intérieur de l'échappement du compresseur. Le flux d'air à l'avant de l'espace inter roues premier étage provient de ce labyrinthe. Ce flux d'air de refroidissement se décharge dans le flux principal de gaz après la directrice premier étage. L'espace inter roues après le premier étage est refroidi par l'air extrait au 13ème étage injecté par la directrice du 2ème étage. Cet air revient dans la veine gazeuse en amont de la directrice 2ème étage.

II-5-2-6 Espace inter roues second étage :

L'espace inter roues du deuxième étage est refroidi par les fuites venant de l'espace inter roues arrière premier étage à travers le labyrinthe. Cet air revient dans la veine gazeuse au niveau des aubes du deuxième étage. L'espace inter roues arrière du deuxième étage est refroidi par l'air extrait au 13ème étage injecté par la directrice 3ème étage. L'air de cet espace inter roues revient dans la veine gazeuse au niveau de la directrice troisième étage [6].



F

figure II- 16 : Coupe de la section de la turbine montrant les flux d'air de refroidissement

II-5-2-6 Espace inter roues troisième étage :

L'espace inter roues troisième étage avant est refroidi par les fuites venant de l'espace inter roues arrière deuxième étage à travers le labyrinthe inter-étage. Cet air revient dans la veine gazeuse au niveau des aubes troisième étage. L'espace inter roues arrière troisième étage obtient son air de refroidissement de la décharge de l'air de l'espace annulaire d'air de refroidissement du cadre d'échappement. Cet air passe dans l'espace inter roues arrière troisième étage et entre dans la veine gazeuse à l'entrée du diffuseur d'échappement.

II-5-2-7 Aubes :

L'air est introduit dans chaque aube premier étage par un caisson à la base de la queue d'aronde de l'aube (figure II- 16). Il passe dans des trous de refroidissement en forme de serpent sur toute la longueur de l'aube et sort par le bord de fuite et l'extrémité de l'aube. Les trous sont espacés et dimensionnés pour obtenir un refroidissement optimal de la surface aérodynamique avec une extraction minimale d'air du compresseur. La figure II- 17 représente la conception des aubes premier étage de la MS9001FA.

A la différence des aubes premières étage, celles du second étage sont refroidies par des passages d'air parallèles sur toute la longueur du profil aérodynamique. L'air est introduit comme au premier étage par un caisson à la base de la queue d'aronde de l'aube. De nouveau le refroidissement du profil aérodynamique est accompli avec une pénalisation minimale du cycle thermodynamique. Voir Figure II- 18.

L'intérieur des aubes du troisième étage n'est pas refroidi à l'air. Les extrémités de ces aubes, comme pour les aubes du deuxième étage, sont entourées d'un segment de protection intégré au joint d'extrémité. Ces bandages sont solidaires d'aube en aube pour amortir les vibrations.

II-5-3 Stator de turbine :**II-5-3-1 Structure :**

Le corps de turbine et le cadre d'échappement constituent la partie principale de la structure du stator de la turbine à gaz MS 9001FA. Les directrices de turbine, les bandages et le diffuseur d'échappement sont soutenus en interne à partir de ces composants.

II-5-3-2 Corps de turbine :

Le corps de turbine contrôle les positions axiale et radiale des bandages et des directrices. Il détermine les jeux de la turbine et les positions relatives des directrices et des aubes de turbine. Ce positionnement est critique pour les performances de la turbine à gaz. Les gaz chauds contenus dans le corps sont une source de chaleur dans le corps. Pour contrôler le diamètre du corps, il est important de réduire le flux de chaleur dans le compartiment et de limiter sa température. Les limitations du flux de chaleur comprennent l'isolation, le refroidissement et des structures multicouches. L'air extrait au 13ème étage est conduit dans les espaces annulaires du corps de la turbine autour des directrices des 2ème et 3ème étages. De là, l'air est injecté à travers les partitions des directrices dans les espaces inter roues. Structuellement, la bride avant du corps de turbine est boulonnée à la bride de cloison à l'arrière du corps d'échappement du compresseur. La bride à l'arrière du corps de turbine est boulonnée à la bride avant du cadre d'échappement [6].

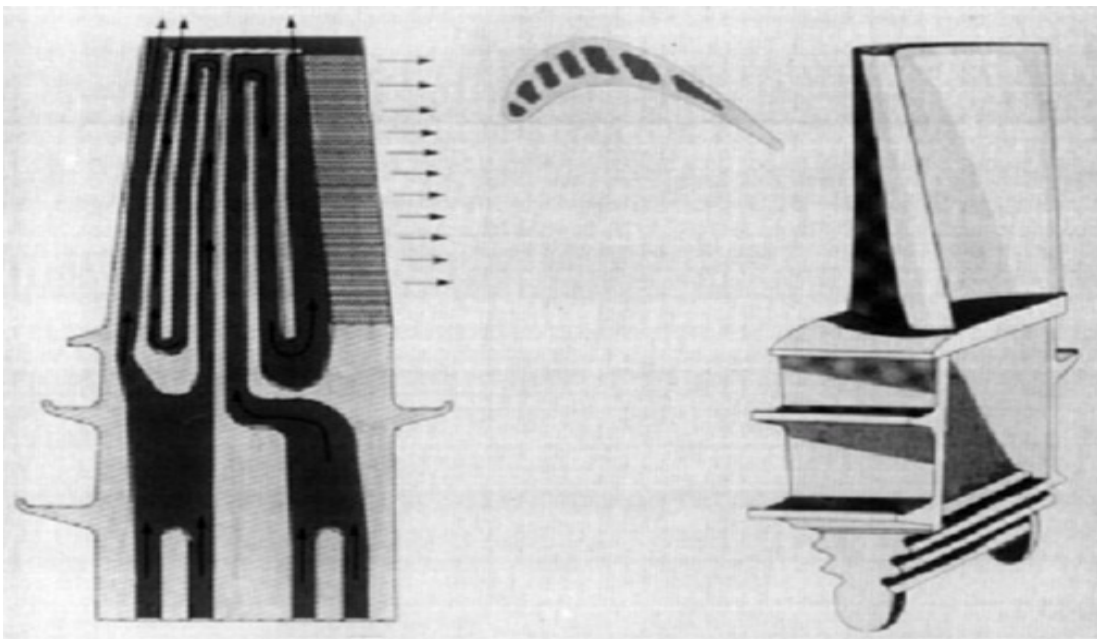


Figure II- 17 : Passages de refroidissement des aubes premier étage de la MS9001FA

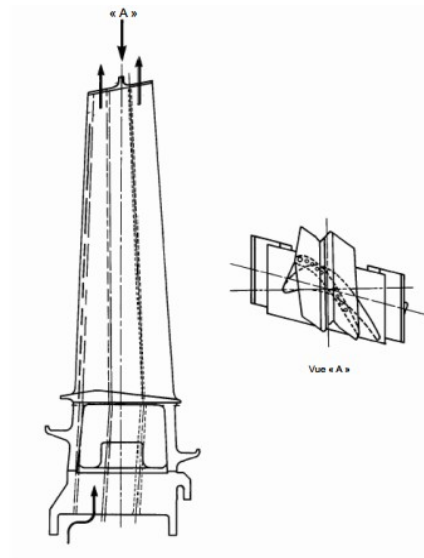


Figure II- 18 : Flux de refroidissement des aubes 2ème étage de la MS9001FA

II-5-3-3 Directrices :

La section turbine comprend trois étages de directrices fixes (Figure II- 16) qui dirigent le flux à grande vitesse des gaz de combustion en expansion vers les aubes de la turbine et amènent la rotation du rotor. En raison de l'importante chute de pression survenant sur les directrices, les diamètres internes et externes utilisent des joints afin d'empêcher toute perte d'énergie du système en cas de fuite. Puisque ces directrices fonctionnent dans la veine des gaz de combustion chauds, elles sont soumises à des efforts thermiques en plus des charges de pression.

II-5-3-4 Directrice premier étage :

La directrice premier étage reçoit les gaz de combustion chauds venant du système de combustion par les pièces de transition. Les pièces de transition sont scellées dans les parois interne et externe côté entrée de la directrice ; cela réduit les fuites de l'air de l'échappement du compresseur à travers les directrices. La directrice première étage de la turbine à gaz Modèle 9001FA (Figure II- 19) comporte des cavités dans l'aube en avant et en arrière et est refroidie par une combinaison de techniques de refroidissement par film fluide, par conduction et par convection à la fois dans l'aube et sur les parois. Les segments de la directrice, munis chacun de deux partitions ou profils aérodynamiques, sont contenus dans un anneau de maintien coupé horizontalement qui est soutenu et centré dans le corps de turbine par des cosses sur les côtés et guidé par des broches en haut et en bas de l'axe vertical. Cela permet une dilatation radiale de l'anneau de maintien résultant des changements de température, l'anneau restant centré dans le corps.

Le diamètre extérieur arrière de l'anneau de maintien est appliqué contre la face avant du bandage du premier étage de turbine et agit comme un joint d'air pour prévenir les fuites de l'échappement du compresseur entre la directrice et le corps de turbine.

