

DEDICACES



Comme symbole d'une profonde reconnaissance et d'une gratitude égale, nous dédions ce modeste travail :

A NOS DEUX PLUS CHERS ETRES



Nos parents, qui nous ont accordé toute l'aide et le soutien voulu, qui nous ont garanti un amour que nul n'oublie et nous ont guidé avec leurs conseils intangibles dans la conception de notre personnalité.

A NOS FRERES ET SOEURS



Auxquels nous devons, du fond du cœur, une profonde gratitude, de nous avoir encouragé et nous avoir tendu mains fortes.

A TOUS NOS AMIS



Avec lesquels nous avons formé une équipe solide, efficace et particulièrement, liée par une amitié confiante que nous n'aurions garde d'oublier.

A TOUS NOS PROFESSEURS



A qui nous devons tout respect et hommage d'avoir contribué à notre solide formation.

REMERCEMENTS

Nulle œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et l'intervention des personnes qui sont proches.

Pour cela, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons à remercier sincèrement Mr CHAHIR qui, en tant que directeur de la centrale turbine à gaz de Mohammedia, s'est toujours montré à l'écoute et disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour sa qualité d'encadrement durant toute la période de notre stage malgré ses nombreuses charges professionnelles.

Nous exprimons notre gratitude à tous les agents de l'ONEE et à tout le personnel de la centrale turbine à gaz pour leur disponibilité, générosité ainsi que la grande patience dont ils ont su faire preuve pour l'exécution de notre travail.

Nous remercions également le corps enseignant de l'école nationale des sciences appliquées pour leurs compétences incontestables ainsi que leurs précieux conseils.

Nos vifs remerciements vont à toute personne ayant apporté une aide, aussi petite soit-elle durant ce stage. Qu'elle trouve ici l'expression de notre chaleureuse reconnaissance.

Sommaire

DEDICACES.....	1
REMERCIEMENTS.....	2
Sommaire.....	3
Introduction général.....	6
I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	7
1. Historique.....	7
2. Les missions principale de l'ONEE branche électrique.....	8
3. Les principaux objectifs de l'ONEE branche électrique.....	8
4. LA STRATEGIE DE L'ONEE branche électrique.....	9
5. Les domaines d'activités de l'ONEE branche électrique.....	9
Production de l'énergie électrique.....	10
Transport de l'énergie électrique.....	10
La distribution de l'énergie électrique.....	11
6. L'ORGANIGRAMME DE l'ONEE branche électrique.....	12
II. CENTRALE TURBINE A GAZ MOHAMMEDIA (3X100MW).....	13
1. Description de la centrale.....	13
2. Les caractéristiques techniques d'une turbine à gaz.....	14
III. Compartiments de la centrale.....	14
1. TURBINE.....	14
Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz.....	14
2. Filtre d'Admission d'air.....	16
3. Le compresseur.....	17
Rôle.....	17
Description.....	17

ROTOR DU COMPRESSEUR.....	18
STATOR DU COMPRESSEUR.....	18
4. CHAMBRES DE COMBUSTION.....	23
GENERALITES.....	23
Principe de fonctionnement.....	23
Chambres séparées ou tubulaires.....	26
Bougies d'allumage.....	27
Détecteurs de flamme.....	28
INJECTEUR DE COMBUSTIBLE.....	29
Tube à flammes.....	29
PIECES DE TRANSITION.....	30
5. La turbine.....	31
GENERALITES.....	31
Composition.....	32
6. CADRE D'ÉCHAPPEMENT ET DIFFUSEUR.....	36
7. SYSTEME D'ÉCHAPPEMENT DES GAZ BRULÉS.....	37
8. L'alternateur.....	37
Description du système.....	37
Fonctionnement du système.....	38
9. l'excitateur.....	39
Description du système.....	39
10. SYSTEMES AUXILIAIRES DE LA TURBINE A GAZ.....	40
Système de lancement.....	40
Réducteur.....	42
Vireur hydraulique.....	42
Système de combustible gazeux.....	43

Système d'huile de graissage.....	43
Système d'alimentation hydraulique.....	44
Système d'air de refroidissement et d'étanchéité.....	45
SYSTEME D'EAU DE REFROIDISSEMENT.....	45
SYSTEME D'AIR D'ATOMISATION.....	46
11. Poste traitement d'eau.....	47
citernes métalliques d'eau brute.....	48
bacs d'eau déminéralisée.....	49
Filtres à cartouche.....	49
Système Osmose inverse premier passage.....	49
Dégazeur.....	50
Système Osmose inverse 2ème passage.....	50
Les lits mixtes.....	51
Système de régénération.....	51
12. Poste traitement de fuel.....	52
Préchauffage.....	54
Lavage à l'eau pour dessalement.....	54
Ajout d'un inhibiteur de vanadium.....	55
IV. Partie optimisation de la consommation électrique des	
auxiliaires de la centrale TAG M2.....	56
1. Poste traitement fuel.....	56
2. Compartiment turbine.....	56
3. Chaudiere.....	59
4. Post traitement eau.....	60
Conclusion generale.....	64

Introduction général

Dans cette société énergivore marquée par la mondialisation, l'évolution, la concurrence, la complexité et la rapidité des exigences du marché, les entreprises doivent faire preuve de dynamisme pour s'adapter rapidement et en souplesse aux nouvelles exigences et savoir saisir les opportunités.

Soucieux d'optimiser le potentiel de production, de réduire les coûts, de moderniser les installations, de conforter sa position sur le marché et de répondre aux besoins des clients l'ONEE mène en continue plusieurs projets de construction de centrale capable de produire de l'électricité en grande quantité et s'engager dans une démarche d'optimisation énergétique globale dont l'objectif est de rationaliser la consommation, maîtriser la facture énergétique et par la suite diminuer les coûts de revient des utilités et ainsi augmenter la marge de gain de l'entreprise.

Dans cette perspective La turbine a gaz joue un rôle primordial pour le secours du réseau national, son utilisation est liée a l'avantage de sa rapidité de démarrage il est ainsi considéré comme l'un des principaux moyens de production d'énergie électrique en période de pointe.

Le présent travail inscrit dans le cadre d'un stage d'observation dans une centrale à turbines à gaz à Mohammedia d'une capacité de 3*100 MW, s'intéressera à étudier tous les compartiments de la turbine à gaz et particulièrement le compartiment turbine.

Ce stage a pour but de comprendre les conditions du travail et le système général de production et de mettre en pratique toutes les notions théoriques et les connaissances préalablement acquises d'une part, et de se familiariser avec le domaine de travail afin d'acquérir des notions et des techniques nouvelles en prenant contact avec les agents expérimentés d'autre part.

I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE:

1. Historique:

Juste après l'indépendance du Maroc, l'Etat a pris en main le secteur électrique afin de l'organiser, le soutenir et garantir le service public. L'ONEE comme étant un établissement semi-public à un caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

L'histoire de l'énergie électrique du Maroc remonte à plusieurs décennies. Au fil du temps, plusieurs sociétés et compagnies se sont succédé afin de répondre aux besoins d'énergie électrique, parmi elles:

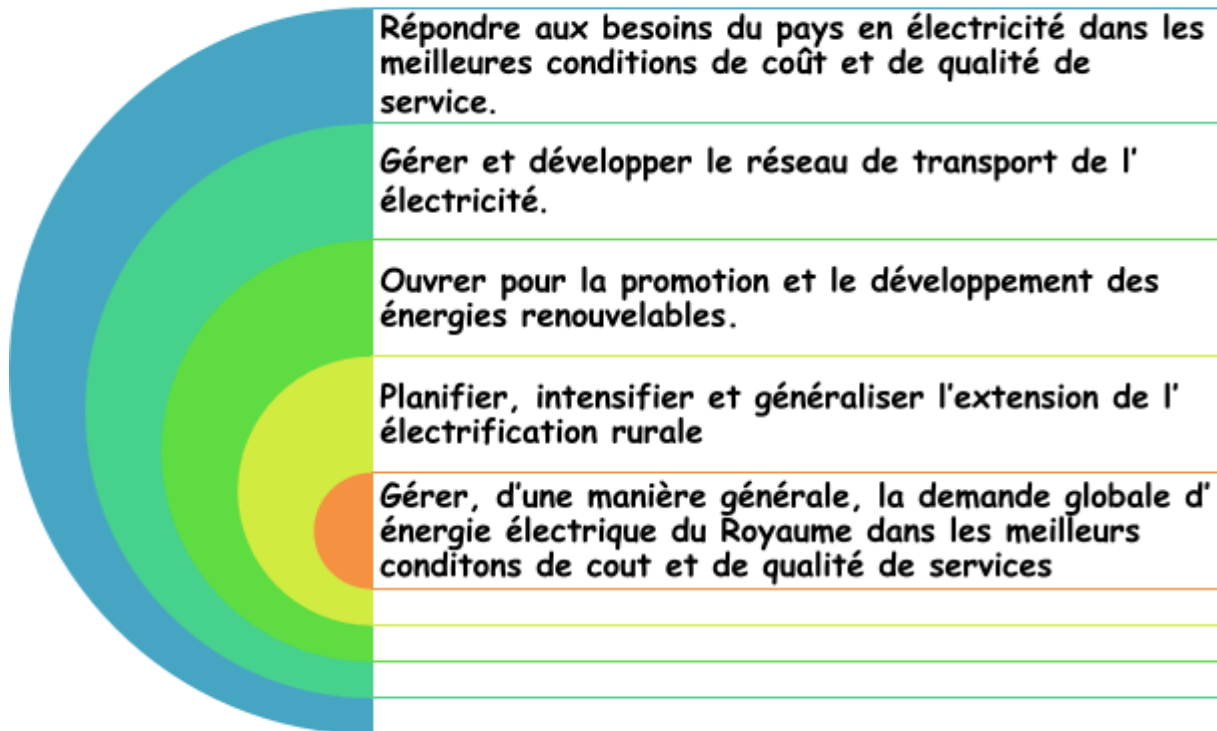
- La chérifienne de l'énergie qui fournissait de l'énergie électrique à l'époque du protectorat.
- La société Marocaine de distribution d'Eau et d'Electricité de Casablanca (1914-1922)
- En 1923 approuvé par le DAHIR du 18/7/1923, le gouvernement de protectorat a accordé la concession d'une organisation de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique aux syndicats d'étude et de recherche hydraulique au Maroc.
- La SEEM (société Energie Electrique du Maroc) qui s'occupait depuis 1924 de la production, le transport et la distribution d'électricité jusqu'à la création en 1963 de l'ONEE.
- La création en 5 août 1963 de l'ONEE est donc la substitution de la SEEM et la preuve que Le Royaume du Maroc à toutes les capacités et tous les moyens nécessaires pour relever les nombreux défis qui lui lançait son indépendance.

Ainsi, la nationalisation de ce secteur très capital, qui est l'énergie électrique, vise avant tout la maîtrise de la production, de transport et de la distribution de l'énergie électrique puis à assurer un service continu de très haute qualité à tout le peuple Marocain.