La directrice est scellée sur la paroi interne par une bride coulée sur le diamètre intérieur de la paroi qui repose sur une surface de contact sur l'anneau de support de la directrice premier étage. La rotation circonférentielle de la paroi latérale interne du segment est empêchée par une bague excentrique et un goujon de positionnement qui engage un anneau dans la paroi latérale interne. La directrice est empêchée de se déplacer vers l'avant par des cosses soudées sur le diamètre extérieur arrière de l'anneau de maintien à 45 degrés des axes verticaux et horizontaux. Ces cosses s'engagent dans une rainure usinée dans le corps de la turbine à l'avant du crochet en T du bandage premier étage. En déplaçant le bloc de support horizontal et la goupille de guidage axial inférieure puis en retirant les protubérances de positionnement de la paroi intérieure, la moitié inférieure de la directrice peut être sortie en la roulant en laissant le rotor de turbine en place [6].

II-5-3-5 Directrice second étage :

L'air de combustion sortant des aubes premier étage est de nouveau détendu et redirigé vers les aubes deuxième étage par la directrice deuxième étage. Cette directrice est réalisée en segments coulés, chacun ayant deux partitions ou surfaces aérodynamiques. Les crochets mâle à l'entrée et à la sortie de la paroi extérieure correspondent aux rainures femelle à l'arrière des bandages premier étage et à l'avant des bandages deuxième étage pour maintenir la directrice concentrique avec le corps de turbine et le rotor. Cet emboîtement double serré entre la directrice et les bandages agit comme un joint à air sur le diamètre extérieur. Les segments de directrice sont maintenus en position circonférentielle par des goupilles radiales à partir du corps dans des fentes axiales dans la paroi extérieure de la directrice. La directrice second étage est refroidie avec l'air extrait au 13ème étage [6].



Figure II- 19 : Refroidissement de la directrice premier étage MS9001FA

II-5-3-6 Directrice troisième étage :

La directrice troisième étage reçoit le gaz chaud qui sort des aubes du second étage, augmente sa vitesse en diminuant la pression et dirige ce flux vers les aubes du troisième étage. La

directrice est réalisée en segments coulés, chacun ayant trois partitions ou surfaces aérodynamiques. Elle est fixée à l'avant et à l'arrière de la paroi extérieure de la même façon que la directrice du deuxième étage par des gorges dans les bandages de la turbine. La directrice troisième est positionnée circonférentiellement par des goupilles radiales à partir du corps. L'air extrait au 13ème étage passe par les cloisons de la directrice pour refroidir par convection et augmenter le débit de refroidissement dans l'espace inter roues.

II-5-3-7 Membrane :

Les diaphragmes de directrices sont attachés aux diamètres internes des segments de directrices des deuxième et troisième étages. Ces diaphragmes évitent la fuite de l'air entre les parois intérieures des directrices et le rotor de la turbine. Les dents du joint de type à labyrinthe haut/bas sont usinées dans le diamètre interne du diaphragme. Elles correspondent à des plages d'étanchéité opposées sur le rotor de turbine. Un jeu radial minimal entre les parties fixes (diaphragme et directrices) et le rotor mobile est essentiel pour réduire au minimum les fuites inter-étages, ceci se traduit par une meilleure efficacité de la turbine [6].

II-5-3-8 Protecteurs de contacts :

A l'inverse des aubes du compresseur, les extrémités des aubes de la turbine ne tournent pas directement contre une surface intégralement usinée du corps mais contre des segments annulaires courbes appelés des bandages. La première fonction des bandages est de fournir une surface cylindrique pour réduire au minimum la fuite due au jeu en extrémité d'aube. La fonction secondaire des bandages de turbine est de fournir une résistance thermique élevée entre les gaz chauds et le corps comparativement froid. Ce faisant la charge de refroidissement du corps de la turbine est réduite de manière drastique, le diamètre du corps de la turbine est contrôlé, la rotondité du corps de la turbine est maintenue et des jeux importants de turbine sont assurés. Les segments fixes des bandages premier et deuxième étage sont en deux pièces ; le bandage intérieur côté gaz est séparé du bandage de support extérieur pour permettre la dilatation et la contraction et améliorer, par conséquent, la durée de vie. Le bandage premier étage est refroidi par contact, par film fluide et par convection. Les segments de bandage sont maintenus dans la position circonférentielle par des goupilles radiales à partir du corps de la turbine. Les joints entre les segments de bandage sont scellés par des emboîtements doubles d'interconnexion.

II-5-3-9 Cadre d'échappement :

Le cadre d'échappement est boulonné sur la bride arrière du corps de turbine. Structurellement, le cadre se compose d'un cylindre extérieur et d'un cylindre intérieur interconnectés par des nervures radiales. Le palier No. 2 est soutenu à partir du cylindre interne. Le diffuseur d'échappement situé à l'extrémité arrière de la turbine est boulonné au cadre. Les gaz qui sortent du troisième étage de la turbine pénètrent dans le diffuseur où la vitesse est réduite par diffusion et où la pression est récupérée. A la sortie du diffuseur, les gaz sont dirigés vers le caisson d'échappement. Les nervures radiales du cadre d'échappement traversent les gaz d'échappement. Ces nervures positionnent le cylindre interne et le palier N°

2 par rapport au corps externe de la turbine à gaz. Les nervures doivent être maintenues à une température constante pour contrôler la position centrale du rotor par rapport au stator

. Cette stabilisation de la température est réalisée en protégeant les nervures des gaz d'échappement avec un carénage métallique qui forme une couche d'air autour de chaque nervure et a une forme aérodynamique. Des ventilateurs externes assurent un flux d'air de refroidissement à travers le dégagement entre les entretoises et le carter afin de maintenir les entretoises à une température constante. Cet air est ensuite dirigé vers l'espace inter roues à l'arrière du troisième étage. Des tourillons sur les côtés du cadre d'échappement sont utilisés avec des tourillons similaires sur le corps du compresseur avant pour soulever la turbine à gaz lorsqu'elle est séparée de sa base.

II-6. Paliers :

La turbine à gaz MS9001FA a deux paliers à patins oscillants en quatre éléments qui supportent le rotor de la turbine. L'unité inclut également un palier de butée pour maintenir la position axiale rotor stator. La poussée est absorbée par une butée à patins oscillants avec huit patins sur chaque côté de la butée. Les paliers et joints sont installés dans deux logements de paliers : un au niveau du carter d'entrée et un au niveau du cadre d'échappement. Ces paliers principaux sont lubrifiés par pression à partir de l'huile fournie par le système d'huile de lubrification principal. L'huile s'écoule à travers des tubulures de dérivation vers une entrée dans chaque logement de palier [6].

II-6-1 Lubrification :

Les principaux paliers de turbine sont lubrifiés par pression avec une huile alimentée à partir de la bache d'huile. Les tuyauteries d'alimentation en huile, lorsque cela est possible, passent à l'intérieur des conduites de purge d'huile de lubrification ou des canaux de purge à titre de mesure de protection. En cas de fuite de la tuyauterie d'alimentation, l'huile ne se répandra pas sur les équipements à proximité, ce qui élimine un danger potentiel pour la sécurité. Lorsque l'huile pénètre dans l'arrivée du logement de palier, elle s'écoule dans un espace annulaire autour du palier. Depuis l'espace annulaire, l'huile coule à travers des trous ou des fentes usinées vers l'interface du palier du rotor.

II-6-2 Etanchéité au lubrifiant :

Des joints d'étanchéité dans chacun des logements de palier empêchent que l'huile à la surface de l'arbre de turbine ne soit projetée le long de l'arbre. Ces joints à labyrinthe sont montés aux extrémités des ensembles de palier là où un contrôle de l'huile est nécessaire. Une surface lisse est usinée sur l'arbre et les joints sont assemblés de manière à ce que seule une petite distance existe entre le joint d'étanchéité à l'huile et l'arbre. Les joints d'étanchéité sont conçus avec deux rangées de dents et un espace annulaire entre eux. L'air d'étanchéité pressurisé est admis dans l'espace et empêche la vapeur d'huile de lubrification de quitter le logement de palier. L'air qui repart avec l'huile au réservoir principal est ventilé à l'atmosphère après passage dans un extracteur de vapeur d'huile [6].

II-7 Conclusion

La description faite dans ce chapitre concerne la turbine a gaz type MS-9001FA .Il est évident qu'une description complète en état de marche doit comprendre aussi les auxiliaires groupes tel que le système de démarrage ainsi que les auxiliaires généraux.

**Chapit
re III :
Descri
ption
généra
le des
alterna
teurs**

III-1.Introduction :

Les turboalternateurs de puissance moyenne (à 250 MW, comme ceux entraînés par une turbine à gaz refroidis par air, ou d'anciens turboalternateurs de puissance comprise entre 100 et 200 MW refroidis dans l'hydrogène) sont à refroidissement indirect, comme le sont également la plupart des hydro générateurs. Les pertes par effet Joule dissipées dans les enroulements traversent l'isolation électrique avant d'être évacuées par le fluide de refroidissement. Cette traversée se traduit par un sur-échauffement additionnel des conducteurs de quelques dizaines de degrés par rapport à l'air de refroidissement. La densité de courant acceptable dans les enroulements est donc plus faible dans cette technologie que dans les machines « à refroidissement direct ».Ce type de refroidissement correspond à des technologies simples et fiables. En revanche, il est limité par la performance thermique des isolants. Pour les machines de puissance plus importante, il faut utiliser un système de refroidissement plus efficace

III-2. Description générales des alternateurs :

Le turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène est entièrement fermé pour fonctionner en utilisant l'hydrogène gazeux comme milieu de refroidissement. Le système de ventilation est une unité autonome comprenant les réfrigérants gazeux et les ventilateurs. Le champ rotatif excité séparé, actionné par la turbine, tourne à l'intérieur de l'induit stationnaire et est soutenu par des paliers situés dans les flasques montés sur le châssis de l'alternateur. Reportez-vous à la Figure III- 1[8].



Figure III-1 :Turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène type

L'appareil est conçu pour fonctionner en continu, en fournissant de la puissance aux bornes d'induit, avec des dispositifs pour maintenir la pression et la pureté de l'hydrogène et fournir une alimentation en eau de refroidissement et en huile de lubrification. Les sondes de température et les autres dispositifs sont installés dans la machine et connectés à celle-ci pour permettre de mesurer les températures de l'enroulement et de l'hydrogène, ainsi que la pression et la pureté de l'hydrogène. L'alternateur est conçu pour supporter toutes les conditions normales de fonctionnement sans nuisance. Le carter du stator est conçu pour limiter les effets destructeurs d'une explosion interne d'hydrogène [9].

III-2-1. Châssis du stator et montage sur ressort :

Le châssis du stator se compose d'un carter cylindrique étanche aux gaz fait de plaques soudées, renforcées à l'intérieur par des plaques fixes et axialement par des barres directrices et des entretoises. Les perforations du noyau du stator sont en permanence sous pression dans la direction axiale de l'alternateur. Le noyau du stator est aussi installé sur une base à ressort pour isoler les vibrations radiales et tangentielles du noyau du châssis externe. Les mouvements du noyau étant limités à des amplitudes sécurisées, les vibrations du châssis sont moindres et le fonctionnement est plus silencieux. Le châssis du stator est maintenu sur sa fondation par l'une des deux méthodes – dispositifs de nivellement (« Fixator ») ou bien plaques et cales. Les dispositifs de nivellement servent à la fois à soutenir uniformément l'alternateur et à assurer un ajustement de l'alignement vertical. Les flasques lourds qui contiennent les paliers de l'alternateur sont boulonnés aux extrémités du châssis. Le châssis a aussi pour fonction de servir de support et d'enceinte pour les réfrigérants à gaz. Tous les flasques, réfrigérants, trappes d'accès, etc. doivent être soigneusement scellés pour empêcher toute fuite d'hydrogène de l'alternateur. Des tourillons de levage boulonnés sur les côtés du châssis sont prévus pour attacher des élingues de levage lors de l'installation de l'alternateur [8 -10].

III-2-2. Noyau du stator :

Le noyau du stator est constitué de perforations segmentées isolées (voir Figure III- 2), faites d'acier au silicium de grande qualité. Ces perforations sont assemblées de manière intercalée sur des clavettes à queue d'aronde intégrées aux barres de calage et sont séparées par groupes à l'aide de blocs entretoises afin de constituer des conduites de ventilation. Les perforations sont poinçonnées dans des feuilles d'acier fines et contiennent des encoches à extrémités ouvertes pour les barres d'induit avec des clavettes à queue d'aronde pour maintenir les barres d'induit en place comme le montre la Figure III- 2. Les perforations assemblées sont serrées dans un noyau cylindrique rigide par la pression appliquée par les écrous serrés dans les extrémités filetées des barres d'induit par l'intermédiaire de flasques en fonte ductile. La pression est appliquée sur les dents par le biais d'aiguilles en acier non magnétique situées sous les brides. Pour réduire le réchauffement des extrémités causé par le flux de fuite des extrémités et les pertes électriques qui en découlent, les derniers groupes de perforations sont ramenés à l'extrémité du noyau du stator afin d'augmenter l'espace entre les perforations et le rotor. L'isolement des perforations est assuré par un vernis thermodurcissable qui garde sa capacité d'isolement à des températures dépassant la plage de fonctionnement normale de l'alternateur [10].

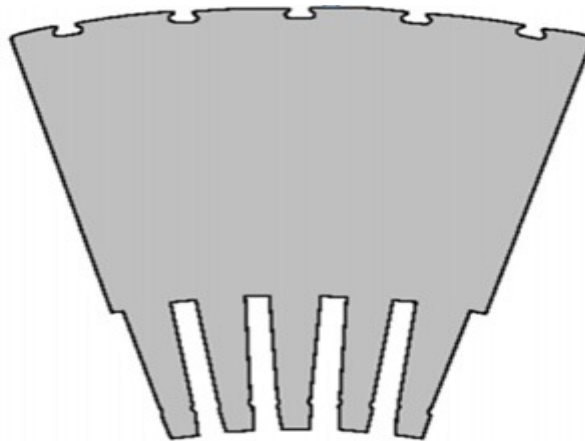


Figure III-2 : Perforation de stator type

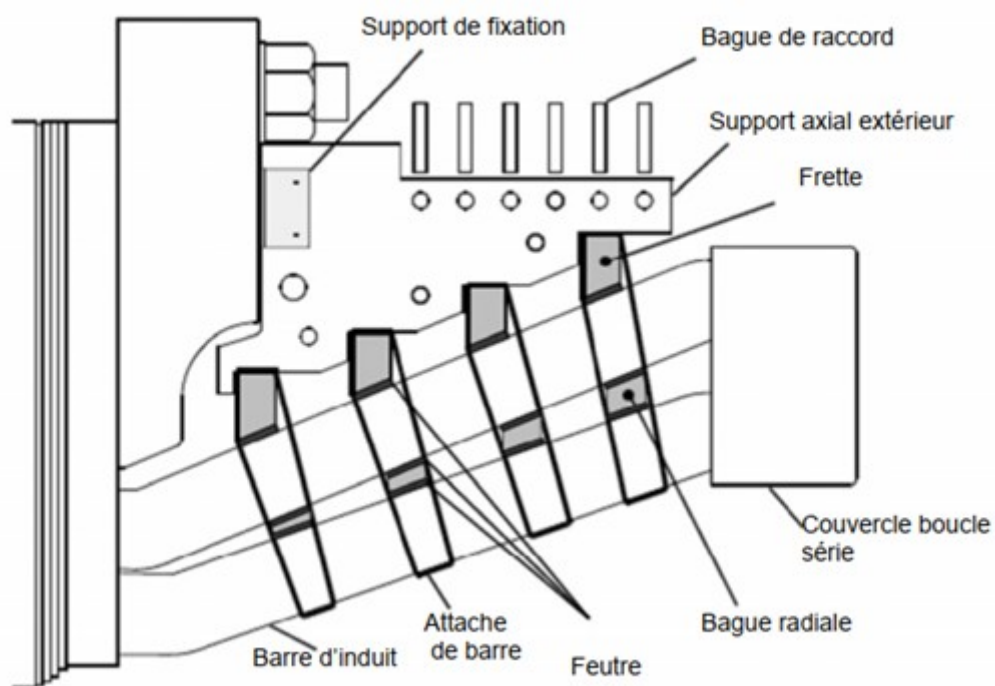


Figure III-3 : Structure de l'extrémité de l'enroulement de stator

III-2-3. Enroulement du stator :

L'enroulement du stator (voir figure III- 4) est composé de barres isolées assemblées dans les encoches du stator, aux extrémités jointes afin de former des bobines et connectées aux bobinages de phase appropriés à l'aide des bagues de raccord. Chaque phase est divisée en groupes de bobines séparées de 180° .



Figure III-4 : Spires terminales types de l'enroulement du stator et connexion pour un alternateur

Bipolaire refroidi à hydrogène

Les phases sont électriquement séparées de 120° . Les barres du stator sont composées de conducteurs en cuivre isolés (torons) transposés grâce à la méthode « Roebel » de manière à ce que chaque toron occupe dans l'encoche chaque position radiale de la barre pour une longueur égale le long de celle-ci. Cette disposition évite la perte de courant en circulation, qui serait sinon présente en charge à cause de la distribution auto-inductive du flux magnétique dans l'encoche de la bobine. Reportez-vous à la Figure III- 5 pour plus de détails concernant la barre transposée. Les barres d'induit sont maintenues dans les encoches du noyau par des cales Tex tolite encastrées dans les encoches à queue d'aronde comme indiqué dans la Figure III-5.

La barre du stator comprend plusieurs torons transposés isolés individuellement. Un système d'isolement Mica pal est mis en place pour constituer le principal « isolant de mise à la terre » de la barre du stator. Ce système d'isolement repose sur plusieurs couches de bandes de mica attachées par un produit liant thermodurcissable. Cela permet d'obtenir un système à haute résistance diélectrique de forte densité disposant d'une importante résistance mécanique sur l'ensemble de la plage de température de fonctionnement. Les barres, comprenant une préparation composite de couches de bandes appliquées, sont disposées dans un réservoir et exposées au vide, à la pression et aux cycles de chaleur, afin d'éliminer les particules volatiles, de compacter le système pour supprimer les espaces vides et de traiter le produit liant. Une bande de blindage est appliquée à la partie noyau de la barre pour la protéger de l'abrasion dans l'encoche. Les supprimeurs de courant induit contrôlent le gradient électrique le long des surfaces externes des barres du stator entre l'extrémité de l'encoche de blindage et les circuits en série. Les supprimeurs sont conçus pour éliminer les décharges électriques dans les conditions de tension électrique normale et dans les niveaux de tensions de test. Une peinture haute résistance semi-conductive est graduellement appliquée sur les extrémités afin de supprimer toute activité électrique indésirable dans l'enroulement des extrémités pendant les tests à haut voltage et pendant le fonctionnement.