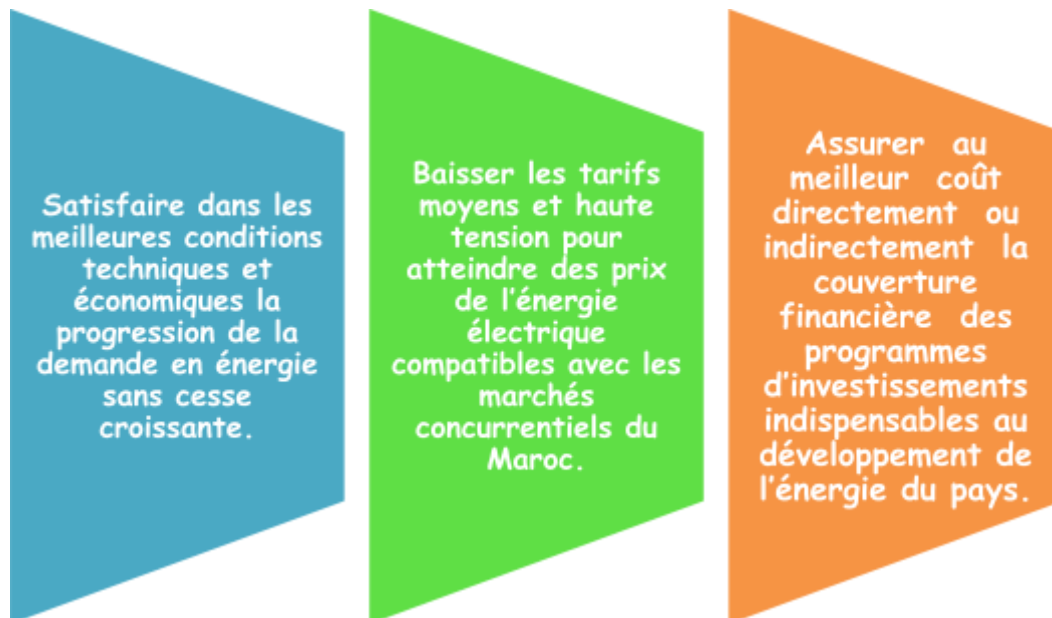
Date de creation	1963
Forme juridique	Etablissement semi-public
Siège social	65, rue Ottoman Ben Affan Casablanca – Maroc
Directeur general	Ali Fassi-Fihri
Activité(s)	Production, transport et distribution d'électricité
Nombre d'effectifs	9 000
Nombre des clients	Plus de 4 millions
E-mail	offelec@onee.org.ma
Chiffre d'affaires	19,930 milliards (2011)
Site Web	www.onee.org.ma
Téléphone	05-22-66-80-80
Fax	05-22-22-00-38
Boite Postale	13498/20000 Casablanca

FIGURE (1) : LA CARTE D'IDENTITÉ DE L'ONEE BRANCHE ÉLECTRIQUE

2. Les missions principales de l'ONEE branche électrique



3. Les principaux objectifs de l'ONEE branche électrique:



4. LA STRATÉGIE DE L'ONEE BRANCHE ÉLECTRIQUE :

Pour satisfaire la demande d'énergie électrique au moindre cout et avec une meilleure qualité de service, l'ONEE a mis en œuvre une stratégie visant à renforcer son rôle de vecteur important de développement :

- La recherche du KWh le moins cher.
- La diversification des sources d'approvisionnement.
- La mise en valeur des ressources nationales.
- L'intégration régionale.

5. Les domaines d'activités de l'ONEE branche électrique :

Avec **8 796** collaborateurs et plus de **4,9 millions** de clients, l'ONEE exerce des activités centrées sur les métiers de l'électricité : **Production, Transport et Distribution.**

Production de l'énergie électrique:

Le parc de production de l'ONEE est constitué de centrales électriques ayant une puissance totale installée à fin 2013 de 7342,2MW. Ses ouvrages de production depuis début septembre 2000, sont constitués de 24 usines hydroélectriques totalisant une puissance installée de 1175 MW et de 5 centrales thermiques vapeur totalisant 2505 MW, 7 centrales à turbines à gaz et plusieurs centrales diesel totalisant 786 MW et un parc éolien de 50 MW, soit une puissance installée globale de 4516 MW.

Centrales	Puissance installée en MW
Usines hydrauliques	1 306
Station Pompage et turbine d'Afourer	464
centrales thermiques vapeur	2 795
Charbon (y compris JLEC)	2 195
Fioul	600
Centrales turbines à gaz	1230
Cycle combine	850
Thermique diesel	202
Total Thermique	5 077
Eolien	495,2
Total ONEE	7342,2

Figure (2) : puissance produite par l'ONEE 2013

La production est assurée par des moyens de production exploités directement par l'ONE ou par des ouvrages confiés à des producteurs concessionnaires. Les principaux défis de l'ONE sont:

- Assurer l'approvisionnement du pays en énergie électrique.
- Réduire le poids des importations d'énergie primaire sur la balance commerciale.
- Un nouveau dispatching national pour assurer une meilleure gestion .
- technico-économique des moyens de production et de transport.
- Favoriser l'implication du secteur privé dans l'investissement pour l'électricité.
- Mobiliser les énergies renouvelables en tant qu'énergie nationales.
- La mise en place de la télégestion des centrales.

Transport de l'énergie électrique:

L'électricité n'étant pas stockable, il est donc nécessaire de gérer en continu le flux de cette énergie entre les lieux de production et les points de livraison à la clientèle.

Et pour assurer le transport d'énergie électrique et la sécurité d'alimentation de la clientèle, l'ONEE développe et renforce son réseau de transport qui couvre aujourd'hui la quasi-totalité du territoire national et est constitué de ligne de 400kV, 225kV, 150kV et 60kV.

Longueur des lignes:

	Longueurs en km
THT/HT	22 995 km

Puissances installées dans les postes (MVA):

	Nombre de Transfos	Puissance installée (MVA)
THT/HT	136	18 000
THT/MT	5	350
HT/MT	338	6 657

La distribution de l'énergie électrique:

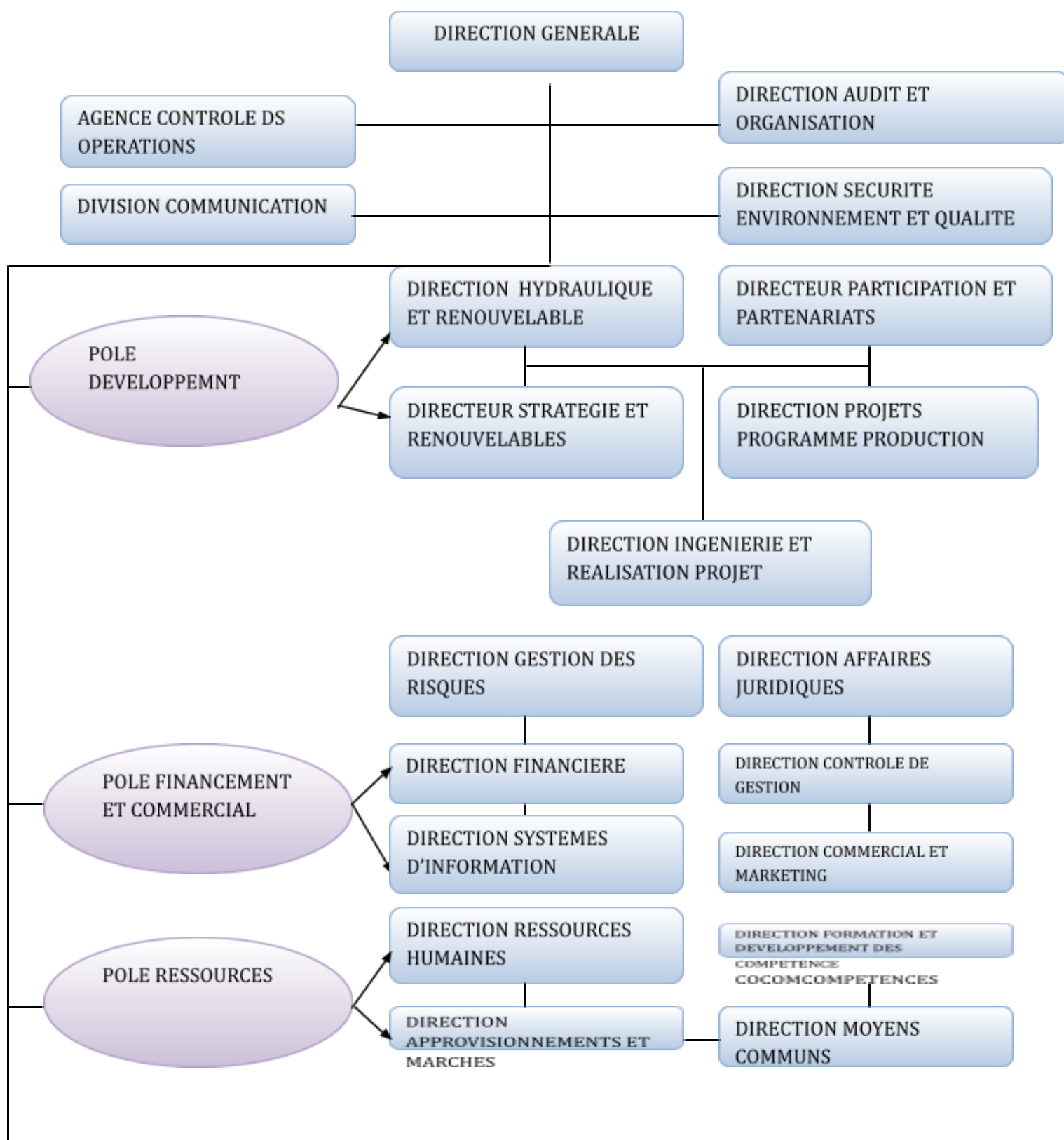
L'ONE œuvre d'une manière permanent pour l'amélioration de la qualité de service tant sur le plan technique que commercial. Depuis sa création, elle s'est fixée pour objectif d'étendre son réseau à toutes les agglomérations et procéder à la ramification des réseaux de distribution de façon à couvrir l'ensemble des Régions du Royaume L'ONE c'est :

- Le premier distributeur d'électricité au Maroc avec une part de marché de 55%, 10 directions régionales sur tout le territoire.
- Plus de 4,9 millions de clients dans tout le monde rural et plusieurs agglomérations urbaines. Le reste de la clientèle étant gérée par des Régies de distribution publiques ou des Distributeurs privés qui sont eux-mêmes clients Grands Comptes de la Branche Electricité.
- Un réseau commercial de 25 Directions Provinciales et 192 Agences de Service dont 66 Agences de service provinciales.
- Une amélioration continue de la qualité de services : externalisation des points d'encaissement, promotion du prépaiement, mise en place de " SIRIUS ", progiciel intégré de gestion commerciale, télé-conduite régionale.

Son champ d'action couvre tout le territoire national à l'exception des agglomérations urbaines gérées par des régies de distribution publiques ou par des distributeurs privées, à savoir: Casablanca, Rabat Salé Marrakech, Fès, Mekhnès, Tanger, Tétouan, Kenitra, Safi, El Jadida-Azemmour et Larache Ksar El Kabîr. La distribution de l'électricité est assurée :

Soit directement par l'ONEE, dans plusieurs régions. Soit par des régies Municipales ou Intercommunales, dont le nombre croît, citant par exemple: LYDEC, REDAL, AMENDIS...

6. L'ORGANIGRAMME DE L'ONEE BRANCHE ÉLECTRIQUE:



POLE INDUSTRIEL

DIRECTION CENTRALE
TRANSPORT

DIRECTION CENTRALE
DISTRUBITION

DIRECTION CENTRALE PRODUCTION

II. CENTRALE TURBINE A GAZ MOHAMMEDIA (3X100MW):

1. Description de la centrale :

La centrale thermique turbine à gaz Mohammedia 2 (TAG M2) joue un rôle très important pour le secours du réseau national. En effet, elle constitue l'une des principales centrales de production d'énergie électrique en période de pointe d'urgence.

La centrale turbine à gaz de Mohammedia a été construite sur une superficie de 7 hectares par General Electric au cours de la période allant de 2007 jusqu'au 2009, elle est constituée de trois turbines de type 9000EA, chacune produit 100 MW.



Ce projet a été lancé dans le cadre des programmes d'urgence visant à doter le pays de puissance supplémentaire. La centrale TAG se situe en pleine zone industrielle ce qui lui permet d'avoir accès à plusieurs services dont elle peut avoir besoin, dont les suivants :

- L'existence des postes 60KV et 225KV pour l'évacuation de l'énergie produite.
- La Proximité de la SAMIR pour l'approvisionnement en combustible.

Ce projet a été lancé dans le cadre des programmes d'urgence visant à doter le pays de puissance supplémentaire. La centrale TAG se situe en pleine zone industrielle ce qui lui permet d'avoir accès à plusieurs services dont elle peut avoir besoin, dont les suivants :

- L'existence des postes 60KV et 225KV pour l'évacuation de l'énergie produite.
- La Proximité de la SAMIR pour l'approvisionnement en combustible.

2. Les caractéristiques techniques d'une turbine à gaz :

La centrale TAG2 est constituée de 3 turbines, chacune est caractérisée par:

- Trois étages.
- Une puissance de 100 MW.
- Une consommation de fuel oil de 28.5 m³/h en pleine charge.
- Une consommation de gaz oil de 31 m³/h en pleine charge.
- Une vitesse de rotation de 3000 tr/min.
- Un seul arbre d'entraînement.
- Un moteur de lancement 6.6 KV de puissance 1 MW.
- De 14 chambres de combustion.
- Un système d'eau d'injection de Nox.
- Un diesel de secours pour le jeu de barre 400V.

III. Compartiments de la central :

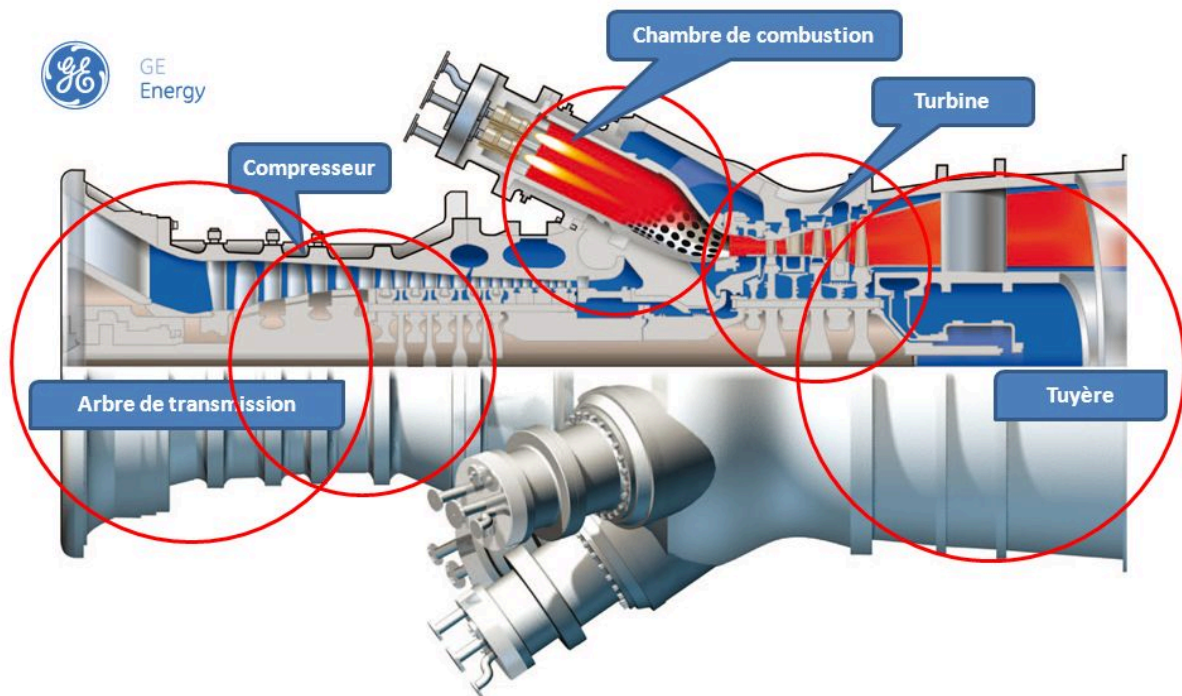
1. TURBINE

● Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz

La turbine à gaz est une installation motrice dans laquelle un mélange gazeux est comprimé par un turbocompresseur avant d'être porté à haute température de façon quasi isobare, puis détendu dans une turbine. Dans sa version la plus répandue, la turbine à gaz aspire de l'air atmosphérique qui est comprimé, puis se transforme en fumées à haute température par combustion d'un carburant dans une chambre adéquate. Ces fumées sont ensuite détendues dans la turbine, et enfin évacuées dans l'atmosphère.

Le groupe thermique tel qu'il est conçu pour la plupart des installations, se compose d'une turbine à gaz à "un seul arbre" en cycle simple prévu pour un fonctionnement continu et destiné à entraîner un alternateur. La combustion d'un mélange

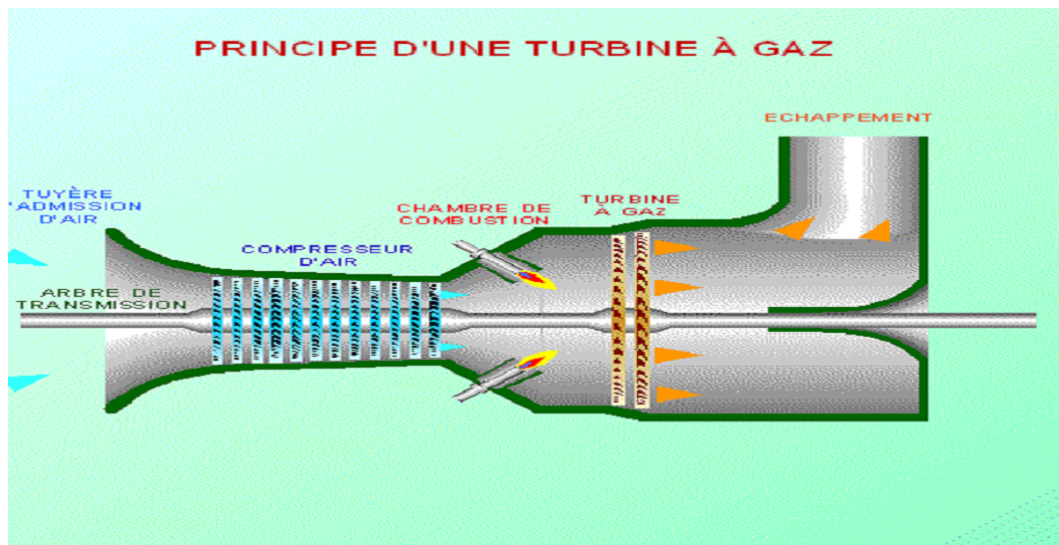
air-combustible sert à produire la puissance nécessaire à entraîner l'arbre du compresseur, certains auxiliaires et principalement l'alternateur.



La turbine se compose d'un dispositif de démarrage, des auxiliaires, d'un compresseur axial, d'un système de combustion, et d'une turbine à trois étages.

Le compresseur et la turbine sont reliés par un arbre unique, supporté par trois paliers, au démarrage, le moteur de lancement transmet son couple à la ligne d'arbre turbine à travers un convertisseur de couple et le réducteur des auxiliaires qui, comme son nom l'indique, entraîne un certain nombre d'auxiliaires (pompes, par exemple), Dès que le système de démarrage de la turbine est activé, l'air ambiant est aspiré, filtré puis comprimé dans les 17 étages du compresseur axial, l'air comprimé en provenance du compresseur pénètre dans l'espace annulaire à la périphérie des 14 chambres de combustion, d'où il s'introduit entre les enveloppes intermédiaires et les tubes de flamme, les injecteurs introduisent le combustible dans chacune des 14 chambres de combustion où il se mélange à l'air, l'allumage s'effectue grâce à deux bougies rétractables Les gaz chauds issus des chambres de combustion se propagent à travers les pièces de transition emboîtées à l'extrémité arrière de chaque tube de flamme pour traverser ensuite les trois étages turbine où ils se détendent.

Après leur passage dans les aubes du troisième étage, les gaz d'échappement traversent le diffuseur Puis ils sont envoyés dans le cadre d'échappement, La rotation résultante de l'arbre entraîne le rotor de l'alternateur et certains auxiliaires.



2. Filtre d'Admission d'air

Le système d'admission d'air, en aval du filtre à air, n'est pas décrit en détail dans ce paragraphe car il ne fait pas partie de la turbine elle-même. Ce système se compose d'une gaine, suivie de silencieux du type "à baffles parallèles", puis d'un grillage situé dans le coude d'entrée d'air en aval duquel l'air atteint le caisson d'aspiration de la turbine à gaz. Un système d'antigivrage évite la pénétration d'air glacé grâce à un échangeur de chaleur



3. Le compresseur

- Rôle

Le rôle du compresseur est d'aspirer et de comprimer l'air pour l'amener à des vitesses, pression et température optimales à l'entrée de la chambre de combustion.

Il existe deux sortes principales de compresseurs:

- les compresseurs centrifuges
- les compresseurs axiaux

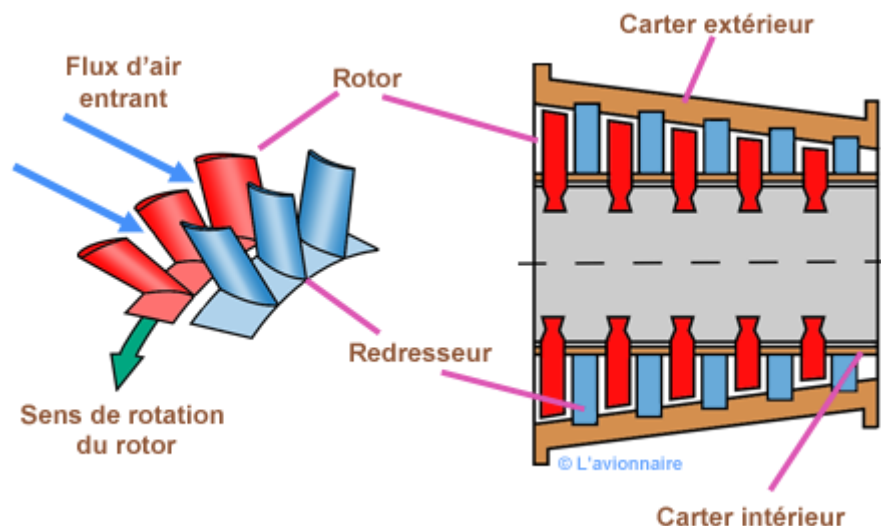
Il y a également une solution mixte : le compresseur « axial-centrifuge » mais dans notre cas on va s'intéresser au compresseur axial.

Afin d'éviter les confusions ou malentendus on désigne dans le "jargon" motoriste par

- rotor : l'organe mobile du compresseur axial
- redresseur ou stator : l'organe fixe du compresseur axial

• Description

La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps. Les corps renferment les aubes orientables, les 17 étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage (appelées E.G.V.). Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente. Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant. Le taux de compression des compresseurs est lié à sa vitesse de rotation et au nombre d'étages qu'il comporte.



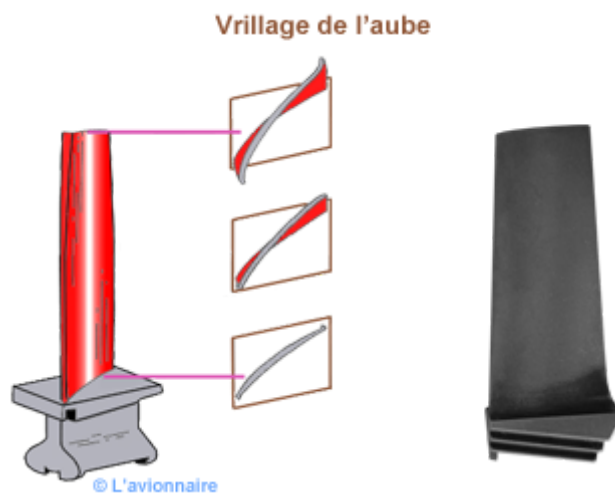
À la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres de combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le **refroidissement de la turbine, l'étanchéité** des paliers et **la commande du dispositif anti-pompage**.

• ROTOR DU COMPRESSEUR

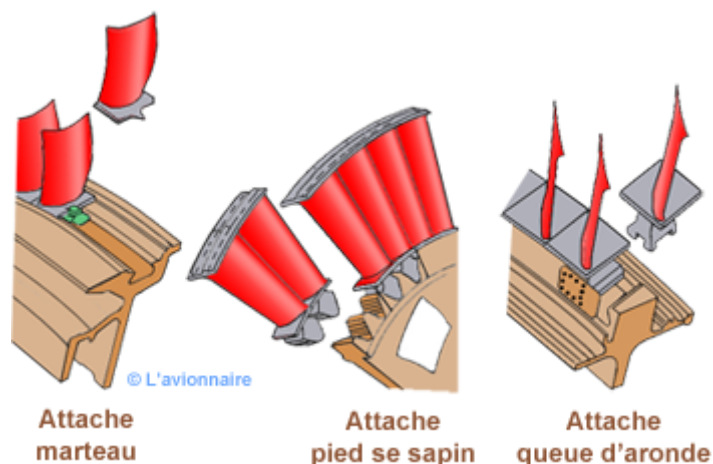
Description:

Le rotor du compresseur se compose de quinze disques, de deux arbres et de tirant son rôle est d'aspire et accélère le flux d'air en le déviant par rapport à l'axe du moteur. Les aubes du rotor du compresseur ont un profil aérodynamique étudié pour permettre une compression efficace de l'air aux grandes vitesses périphériques. Celles-ci sont fixées sur leur disque par des pieds du type "queue d'aronde". La queue d'aronde est un emboîtement très précis qui permet de maintenir chaque aube dans la position désirée par rapport au disque.

Comme une aile, une aube est composée d'un bord d'attaque d'une âme et d'un bord de fuite, et son profil est optimisé pour respecter le domaine d'utilisation de l'étage du compresseur auquel elle appartient.