Les extrémités de la bobine du stator sont recouvertes d'une couche d'isolant en mica (courroies de phase) ou d'une capsule (boucles en série), puis elles sont vaporisées avec une

peinture en résine époxy. Ces spires finales sont solidement attachées aux bandes d'union, qui sont des bagues en fibre de verre moulées soutenues par les brides du noyau du stator. Les attaches en fibre de verre, les blocs entretoises et le matériau adaptable sont collés avec de la résine thermodurcissable[10].

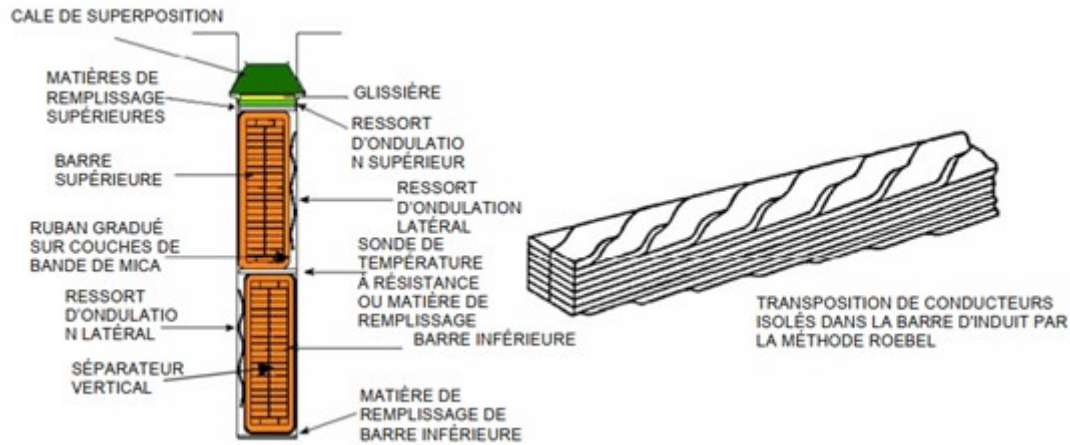


Figure III-5 : Conducteurs de l'induit assemblés en barre (Roebel)

III-3. Sonde de température à résistance :

Des sondes de température à résistance (RTD) sont situées entre les barres supérieure et inférieure de chaque phase de l'enroulement d'induit afin de mesurer la température des enroulements aux points des plus fortes températures de fonctionnement. Des sondes de température de gaz sont fournies pour mesurer la température du gaz à l'entrée et à la sortie de chacun des quatre réfrigérants. Les fils des sondes sortent d'un presse-étoupe étanche dans le châssis de l'alternateur et sont raccordés à des connecteurs DIN dans des boîtiers de régulation électriques pour le système de contrôle du turbo-alternateur. Une description détaillée des sondes de température à résistance, de leurs emplacements et de leurs connexions dans les boîtes de jonction est fournie dans des schémas et des instructions séparés et répertoriés dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble [8].

III-4. Traversées haute tension et transformateurs de courant :

Les fils d'induit principaux sortent généralement en haut du châssis d'alternateur (par les plaques à bornes au moyen des traversées étanches haute tension) pour les turbines à gaz et en bas du châssis pour les turbines à vapeur. Sur la plupart des alternateurs, les connexions doivent être réalisées côté collecteur (à l'opposé du raccord turbine).

Les traversées sont des isolateurs de porcelaine mono pièces avec une âme en cuivre ou en aluminium. Les bornes à chaque extrémités des traversées sont plaquées argent. Pour minimiser les pertes de courant induit et la chaleur causée par le courant de charge dans les conducteurs, les plaques à bornes sont fabriquées en matériau non magnétique. Des conduites de purge sont prévues pour empêcher l'accumulation d'huile ou d'eau autour des connexions au bas du châssis.

Les transformateurs de type traversée, si utilisés, sont montés sur les traversées haute tension. Une description détaillée de ces transformateurs est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble si l'alternateur est doté de transformateurs de courant de type traversé [8].

III-5. Réfrigérants à gaz :

Les réfrigérants à gaz de l'alternateur sont montés verticalement dans les tours de refroidissement aux quatre coins du châssis ou horizontalement dans la base du châssis du stator. Les connexions avec les tuyaux d'eau sont réalisées à l'extérieur en bas de chaque réfrigérant (en cas de montage vertical). L'étanchéité à l'hydrogène est réalisée à l'aide d'un presse-étoupe côté « flottant » et par un joint gonflable côté « fixe ». Une description détaillée de ces joints est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble [9].

III-6. Ventilation du stator :

Les ventilateurs du rotor fournissent l'augmentation de pression nécessaire pour la ventilation de l'alternateur. Les ventilateurs sont à flux radial avec aubes individuelles montées sur les moyeux de l'hélice près des extrémités du rotor. Des buses d'entrées peuvent être utilisées afin de contrôler les conditions d'entrée du gaz dans les ventilateurs. Les Figures III-6 et III-7 présentent le circuit de ventilation du stator. Il existe deux types de circuits utilisés sur les alternateurs refroidis classiques. Le circuit particulier utilisé est fondé sur l'optimisation globale de l'architecture de l'alternateur spécifique. Dans le système de ventilation « en cycle ouvert », l'hydrogène est poussé par les ventilateurs dans l'entrefer, puis dirigé radialement vers l'extérieur par les conduites radiales de gaz entre les groupes de perforations tout le long du noyau de stator. Le gaz chaud est dirigé vers les réfrigérants. Après que la chaleur ait été supprimée, le gaz froid est renvoyé vers les ventilateurs du rotor et recircule.

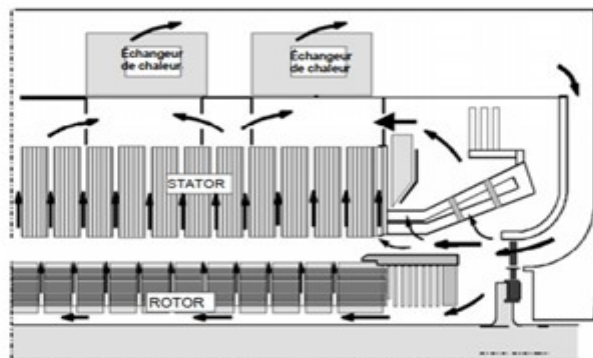


Figure III-6 : Système de ventilation à flux en cycle ouvert pour un alternateur refroidi à l'hydrogène

Dans le système de ventilation « à débit direct », l'hydrogène est poussé par les ventilateurs dans l'entrefer, puis autour du noyau de stator. Le stator est divisé de façon axiale en sections délimitées par les tôles d'âme de manière à ce que le gaz froid de certaines sections soit introduit depuis l'extérieur du noyau vers l'entrefer via les conduites de gaz radiales, tandis que celui d'autres sections est introduit par l'entrefer et

dirigé vers l'extérieur du noyau via les conduites de gaz radiales. Le gaz refroidi est acheminé dans les tubes ou les conduites jusqu'à la section appropriée et le gaz chaud est envoyé vers les réfrigérants. Après que la chaleur ait été supprimée, le gaz froid est renvoyé vers les ventilateurs du rotor et recircule [9].

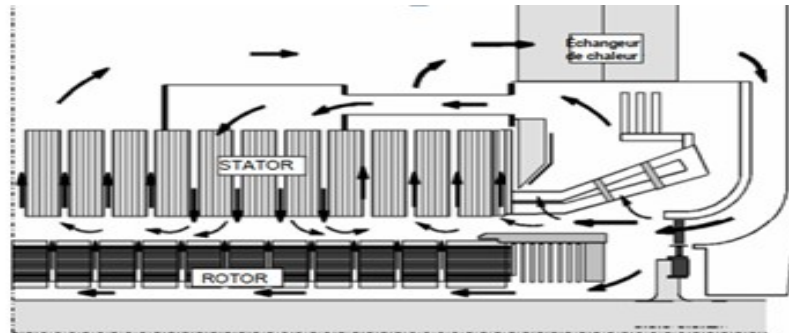


Figure III-7 : Système de ventilation à flux direct en cycle ouvert pour un alternateur refroidi à l'hydrogène

III-7. Rotor de l'alternateur (mécanique et ventilation) :

Le montage du rotor de l'alternateur est illustré sur la figure III- 8. Le rotor est usiné à partir d'un seul forgeage d'acier allié ayant subi de nombreux tests afin de veiller à ce qu'il corresponde aux critères de propriétés physiques et métallurgiques nécessaires. Les bobines de champ sont situées dans les encoches longitudinales usinées de façon radiale à l'intérieur du corps. Les bobines de champ sont maintenues dans les encoches par des cales en acier contre la force centrifuge. Ces cales sont insérées dans les ouvertures en queue d'aronde usinées dans les encoches du rotor. Les cales et les bobines qu'elles maintiennent en place sont dotées de trous radiaux alignés formant des nombreux passages radiaux qui relient la sous-encoche du rotor et l'entrefer. Le gaz s'écoule axialement sous les enroulements d'extrémité du rotor et dans les sous-encoches, puis radialement vers l'extérieur par les passages radiaux et se décharge finalement dans l'entrefer. Le flux gazeux radial élimine la chaleur produite dans les bobines. Le gaz circulant le long de l'entrefer au-dessus de la surface du rotor refroidit extérieurement le rotor. Les ventilateurs du rotor, servant à la ventilation de l'alternateur, sont montés près des extrémités du rotor [10].