Il y a différentes technologies de liaison entre le disque (roue) et l'aube suivant les constructeurs et les compresseurs, En voici quelques unes.

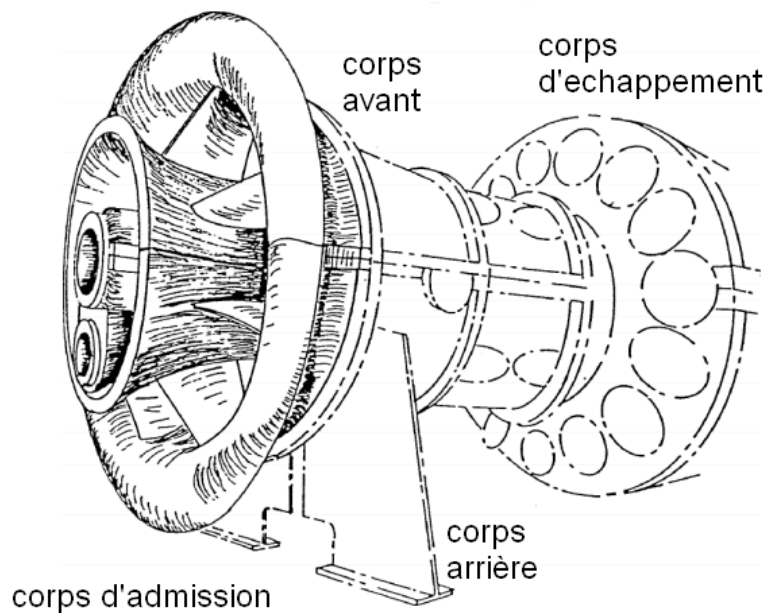


- **STATOR DU COMPRESSEUR**

Généralités:

L'ensemble de la section compresseur se compose de quatre parties principales

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

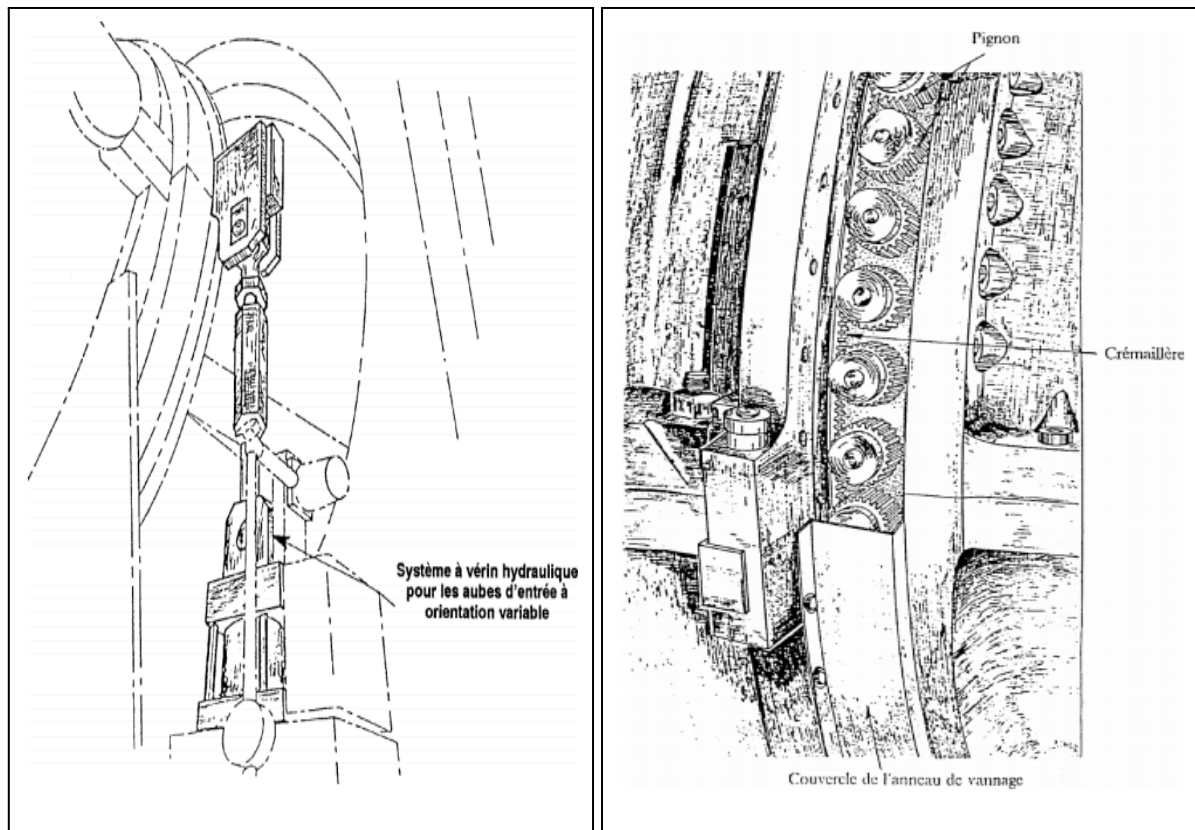


Corps d'admission:

Le corps d'admission se situe à l'extrémité avant de la turbine, Sa fonction principale est de diriger l'air de façon uniforme vers le compresseur, Le corps d'admission supporte également le palier n° 1.

Aubes orientables à l'entrée du compresseur:

Ces aubes directrices (appelées I.G.V.) sont montées dans la partie arrière du corps d'admission du compresseur, L'orientation des aubes permet de contrôler le débit d'air dans le compresseur, Le mouvement des aubes est commandé par un vérin hydraulique relié à l'anneau de vannage, Une crémaillère fixée sur cet anneau fait tourner des pignons individuels montés à l'extrémité de chaque aube mobile



Corps avant du compresseur:

Il comprend les 4 premiers étages stator du compresseur

Corps arrière du compresseur:

Il comprend les étages 5 à 10, De l'air du 5ème étage est utilisé pour le refroidissement et l'étanchéité des paliers et de l'air du 11ème étage est canalisé vers les vannes anti-pompage

Corps d'échappement:

Le corps d'échappement du compresseur est la partie arrière de la section compresseur, C'est la pièce la plus longue puisqu'il contient les sept derniers étages de compression et deux rangées d'aubes de guidage fixes

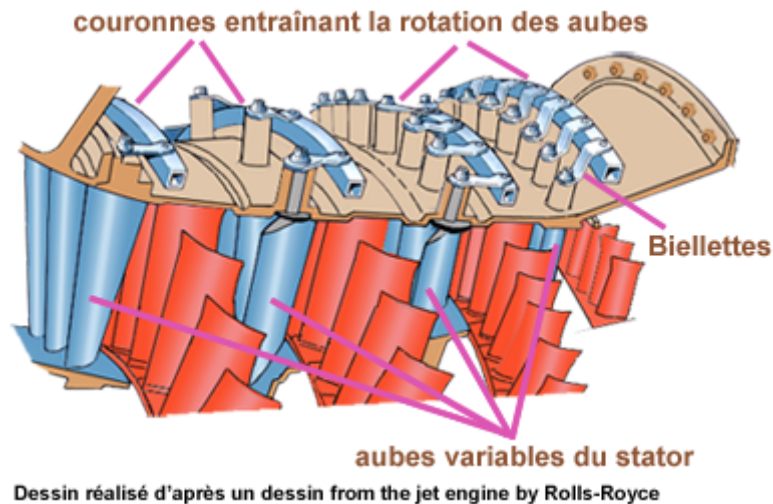
Comme les aubes du rotor, les aubes de stator ont une forme de profil d'aile, En outre, l'angle d'attaque des aubes de stator peuvent être fixes ou variables.

Ces aubes à calage variable sont portées par le carter du stator et sont réglables en position autour de leurs axes pour optimiser l'écoulement des gaz, L'angle d'attaque des aubes est contrôlé en fonction des conditions de fonctionnement par un système

d'asservissement qui commande le déplacement d'une couronne rotative, extérieure au carter et reliée auxdites aubes par des biellettes respectives.

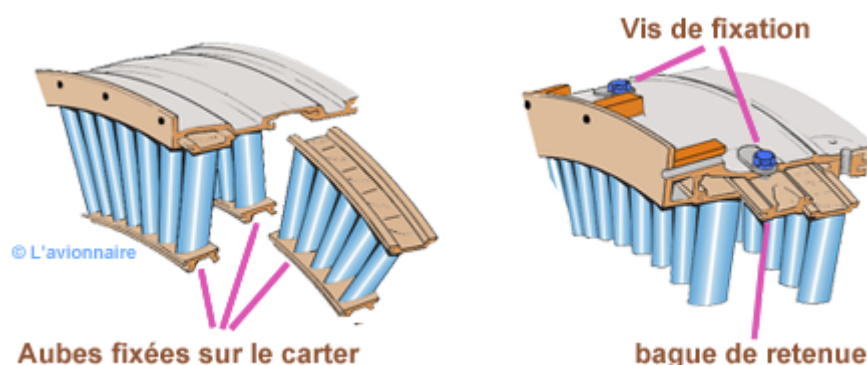
Le système d'asservissement peut être électrique, pneumatique ou hydraulique, il est commandé par l'unité de commande de carburant.

Ci-dessous en bleu les aubes du stator (redresseur) et en rouge les aubes du rotor.



Les aubes de stator peuvent être fixées directement sur le carter du compresseur ou par un anneau de retenue qui est fixé sur le carter de compresseur. La plupart des aubes de stator sont fixées par groupes (5 à 6 aubes) avec un pied en queue d'aronde.

Ci-dessous à gauche les aubes du redresseur (stator) sont fixées directement sur le carter de compresseur, à droite, les aubes sont fixées au carter par une bague de retenue.



4. CHAMBRES DE COMBUSTION

● GENERALITES

La chambre de combustion est destinée à chauffer l'air qui sort du dernier étage du compresseur **HP** afin de lui apporter l'énergie nécessaire à faire mouvoir la ou les

turbines et à donner suffisamment de poussée à la tuyère. Cet apport de chaleur se fait par la combustion de l'oxygène de l'air avec un carburant, gaz ou huile au démarrage et à l'arrêt et du fuel en fonctionnement nominal. Elle doit être la plus complète possible et la répartition des températures dans les gaz la plus homogène possible.

La chambre de combustion située entre le compresseur **BP** et la turbine **HP** est constituée d'un **tube à flamme**. Celui-ci est enfermé dans un carter, également de forme torique.

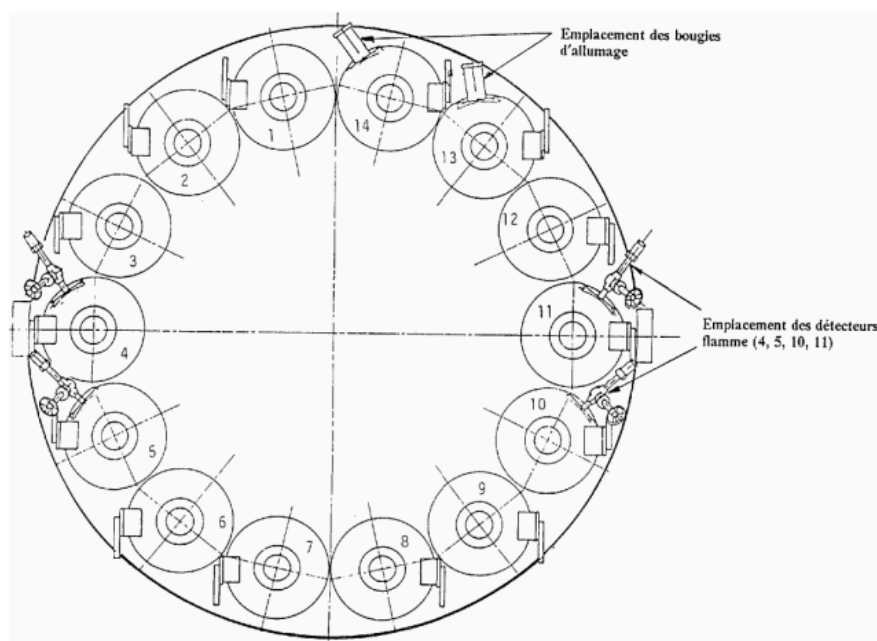
● Principe de fonctionnement

Le système de combustion est du type "à flux inversé" et se compose de 14 chambres de combustion équipées des composants suivants :

Tubes de flamme, enveloppes intermédiaires (flow-sleeve), pièces de transition et tubes d'interconnexion. Bougies, détecteurs de flamme et injecteurs de combustible font également partie du système. Les gaz chauds issus de la combustion dans les chambres servent à entraîner la turbine.

Les chambres sont numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en partant du point haut de la turbine et en regardant vers l'échappement. La chambre supérieure porte le numéro 14.

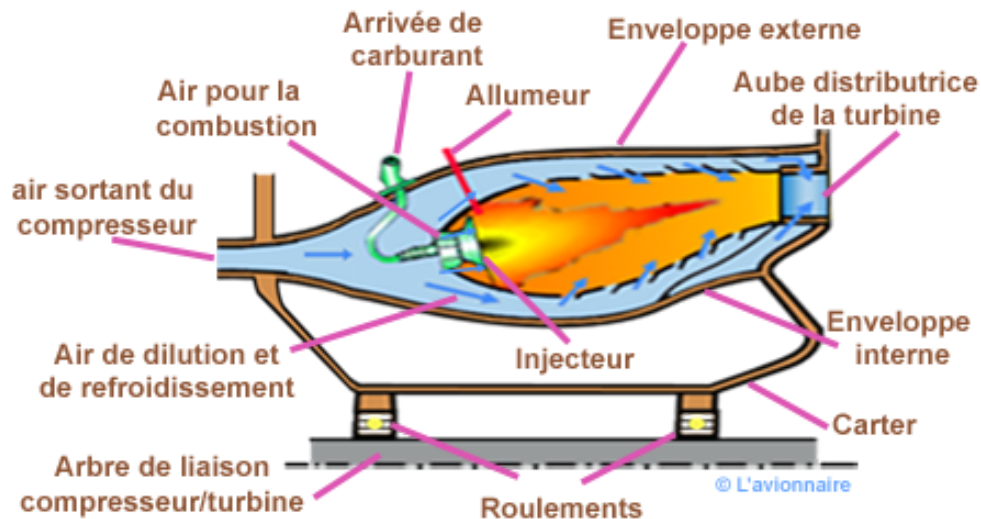
Les 14 chambres de combustion sont reliées entre elles par des tubes d'interconnexion dont le but est de propager la flamme aux autres chambres non encore allumées, à partir de l'une des deux chambres équipées de bougie. Les emplacements des bougies et des détecteurs de flamme sont représentés sur la figure suivante



Il faut noter que le principe de fonctionnement des chambres de combustion varie d'un constructeur à un autre et même d'une turbine à une autre chez le même constructeur. Mais le principe général de fonctionnement reste relativement identique.

L'air qui pénètre dans la chambre de combustion se répartit en plusieurs circuits. Une partie rentre directement dans le tube à flammes et dans l'injecteur pour contribuer à la combustion. Une autre partie contourne le tube à flammes et sert à la fois pour refroidir les parois et pour diluer et mélanger l'écoulement de l'air dans le foyer

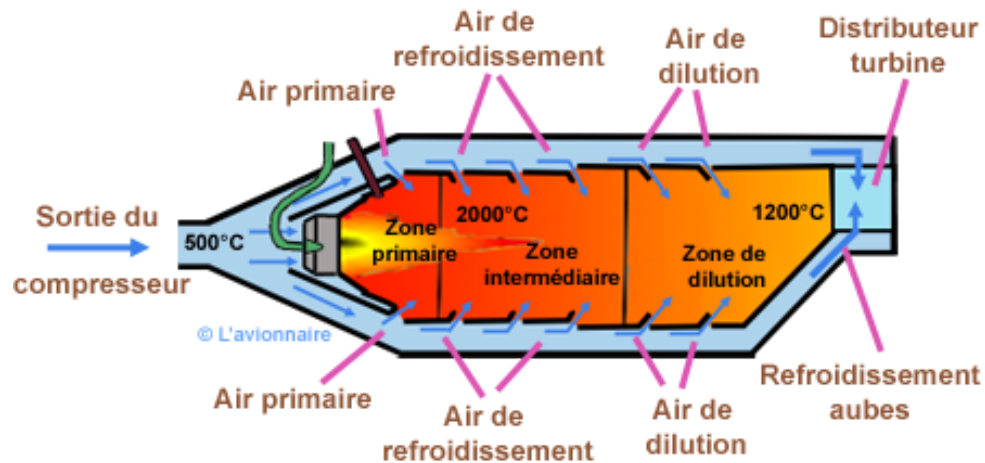
A la mise en rotation de la turbine le mélange de l'air provenant du compresseur et du carburant injecté par la pompe est enflammé par une bougie (allumeur). Après avoir atteint son régime d'autonomie l'allumage de la bougie est coupé et la flamme s'auto-entretient.



On peut considérer qu'une chambre de combustion peut être partagée en trois zones : une zone primaire, une zone secondaire et une zone de dilution.

La température varie aux alentours de 2000°C dans la zone du primaire pour diminuer aux environs de 1200°C à la sortie de la chambre.

Ces températures élevées nécessitent un refroidissement des parois de la chambre (voir ci-dessus Principe de refroidissement). Celui-ci est obtenu par de l'air sortant du compresseur à environ 500°C



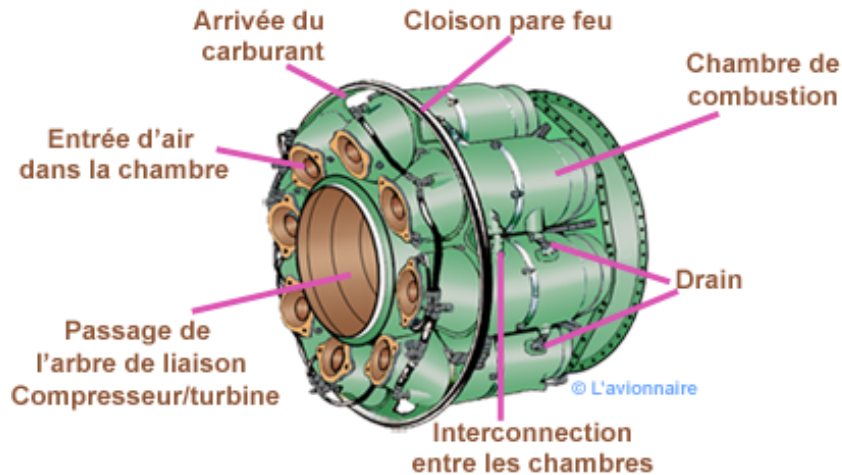
Les injecteurs sont conçus pour fournir un débit de carburant suffisamment pulvérisé pour obtenir un mélange optimal avec l'air. Un injecteur est composé de nombreux éléments pour l'arrivée de l'air et du carburant. Une partie de l'air sert à maintenir la flamme à une distance raisonnable de l'injecteur, une autre partie passe par des vrilles afin de créer un tourbillon pour optimiser le mélange air/carburant et le reste de l'air passe par des trous pour homogénéiser le mélange air/carburant à l'entrée du foyer et créer une re-circulation des gaz brûlés et une stabilisation de la flamme.

Deux types de chambres de combustion sont principalement rencontrées dans le milieu aéronautique pour les turbines à gaz : les chambres séparées réparties autour de l'arbre de liaison compresseur/turbine et les chambres annulaires à l'intérieur desquelles passe l'arbre de liaison compresseur/turbine dans notre cas on va s'intéresser à ce premier type

● Chambres séparées ou tubulaires

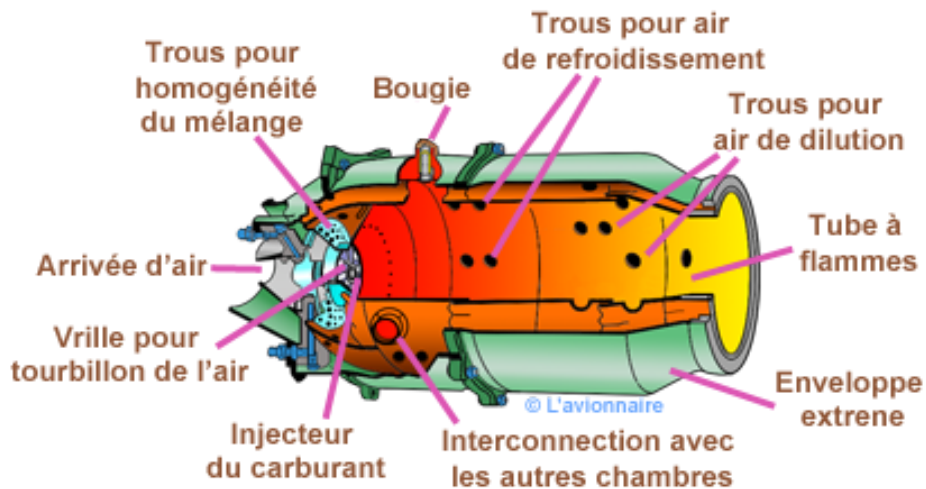
Dans les chambres séparées chaque chambre reçoit sa propre alimentation en carburant et en air. L'injecteur est généralement situé au centre de la veine d'air et l'injection s'effectue dans le sens de l'écoulement principal. Le flux total étant l'addition du flux de chaque chambre.

Sur certains types de moteurs les chambres sont interconnectées entre elles.



Dessin réalisé d'après un dessin from the jet engine by Rolls-Royce

Les vannes vrilles ou turbulateur situées autour de l'injecteur créent des tourbillons (swirl) de l'air permettant d'optimiser le mélange air/carburant, pendant qu'une multitude de trous localisés dans le chapeau et dans le tube lui destiné au refroidissement afin de limiter la température des gaz chauds à l'entrée de la 1ère directrice, Les 14 tubes de flamme sont identiques.



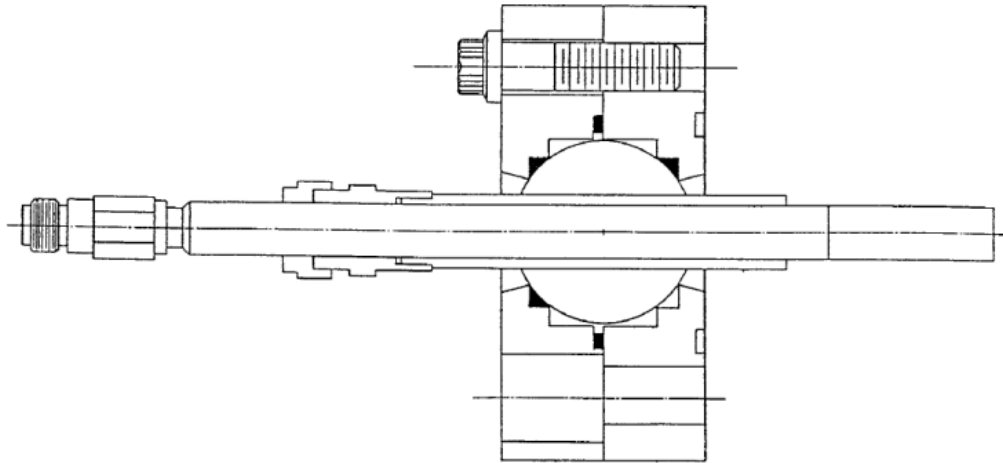
Dessin réalisé d'après un dessin from the jet engine by Rolls-Royce

● Bougies d'allumage :

La combustion est amorcée par l'étincelle à haute tension de deux bougies à électrode rétractable installées dans des chambres de combustion adjacentes (n° 13 et 14). Ces bougies maintenues sorties par des ressorts sont alimentées par des transformateurs d'allumage. Lorsque le compresseur axial délivre une pression suffisante, les électrodes s'escamotent. Au moment de l'allumage, l'étincelle de l'une ou l'autre de ces bougies allume les gaz de combustion dans l'une ou l'autre des chambres. Les autres chambres sont allumées par propagation de la flamme d'une chambre à l'autre par l'intermédiaire des tubes d'interconnexion reliant entre elles les zones de réaction des différentes chambres. Lors de la montée en vitesse de la turbine, la pression dans les chambres

augmente et agit sur les pistons des bougies afin de retirer les électrodes de la zone de réaction.