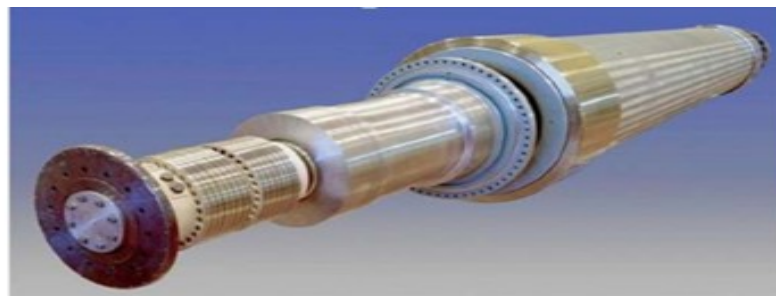


Figure III-8 :Rotor assemblé type

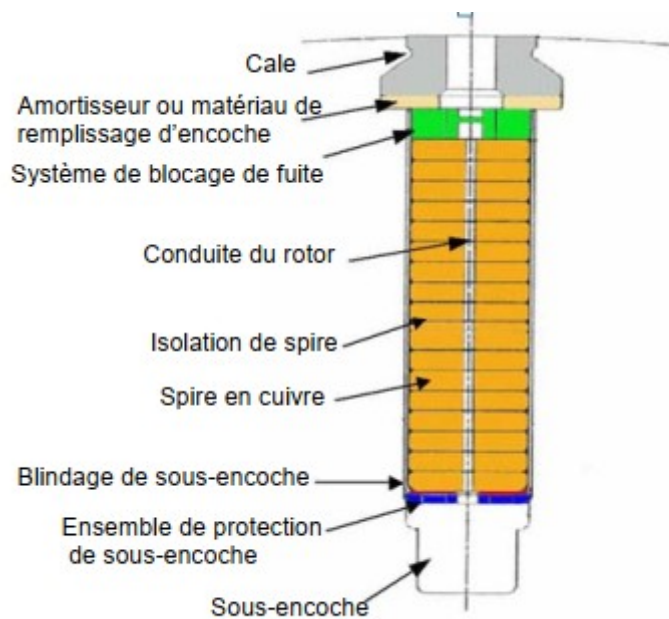


Figure III-9 : Montage d'encoche du rotor

III-8. Enroulement du champ et bague de retenue :

L'enroulement du champ est constitué de barres de cuivre, usinées à l'intérieur des bobines. Plusieurs spires dans une paire d'encoches entourant un pôle forment une bobine. Plusieurs bobines sont assemblées autour de chaque pôle afin de former l'enroulement. Les spires individuelles sont isolées les unes des autres. Les bobines sont isolées de la paroi d'encoche dans le corps par des caniveaux d'encoches moulés, comme le montre la Figure III- 9. Afin d'offrir un niveau maximal de ventilation et de refroidissement, les extrémités des bobines de champ restent nues. Un isolement par bague moulée se situe entre les bobines et les bagues de retenue, un blocage par verre époxy installé sur les enroulements d'extrémité sépare et soutient les bobines et réduit leurs mouvements sous les contraintes liées aux variations thermiques et aux forces rotationnelles. Les spires finales sont maintenues en place contre la force centrifuge par de lourdes bagues de retenue usinées à partir de forgeages d'acier allié de haute résistance, traités thermiquement, rétractés et serrés sur le corps du rotor[10].

III-9. Collecteur et connexions du collecteur :

Les enroulements de champ sont alimentés en courant via les bagues du collecteur, connectées électriquement à l'enroulement de champ grâce aux barres de cuivre isolées assemblées au centre foré du forgeage du rotor. Sur l'une des extrémités des goujons à bornes des barres de connexion, qui sont assemblés dans des trous radiaux dans l'arbre du rotor, l'enroulement se connecte aux barres. A l'extrémité de l'arbre cette connexion est réalisée en utilisant des goujons du collecteur. Les connexions côté collecteur utilisent un système d'étanchéité élastomère pour contenir la pression de H₂. [9. 10]

Une description détaillée du collecteur est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble.

III-10. Balais et réglage de la porte –balais :

Une description détaillée des balais et du support du porte-balai est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble [10].

III-11. Flasques et paliers :

Les paliers du rotor de l'alternateur, les joints d'étanchéité de l'arbre (pour l'hydrogène) et les passages d'huile pour l'alimentation en huile de ces pièces sont contenus dans les flasques extérieurs. Les flasques sont séparés sur la ligne centrale horizontale pour pouvoir les retirer plus facilement. Les joints entre les moitiés de flasques et ceux entre les flasques et le châssis du stator sont réalisés avec des rainures d'étanchéité pour l'insertion du produit d'étanchéité afin de sceller le gaz à l'intérieur de la machine. Les paliers du rotor sont fournis avec des sièges à billes pour permettre un alignement correct des paliers avec les surfaces de tourillon du rotor. Une description détaillée des paliers est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble. Un joint d'étanchéité de l'arbre attaché à chaque flasque extérieur à l'intérieur du palier empêche les fuites d'hydrogène de l'alternateur le long de l'arbre. Ce montage permet l'inspection des paliers de l'alternateur sans vider le gaz dans la machine. Une description détaillée du système d'étanchéité de l'arbre est fournie dans des instructions séparées répertoriées dans la table des matières du manuel combiné de l'ensemble.

Le palier et le compartiment d'étanchéité de l'arbre sur le côté collecteur de l'appareil sont tous deux isolés du châssis de l'alternateur afin d'éviter les courants de flux ou induits dans l'axe.

Les flasques ou protections gazeuses intérieurs sont situés entre les extrémités des enroulements d'induit et les flasques extérieures afin de séparer le gaz de décharge des ventilateurs du gaz pénétrant dans les ventilateurs [10].

III-12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appris, le fonctionnement, les différents caractéristiques et la construction d'un alternateur triphasé d'une tranche de production de l'énergie de la centrale de Naama a cycle combinée.

Cet alternateur de grande puissance est constitué de six éléments principaux, il est refroidi par l'hydrogène .Son excitation est assurée par un groupe d'excitation a redresseur.

**Chapitre IV :
Simulation
d'un
groupe
turbo-
alternateur a
gaz**

IV-1 Définition logiciel virtualbox :

VirtualBox est un hyperviseur de type 2, c'est-à-dire qu'il doit être installé sur un système d'exploitation, et non directement sur un ordinateur en tant que système d'exploitation

IV-2 Etude du système de commande machine :

Pour assurer la bonne marche du groupe, le procédé de production d'électricité nécessite une surveillance permanente et une régulation adéquate des paramètres du procès (Pression, Température, Débit, Vitesse, Courant, Tension...).

Pour cela la centrale utilise avant des systèmes de contrôle et de régulation et d'autres pour la gestion des alarmes et de sécurité des équipements, toutes les procédures de commande et de contrôle seront centralisées à base du système MARK VIe.

IV-3 Système MARK VIe :

Mark VIe est un système de contrôle flexible pour des applications multiples. Il dispose à grande vitesse, réseau d'E / S pour simplex, double, triple et systèmes redondants industrie standard communications Ethernet sont utilisés pour les E / S, les contrôleurs, et de surveillance interface pour les stations opérateur et d'entretien, et des systèmes tiers. Toolbox ST * est utilisé pour Mark VIe et liée les contrôles comme un logiciel commun Plate-forme de programmation, la configuration d'E / S, des tendances et l'analyse des diagnostics.

Il fournit une source unique de données de qualité, de temps cohérent sur le contrôleur et plante niveau pour gérer efficacement les biens d'équipement.

Les fonctions majeures du Mark6E sont :

- Control et Protection
- Réseaux de communication interne et externe
- Entrées / Sorties à base de modules intelligents
- Niveaux de redondance selon les options

IV-4 Architecture du Mark6e

Le système Mark6E a une structure

- flexible de redondance en contrôleurs et

En modules E/S.

-En duplex et TMR les sorties sont votées, et erreurs de discordance sont signalées.

-Les processeurs d'entrées / sorties détectent les défauts des signaux E/S.

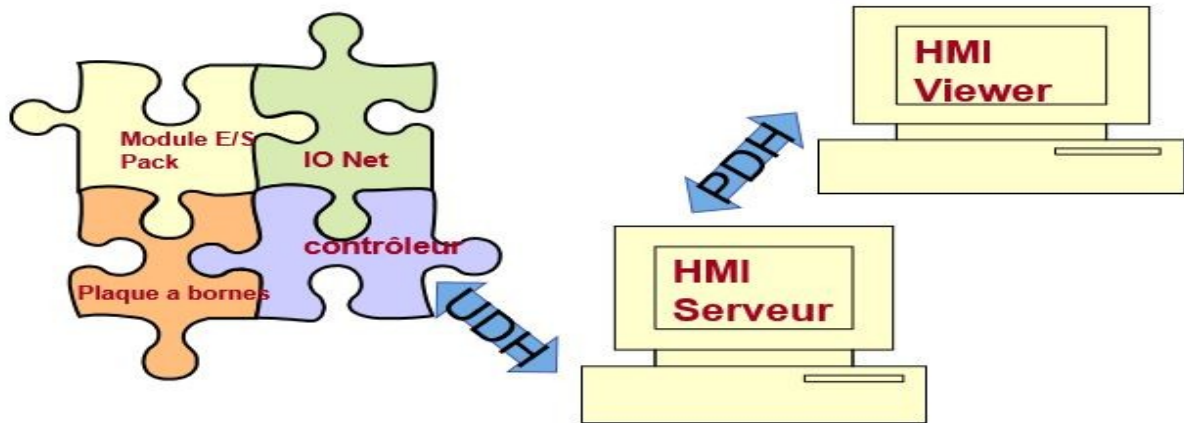


Figure IV-1A : Schéma architecture mark 6e

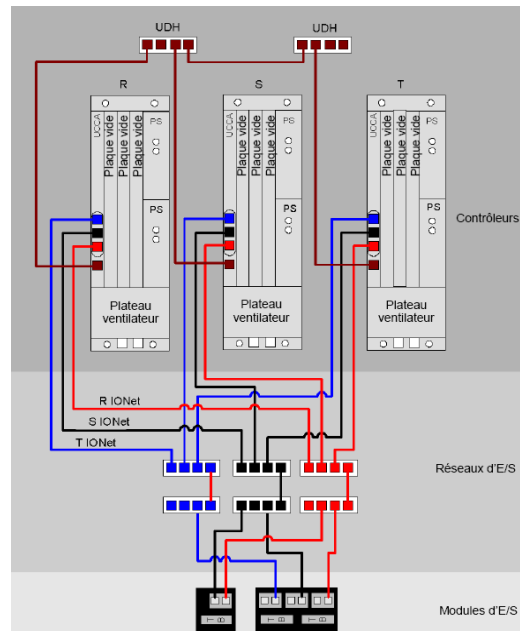


Figure IV-1B : Schéma architecture mark 6e

IV-5 Résultat de simulation et interprétation :