BOUGIE D'ALLUMAGE (TYPIQUE)

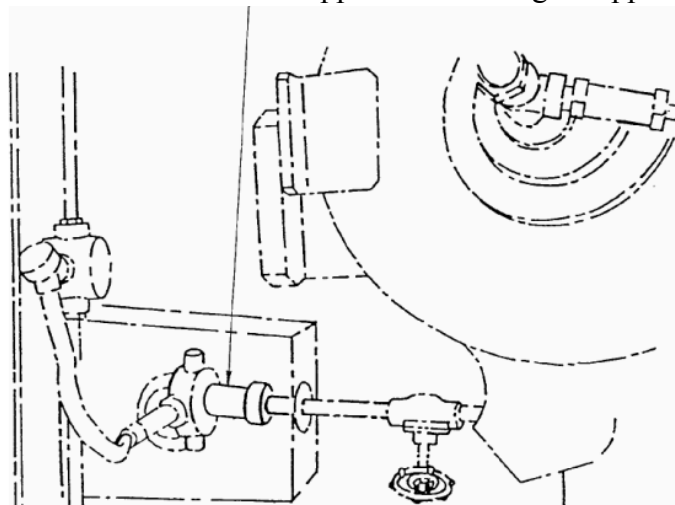


• Détecteurs de flamme :

Dès l'allumage, il est indispensable que l'indication de la présence (ou de l'absence) de flamme soit transmise au système de contrôle. Dans ce but, un système de surveillance de flamme est monté dans quatre chambres de combustion. Le détecteur de flamme à ultra-violet se compose d'un capteur de flamme contenant un gaz. Le gaz du détecteur est sensible à la présence du rayonnement ultra-violet, émis par toute flamme d'hydrocarbure. Une tension continue envoyée par l'amplificateur est appliquée aux bornes du détecteur. Si une flamme est présente, l'ionisation du gaz à l'intérieur du détecteur entraîne la conduction du circuit commandant l'amplificateur, et fournit un signal approprié indiquant la présence de flamme.

De même, l'absence de flamme entraîne l'apparition d'un signal opposé signalant cette

condition.



• INJECTEUR DE COMBUSTIBLE

Chaque chambre de combustion est équipée d'un injecteur de combustible qui pulvérise une quantité mesurée de combustible à l'intérieur de la chambre. Les injecteurs de combustible sont utilisés dans les turbines à gaz pour brûler le gaz. L'injecteur injecte le combustible gazeux directement dans chacune des chambres de combustion de façon à améliorer l'homogénéité, la rapidité et d'avoir une combustion complète. Le combustible entre dans la structure des injecteurs en passant à travers la bride de connexion et est pulvérisé par des orifices calibrés situés à la fin des injecteurs.

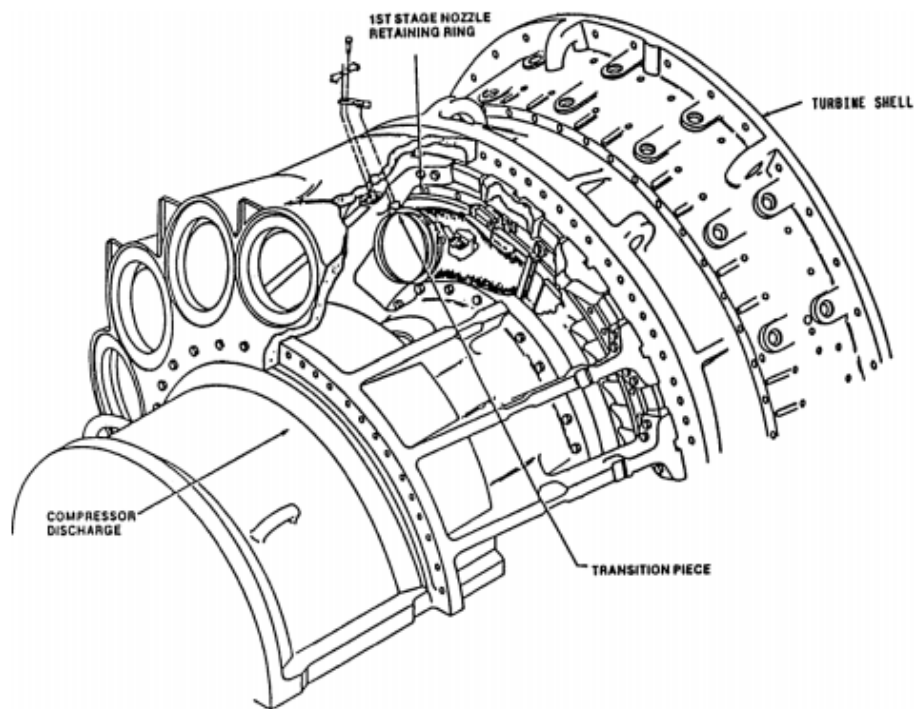
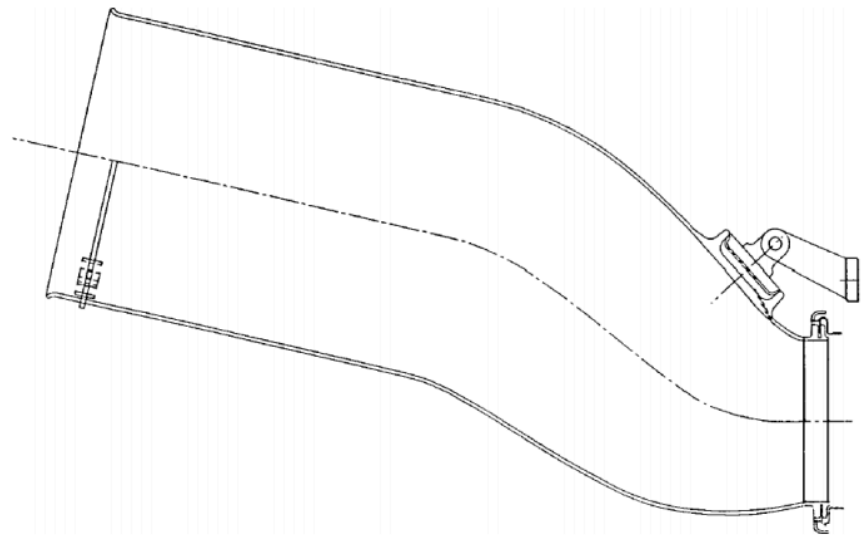
- **Tube à flammes**

Ci-dessous la photographie d'un tube à flammes. Avec ses différents trous pour faire pénétrer l'air à l'intérieur du tube. Certains trous servent à refroidir la paroi du tube et d'autres servent à la dilution pour mélanger correctement l'écoulement de l'air.



- **PIECES DE TRANSITION**

Les pièces de transition permettent d'acheminer les gaz chauds en provenance des tubes de flamme vers la directrice du premier étage de la turbine. La zone de première directrice est donc divisée en 14 zones égales qui reçoivent les gaz chauds. Les pièces de transition sont étanches à la fois au niveau des cloisons internes et externes du côté directrice de façon à réduire les fuites de l'air en provenance du compresseur au niveau de la directrice.



5. La turbine

● GENERALITES

Rôle

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

Comme pour les compresseurs il existe deux sortes de turbines:

- les turbines **centripèdes** très peu utilisées et uniquement pour les réacteurs de faibles puissances.
- les turbines axiales solution utilisée sur la majorité des turboréacteurs et turbopulseurs et c'est ce dernier qui va nous intéresser

Principe de fonctionnement

Sortant de la chambre de combustion les gaz vont se détendre dans le distributeur (stator). Celui-ci va accélérer l'écoulement en le déviant. Sous l'effet de cet écoulement le rotor ayant aussi des profils déviateurs tourne.

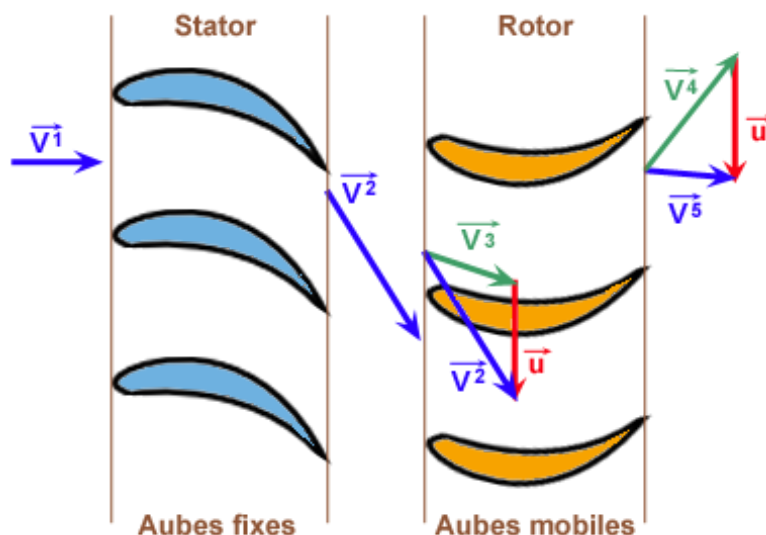
La vitesse **V1** à la sortie de la chambre de combustion est déviée et accélérée dans les aubes du distributeur (stator) pour devenir à la sortie **V2**.

A l'entrée du rotor la **vitesse absolue d'entrée V2** peut être décomposée en **V3 vitesse relative d'entrée** et **u vitesse de rotation**.

A la sortie du rotor la **vitesse absolue de sortie V5** peut aussi se décomposer en **V4 vitesse relative de sortie** et **u vitesse de rotation**.

Il y a accélération de la vitesse dans le distributeur (aubage fixe) et ralentissement dans le rotor (aubage mobile).

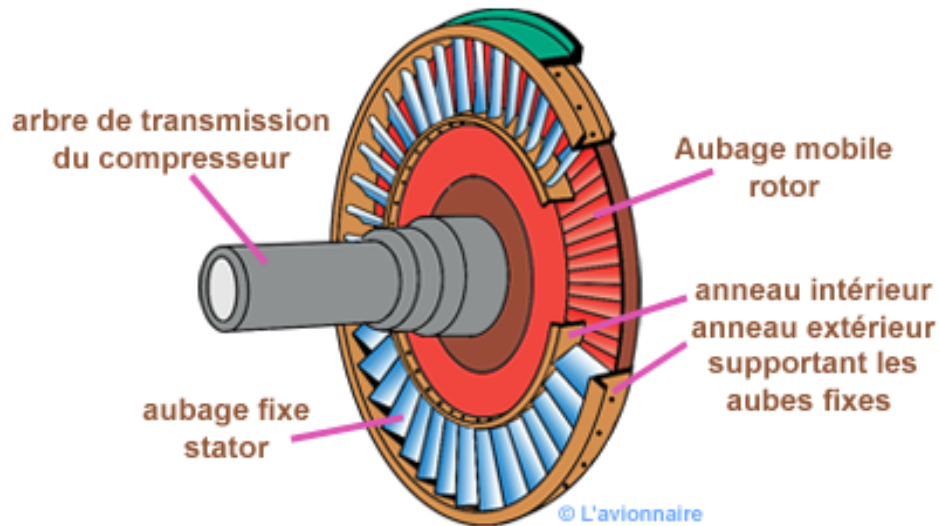
Une partie de l'énergie cinétique est donc transformée en énergie mécanique pour faire tourner le rotor.



Composition

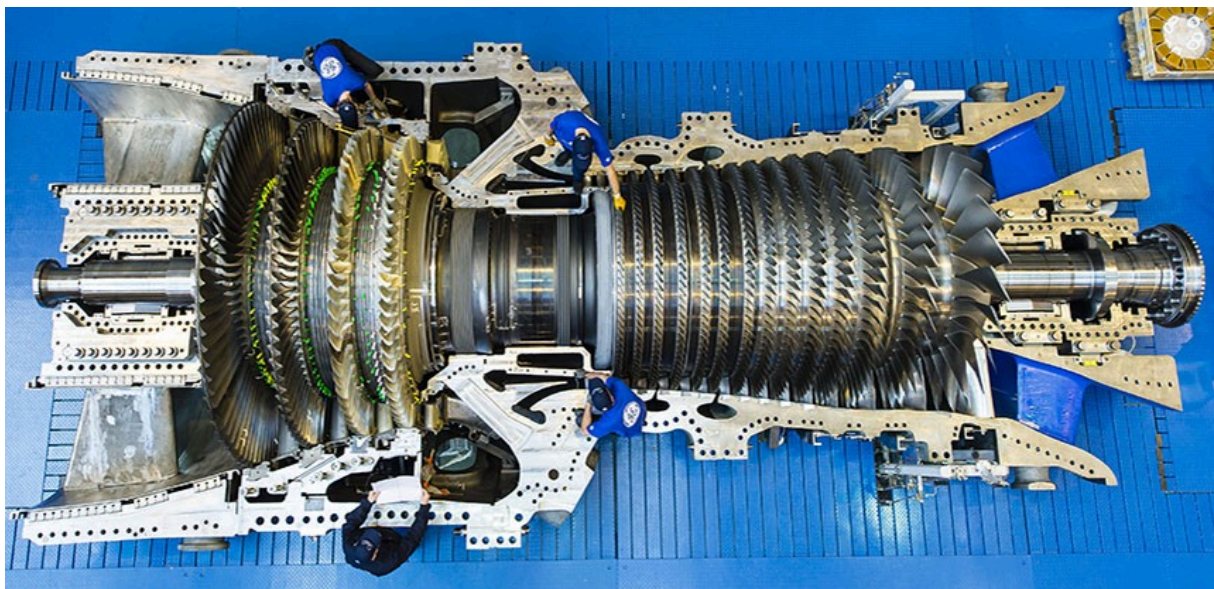
Chaque étage turbine se compose d'une directrice et d'une roue avec son aubage. La section turbine comprend le rotor, le corps, les directrices, les segments de protection, le cadre d'échappement et le diffuseur d'échappement. Le palier n° 3 est situé au centre du cadre d'échappement

Un étage de turbine est constitué d'un aubage fixe distributeur ou stator, suivi d'un aubage mobile ou rotor



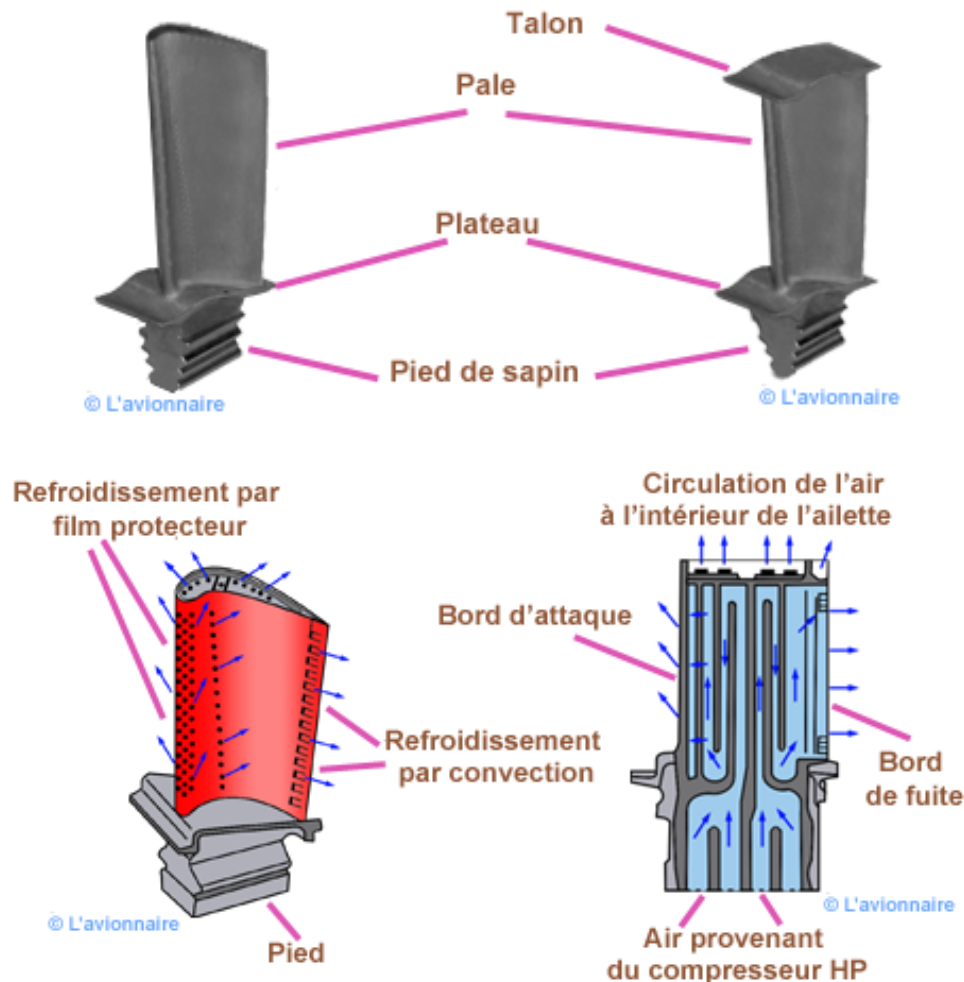
• Le rotor

L'ensemble du rotor turbine est constitué des 2 arbres d'extrémité AVANT et ARRIERE des 3 disques avec leurs aubes formant les roues turbine. La dimension des aubes turbine augmente en longueur du 1er au 3ème étage. En raison de la réduction de pression engendrée par la détente dans chaque étage, une zone annulaire plus importante (divergent) est nécessaire pour permettre l'écoulement des gaz ; d'où la dimension croissante des aubes.



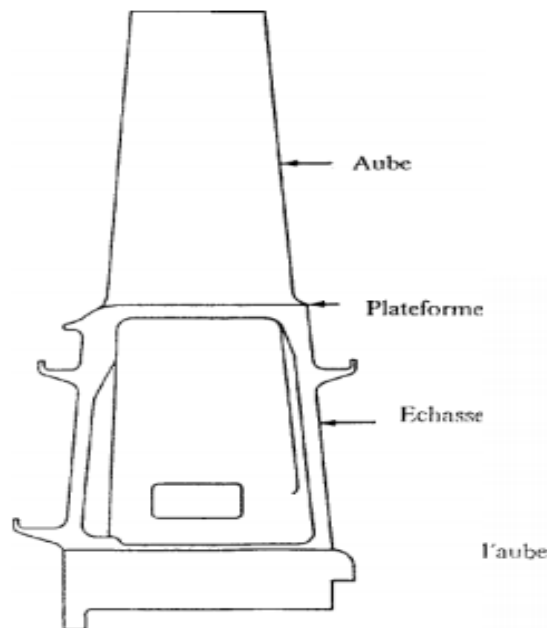
Les aubes du premier étage représentent le premier ensemble mobile recevant directement les gaz chauds en provenance de la première directrice. Chaque aube du premier étage est dotée d'une série de canaux internes et longitudinaux destinés

au refroidissement. L'air pénètre dans chaque aube du premier étage à travers une cavité entre la roue et le pied de l'aube du type "pied de sapin". L'air s'écoule à travers une série d'orifices de refroidissement répartis longitudinalement sur les aubes, et s'échappe de ces orifices au sommet de chaque aube.



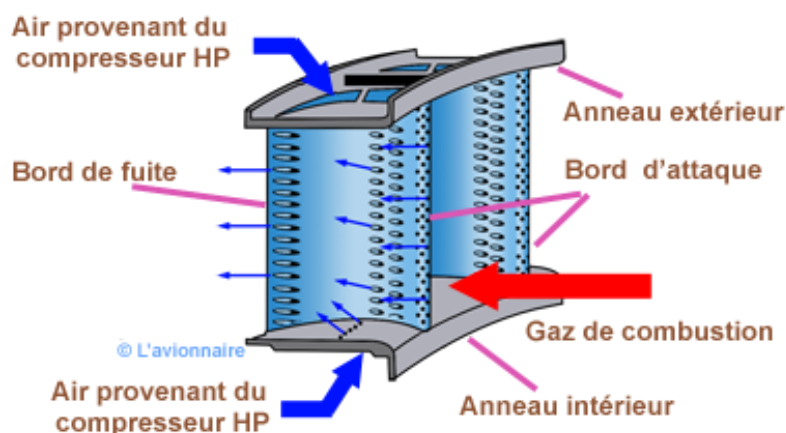
Les aubes du 2ème étage sont également refroidies par de l'air circulant à travers des canaux longitudinaux. Mais l'échasse de ces aubes (partie située entre le pied d'aube et son profil) ne nécessite pas de refroidissement. L'extrémité de chaque aube est équipée d'un segment utilisés pour amortir ou minimiser les vibrations lors d'un démarrage de la machine à froid.

Les aubes du 3ème étage ne sont pas refroidies par de l'air. Les extrémités de ces aubes sont pourvues de segments de forme identique à ceux qui équipent les aubes du 2ème étage et sont utilisés dans le même but.



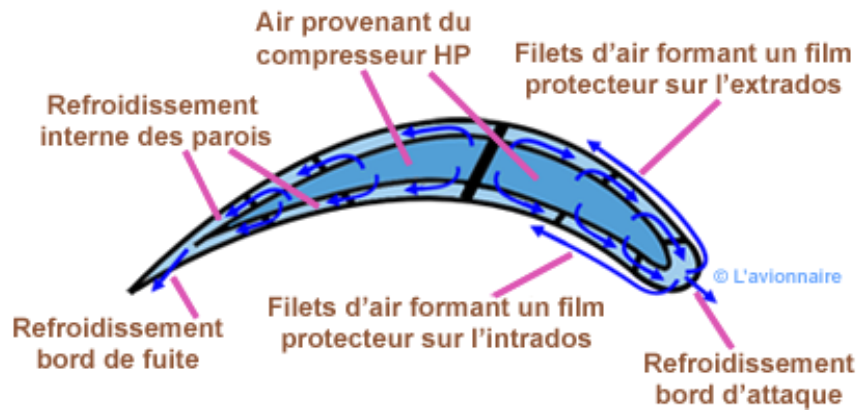
• Le stator ou distributeur

Le distributeur est constitué par des aubes directrices maintenues par un anneau intérieur et un anneau extérieur (voir dessin ci-dessus) ou par deux demi-carters. Son rôle est de diriger l'écoulement des gaz sortant de la chambre de combustion sur les aubes de rotor de la turbine. Pour les turbines à plusieurs étages, chaque distributeur est intercalé entre les rotors de la turbine pour "redresser" les filets d'air. Ces aubes directrices étant exposées aux gaz chauds de combustion, il est donc nécessaire de les refroidir pour atténuer les contraintes thermiques. L'air provenant du compresseur **HP** (environ 500°) pénètre à l'intérieur de l'aube puis s'échappe à travers des trous au niveau du bord d'attaque et du bord de fuite



L'aube directrice est pourvue d'une cloison interne qui épouse sa forme. Des trous répartis sur cette cloison vont permettre à l'air de refroidir la paroi interne de l'aube. Après avoir refroidi les surfaces internes, l'air s'échappe par des trous sur le bord

d'attaque afin de le refroidir. Une rangée de trous disposée de chaque côté du bord d'attaque permet de refroidir l'intrados et l'extrados par recouvrement de film. Une autre rangée de trous disposée sur le bord de fuite en assure son refroidissement par convection.



6. CADRE D'ÉCHAPPEMENT ET DIFFUSEUR

Le diffuseur d'échappement, situé à l'extrémité arrière extrême de la turbine à gaz, se boulonne sur et est soutenu par le cadre d'échappement. Le cadre d'échappement est un ensemble fabriqué se composant d'un cylindre interne et d'un cylindre divergent externe qui s'évase à l'extrémité sortie à angle droit par rapport à l'axe de la turbine. A l'extrémité sortie du diffuseur, entre les deux cylindres, on a cinq aubes rotatives montées sur la courbure. Les gaz qui s'échappent du 3ème étage de turbine pénètrent le diffuseur où la vitesse est réduite par diffusion et où la pression est récupérée. A la sortie du diffuseur, les aubes rotatives dirigent le gaz dans le caisson d'échappement.

7. SYSTEME D'ÉCHAPPEMENT DES GAZ BRULÉS

Au niveau de la section échappement, les gaz utilisés pour entraîner la turbine sont réacheminés pour être soit rejetés dans l'atmosphère, soit dirigés vers une chaudière de récupération. Le système d'échappement, en aval du caisson d'échappement n'est pas traité en détail dans ce chapitre puisqu'il ne fait pas partie de la turbine elle-même.

8. L'alternateur

L'alternateur, couplé au réseau, assure la transformation de puissance mécanique fournie par une turbine d'entraînement en puissance électrique active et la fourniture, ou l'absorption de puissance réactive.