Nous avons effectué une simulation d'une système d'exploitation d'une groupe turbo-alternateur a gaz avec variation du température ambiante pour augmenter ou diminuer la puissance active .cette simulation est effectué sous logiciel virtualbox.

Les simulations reportées sur les figures (IV-1, IV-3, IV-5) montrent que le groupe turbo-alternateur a gaz affecté par le changement de température ambiante

A travers les résultats de simulation obtenus, nous pouvons énumérer les constatations suivantes :

Lorsque la température change, la puissance active change.

En conséquence, plus la température est basse, plus la production est importante.

NB : le point rouge à l'intérieur du cercle dans les résultats de simulation montre la courbe de changement de puissance avec le changement de température.

___ la courbe de la puissance active et réactive en fonction de température ambiante a $T=23^{\circ}\text{C}$

___ la courbe de la puissance active et réactive en fonction de température ambiante a $T=45^{\circ}\text{C}$

___ la courbe de la puissance et réactive en fonction de température ambiante a $T=-5^{\circ}\text{C}$

IV-6 Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures des simulations

Paramètres	Identification
TG1	Turbine a gaz n 1
TG2	Turbine a gaz n 2
Contrôle	Pour Contrôler les paramètres du groupe turbo-alternateur
Surveillant	Pour surveiller les paramètres du groupe turbo-alternateur
Aux	Les auxiliaires du du groupe turbo-alternateur
Testes	Pour tester les paramètres du groupe turbo-alternateur
Démarrages	Pour Contrôler les paramètres de démarrages groupe turbo-alternateur
Contrôle FSR	Pour Contrôler les paramètres d'allumage groupe turbo-alternateur
Alt/excitation	Pour Contrôler les paramètres alternateur/excitation groupe turbo-alternateur
Contrôle IGV	Contrôle Intel guide vanne
Moteurs	Pour vérifier état du moteur
Comb gaz	Combustion gaz

RPM	Vitesse de la turbine
Réf. vitesse	Reference de la limite de la vitesse
Alter	Alternateur
System	Réseaux
Gaz	Gaz
GCV	Gaz contrôle guide vanne
Vent	Pour purge
Inter valve pression	Inter valve pression
SRV	Surveillance régulation vanne
Press	Pression
Temp	Température
Admission d'air	Admission d'air
Tm	Moteur de lancement
IGV	Intel guide vanne
Cb1	Vanne anti pompage 1
Cb2	Vanne anti pompage 2
Etat de fonctionnement	Etat de fonctionnement
Etat turbine	Etat turbine
Mode de contrôle	Mode de contrôle
Contrôle comb	Contrôle combustion
Statues divers	Statues divers
Contrôle IGV	Contrôle inlet guide vanne
Niveau vitesse	Niveau vitesse de la turbine
MW contrôle consigne	Contrôle la puissance active
Consigne	Donner une valeur pour fixer la puissance active

Reference	
MW	Méga watts
Charge sélectionnée	Charge sélectionnée
Charge preseclcte	Valeur choisie pour les méga watts
Charge de base	Maximum des méga watts
Charge en pointe	Supérieur Maximum des méga watts
Alternateur mode	Alternateur mode
Hors	Hors service
Pf	Facteur de puissance
VAR	Commande de la puissance réactive
Maitre contrôle	Maitre contrôle
Démarrage	Pour démarrer
Charge rapide	Pour démarrer rapidement
Arrêt	Pour arrêt groupe
Mode sélectionnée	Mode sélectionnée
Hors	Hors service
Lancement	Pour lancement du groupe
allumage	Pour allumer groupe
Auto	Pour augmenter la vitesse a 100%
Vt/charge contrôle	Pour Controller la vitesse et la charge
Augmenter	Pour augmenter la charge (méga watts)
Diminuer	Pour diminuer la charge (méga watts)
KV/KVAR contrôle	Pour Controller la tension et la puissance réactive
Augmenter	Pour augmenter la puissance réactive
Diminuer	Pour diminuer la puissance réactive
Vitesse régulateur	Vitesse régulateur
Statisme	Commande par réseaux électrique

Autonome	Commande par la centrale
Enregistrement démarrage	Enregistrement démarrage
Raz principale	Effacer les alarmes
Raz diagnostic	Effacer les alarmes
Alarmes	Alarmes affichée
Configuration	Configuration
Commentaires	Pour commenter sur les alarmes affichées
Déverrouiller	Déverrouiller alarmes affichées
Verrouiller	Verrouiller alarmes affichées
Acquitter	Acquitter alarmes affichées

IV-7 Tableau d'identification des paramètres du logiciel dans les figures résultats simulations

0.70	Facteur de puissance
0.80	Facteur de puissance
0.95	Facteur de puissance
0.90	Facteur de puissance
Donnée turbine	Donnée turbine
Echappement	Echappement de la turbine
Vitesse	Vitesse de la turbine
Vib max	Vibration max
CPD	Pression décharge compresseur
IGV	Intel guide vanne
WATTS	Puissance active
VARs	Puissance réactive

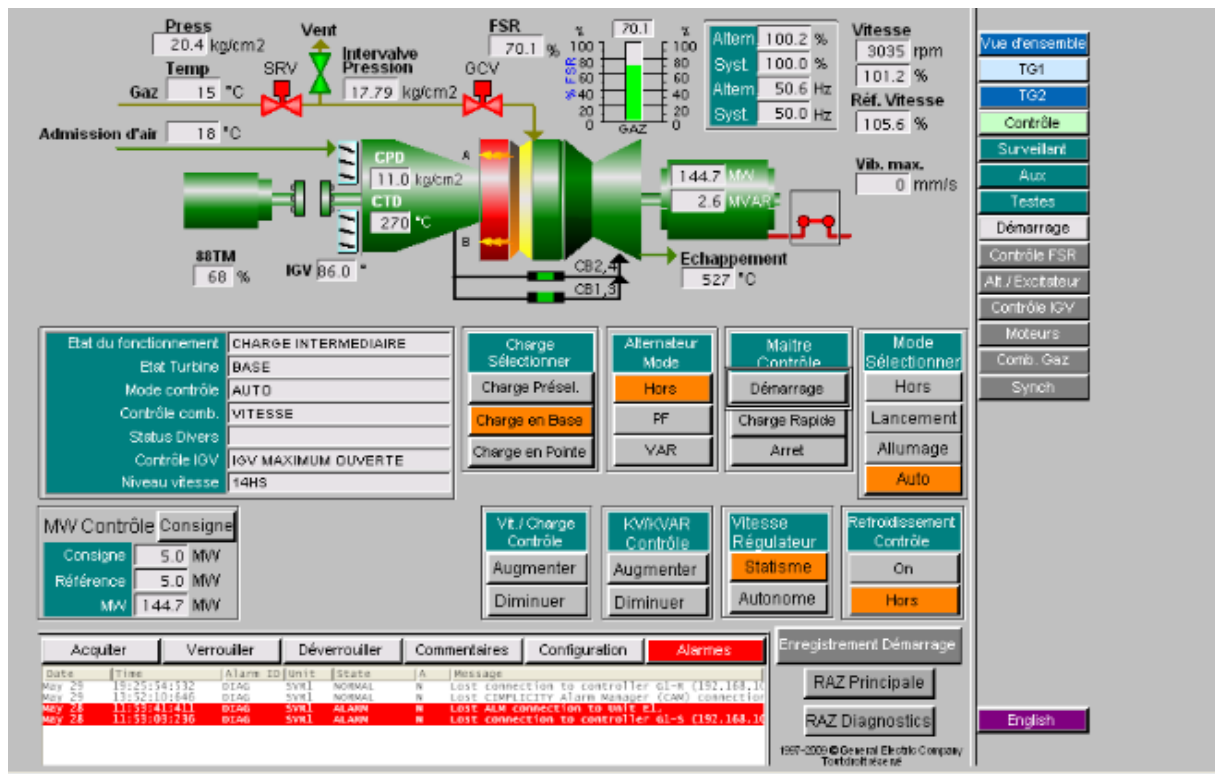


Figure IV-2A : Simulation d'un groupe turbo-alternateur a T=18°C

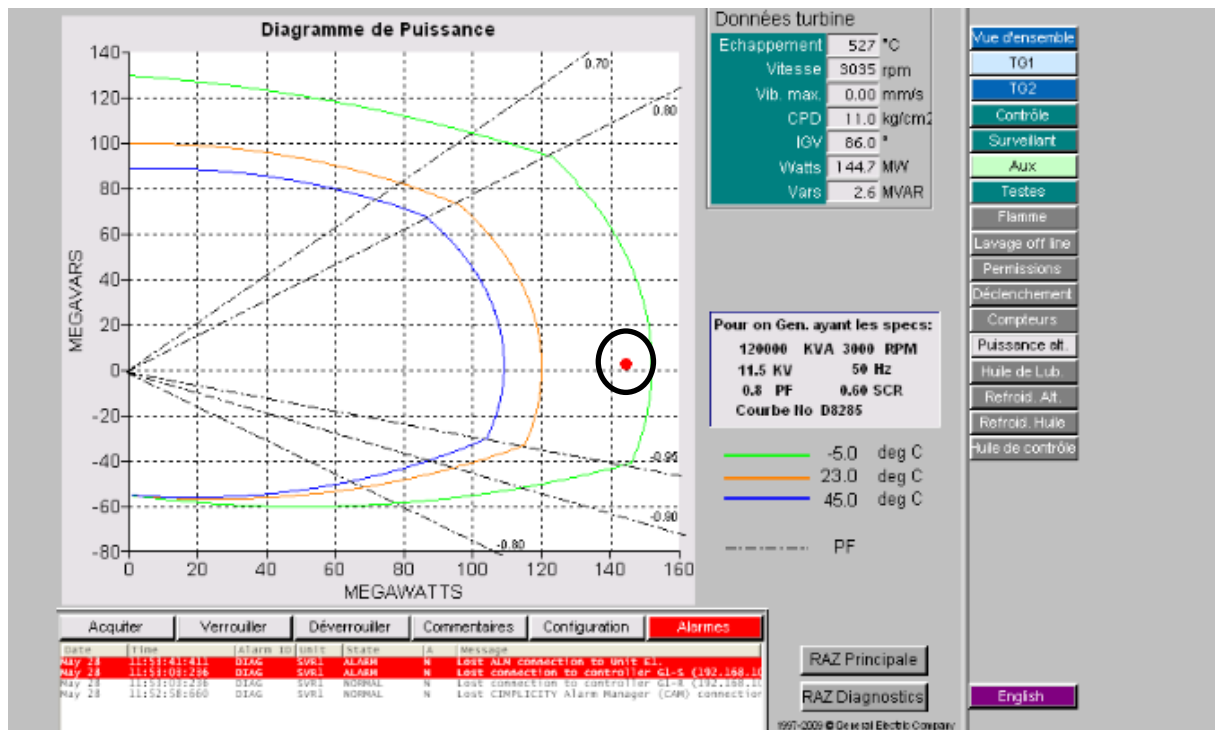


Figure IV-2B : Résultats de simulation a T=18°C

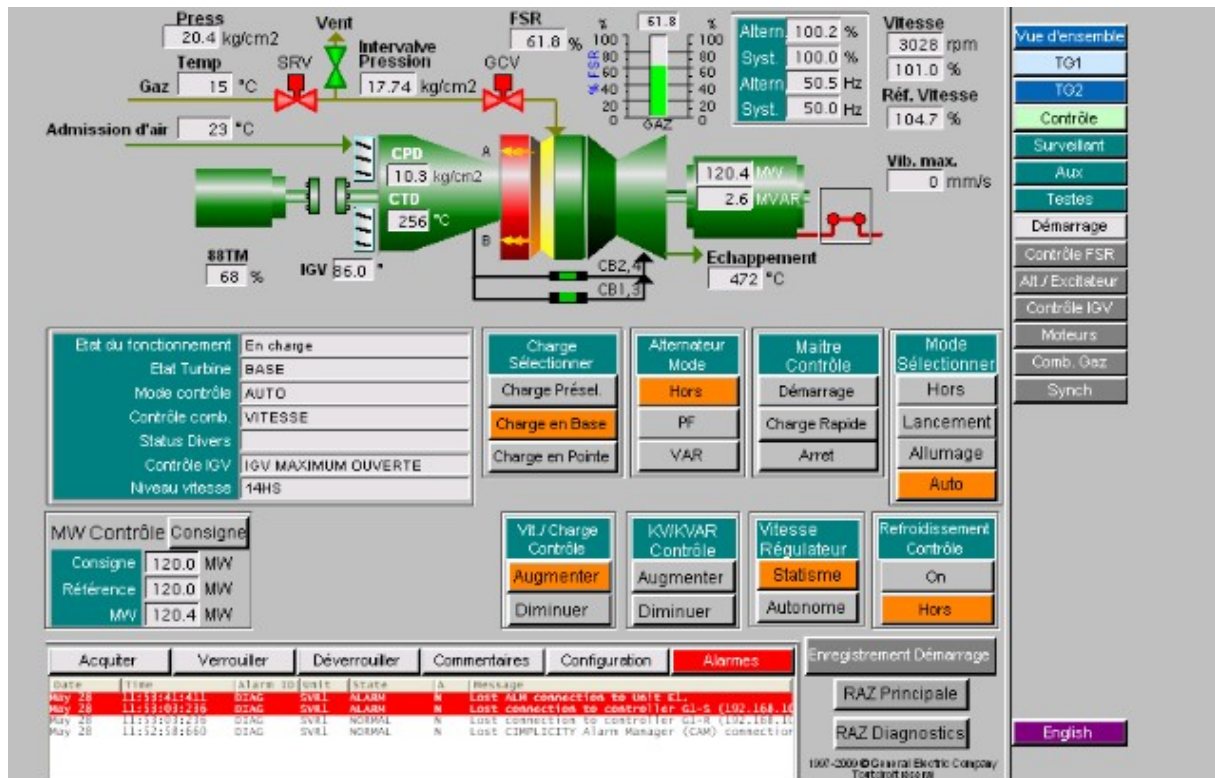


Figure IV-3A : Simulation d'un groupe turbo-alternateur a T=23°C

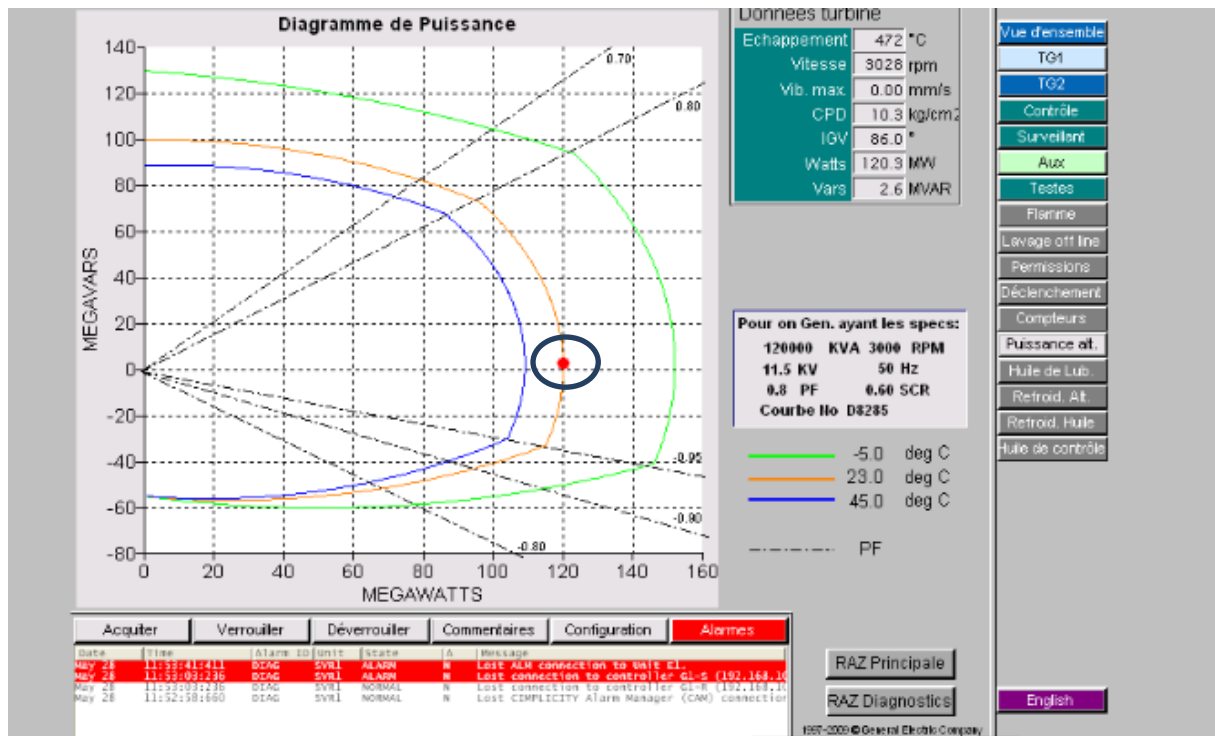


Figure IV-3B : Résultats de simulation a T=23°C

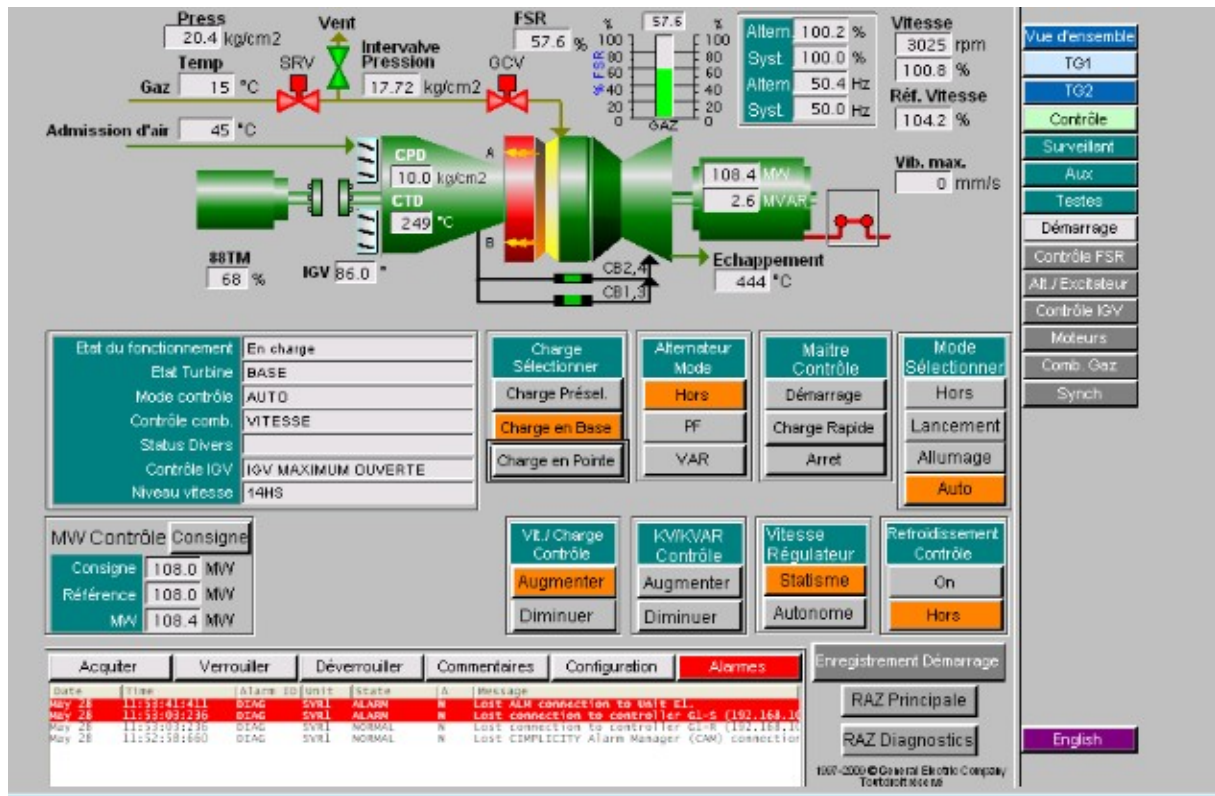


Figure IV-4A : Simulation d'un groupe turbo-alternateur a T=45°C

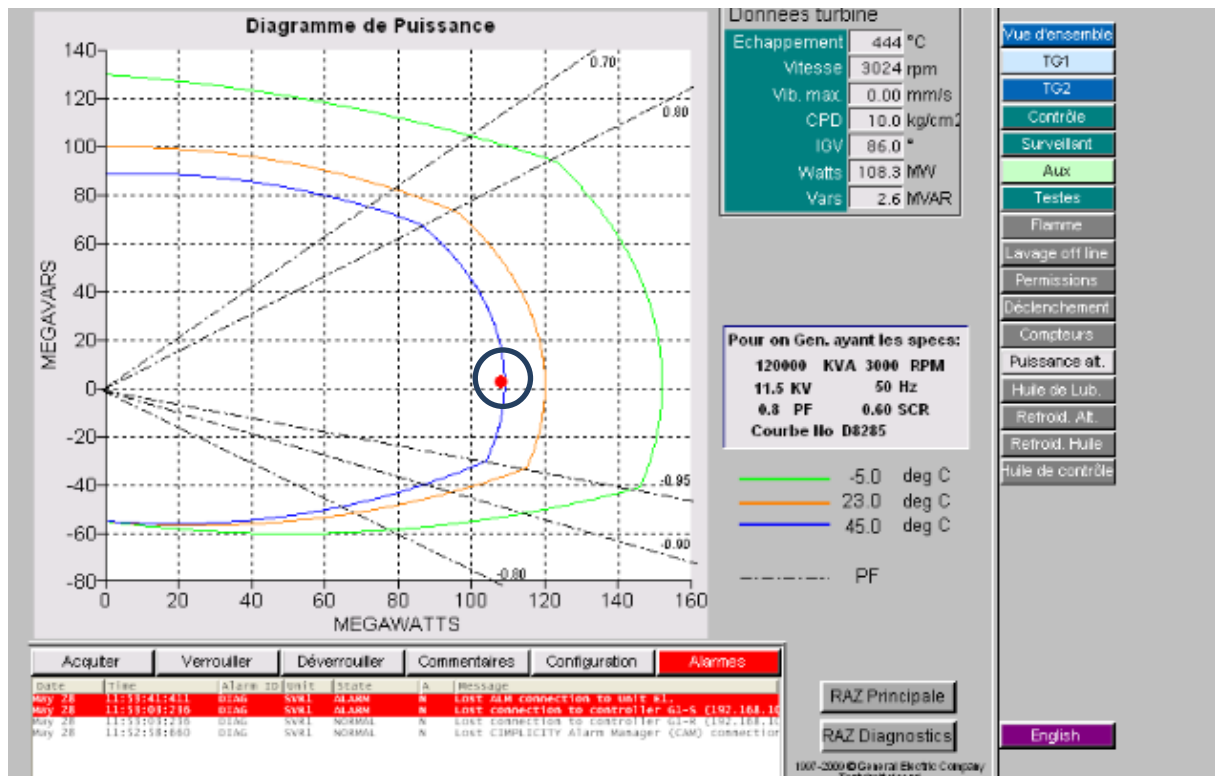


Figure IV-4B : Résultats de simulation a T=45°C

Conclu sion généra le

Conclusion générale

Nous vivons dans un monde en constante évolution où la demande d'énergie augmente continuellement et cela entraîne des conséquences sur l'environnement et les ressources. Par conséquent, nous examinons tous les moyens possibles pour économiser les ressources et aussi maximiser la production d'énergie.

Dans ce mémoire, nous avons effectué une étude sur la centrale électrique Naama cycle combinée.

- L'étude montrées l'avantage du cycle combinée elle combine avantages d'une turbine à gaz et d'une turbine à vapeur, elle minimise les pertes, et ça c'est idéales non seulement économiquement mais aussi à l'environnement.
- 32.4% d'électricité dérivée totale est produite par cycle combiné, la construction des centrales à cycle combiné est a privilégié pour répondre aux exigences du marché à court et à moyen terme, elle constitue le meilleur choix pour augmenter la capacité de production, elle a largement contribué à soulager les contraintes du système du réseaux électrique.
- Le cycle combiné permet de récupérer la chaleur rejetée par la turbine à gaz qui se trouve à une température plus élevée en suite les améliorations effectuées dans la partie de la turbine à vapeur sont le placement de refroidisseurs pour refroidir la vapeur à la sortie de la turbine avant d'entrer dans le condenseur, pour augmenter l'efficacité.
- Il s'agit d'un mode de production à haute performance énergétique, fonctionnant dans le cadre du marché électrique, et qui utilise uniquement le gaz naturel, étant le combustible le moins émetteur de CO₂ parmi les combustibles fossiles. Moins polluants par rapport à d'autres centrales thermiques au charbon ou au mazout, ce qui constitue un avantage environnemental.
- Contribuant à réduire les quantités de gaz dédiées à la production de l'électricité, donc la conversion du gaz naturel en électricité offre un meilleur rendement. Ainsi, elle satisfait une modernisation pour occuper une grande partie dans le secteur de production de l'énergie.
- Thermodynamiquement, le cycle combiné permet d'augmenter la puissance et le rendement et ça montre que l'efficacité de cycle combiné est de grandes importances dans le développement de l'électricité en Algérie.

Le résultat de notre projet fin d'étude, montre que la centrale de cycle combinée est la future technologie de production d'électricité en raison de ses plusieurs avantages en Algérie.

**Bi
bliogra
phie**

Références Bibliographie

- [1] Schéma de la configuration du DCS de la centrale - NAM IC 810 101
Générale Electric 2016
- [2] Description du système – Système de purge propre- NAM EM 540 003
Générale Electric 2016
- [3] Description du système – Système d'eau d'alimentation - NAM EM 560 001
Générale Electric 2016
- [4] Description du système– Système d'eau de refroidissement en circuit fermé - NAM EM 600 003
Générale Electric 2016
- [5] Description du système – Système d'alimentation en gaz combustible - NAM EM 460 001
Générale Electric 2016
- [6] Description fonctionnel de la turbine a gaz (MS9001FA, DLN-2.6+)
Générale Electric 2016
- [7] Contrôle de la charge GEK106864FR
Générale Electric 2016
- [8] Fonctionnement d'un alternateur –turbine refroidi a l'hydrogène GEK 116772 FR
Générale Electric 2016
- [9] Refroidisseurs d'alternateurs : description, utilisation et maintenance GEK 116376BFR
Générale Electric 2016
- [10] Ensemble du rotor de l'alternateur RA001 FR
Générale Electric 2016