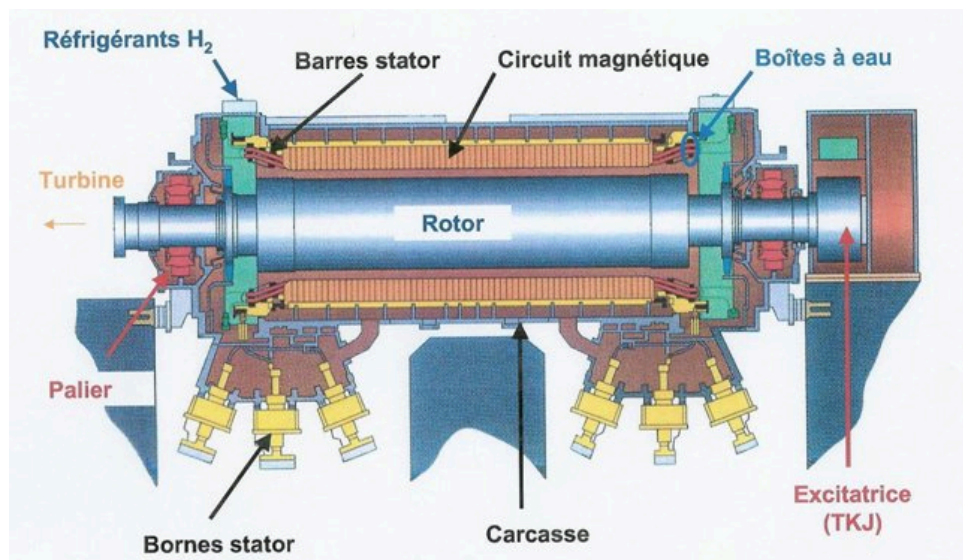
• Description du système

La présente notice concerne un alternateur d'une puissance de 149 250 kVA, de tension nominale 14,5 kV, tournant à une vitesse de 3000 tr/min, réfrigéré par circulation d'air en circuit fermé, dont le refroidissement est effectué par eau.

L'évacuation d'énergie est réalisée par deux voies triphasées. L'excitation est composée d'un système d'alimentation et de redressement tournant fixé à l'extrémité du rotor.

L'ensemble alternateur est composé principalement du stator, du rotor, de l'excitateur, des réfrigérants et des paliers. L'intérieur du socle est subdivisé afin de permettre une bonne répartition de la circulation de l'air de refroidissement dans la partie inférieure de l'alternateur.

Le rotor est composé principalement de l'arbre monobloc, de l'enroulement inducteur, des frettes et des ventilateurs. La partie centrale de l'arbre, formant le corps du rotor, reçoit, après usinage et fraisage, l'enroulement inducteur, et suivant le type, les enroulements amortisseurs dont les extrémités sont calées par les frettes. Plus loin, en partant du centre, on trouve les ventilateurs et les parties portantes de l'arbre.



Le dimensionnement du rotor est déterminé de façon que la 1ère vitesse critique soit nettement en dessous de la vitesse synchrone et la 2ème vitesse critique nettement au dessus de la survitesse.

Les frettes sont les pièces de l'alternateur qui subissent les plus fortes contraintes mécaniques ; de plus, elles sont chargées de manière asymétrique étant donné la

répartition de l'enroulement d'excitation, c'est pourquoi elles sont réalisées à partir de pièces forgées en acier amagnétique de caractéristiques mécaniques élevées obtenues par écrouissage résultant d'une expansion hydraulique à froid.

Pour détecter un défaut de masse rotor un système composé d'un balai commandé par un solénoïde vient au contact d'une bague placée à l'intérieur de l'excitateur (côté opposé à l'accouplement).

- **Fonctionnement du système**

L'alternateur est un générateur à courant alternatif, refroidi à l'air, entraîné par une turbine à gaz. Vu de la turbine son sens de rotation est inverse à celui des aiguilles d'une montre.

L'extrémité du rotor de l'alternateur côté turbine est accouplée de façon rigide à celle-ci et supportée par un palier. L'extrémité du rotor côté excitation est supportée par un palier.

L'alternateur est dimensionné de telle sorte que les contraintes demeurent dans les limites raisonnables lors du fonctionnement en survitesse à 120 %.

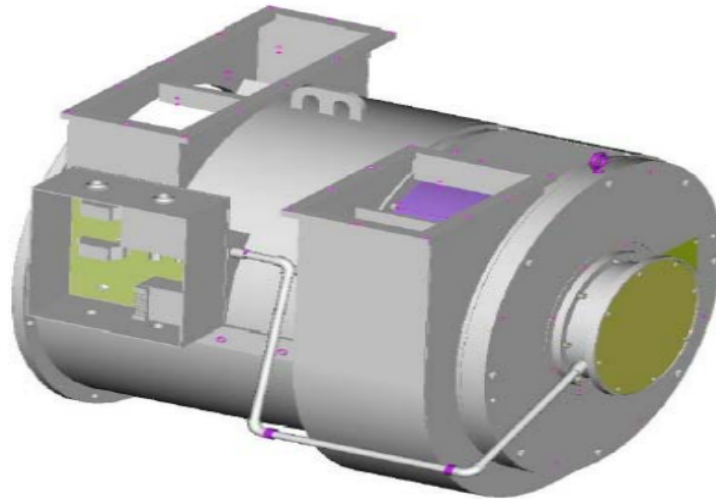
L'alternateur peut sans dommage fonctionner à toutes les charges et supporter des variations soudaines de charges, quelle que soit leur importance, entre ses limites extrêmes de capacité. L'ouverture soudaine du circuit extérieur à l'alternateur ne provoque pas de dommage à celui-ci.

La construction de l'alternateur est telle qu'il ne peut être endommagé par des défauts biphasés ou triphasés dus à des courts-circuits extérieurs aux enroulements du stator si la durée de ces défauts est suffisamment courte pour ne pas provoquer d'échauffement préjudiciable.

9. l'excitateur

- **Description du système**

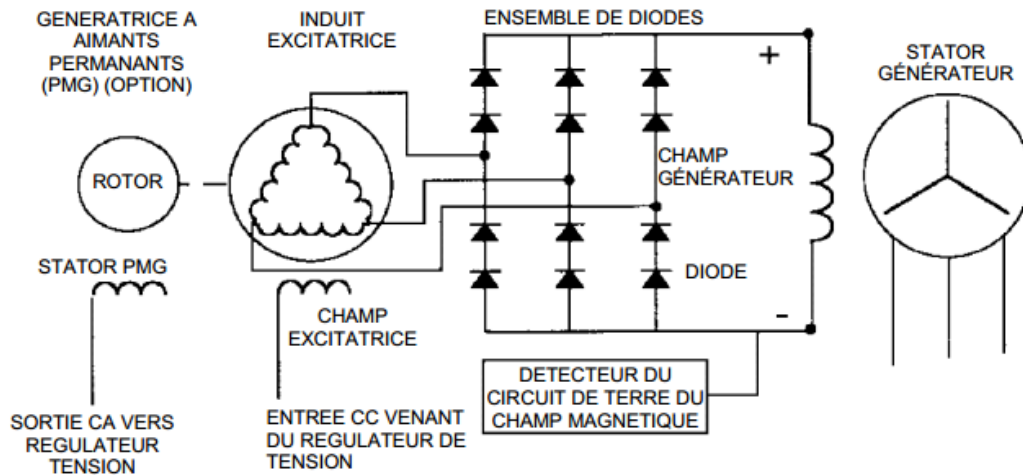
L'inducteur fixe (d'où l'appellation d'alternateur inversé) comporte 10 pôles dont 5 sont bobinés et excités en série. Les pôles et le circuit magnétique sont feuilletés pour réduire la constante de temps de l'excitateur.



Le nombre de 10 pôles conduit à une fréquence de 250 Hz, ce qui autorise un dimensionnement réduit du circuit magnétique tout en maintenant les pertes à un niveau parfaitement admissible.

L'induit est tournant. Son enroulement comporte sept phases et son courant est redressé par des diodes en PONT DE GRAETZ à 7 phases, fixées au tambour porte induit.

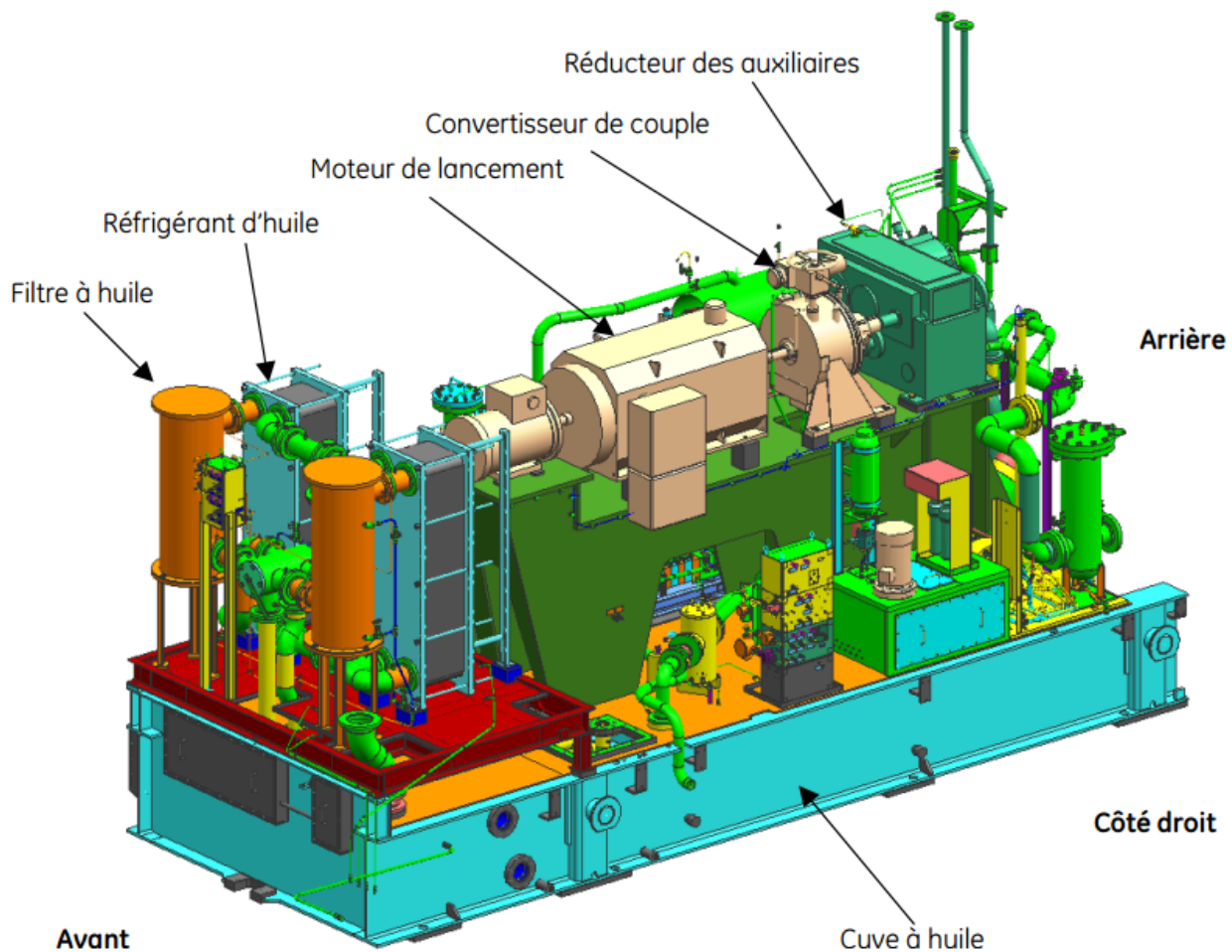
Les diodes au silicium sont très largement surdimensionnées, ce qui permet de supprimer les fusibles de protection et les inconvénients d'exploitation liés à ces fusibles (fusion intempestive).



10. SYSTEMES AUXILIAIRES DE LA TURBINE A GAZ

Les fonctions de démarrage, lubrification, étanchéité, refroidissement, élimination de brouillard d'huile atomisation du carburant, repartitions du carburant sur les chambres de combustion, etc. nécessaires au Fonctionnement de la turbine à gaz sont des fonctions auxiliaires.

Ces auxiliaires sont installés suivant deux configurations complémentaires, Regroupés dans un même compartiment appelé compartiment auxiliaire et ayant une Liaison mécanique avec l'arbre de la turbine, et, Situés à proximité de la turbine, sans liaison mécanique avec l'arbre turbine .



● Système de lancement:

Une turbine de démarrage fait lancer la machine jusqu'à 22% de la vitesse nominale en l'espace d'une minute, elle se stabilise à 20% pendant deux minutes. Le temps d'effectuer le balayage et l'alimentation de notre circuit de gaz, cette phase dure jusqu'à 6 minutes. La température T_{max} à l'échappement est légèrement augmentée, le VCE est égale à zéro, tandis que les aubes de la directrice présente une ouverture de 15° , il convient que les conditions soient vérifiées et la lampe pré allumage soit allumée, dans ce cas on pourra appliquer le signal de démarrage de la turbine, c'est le moment où les bougies d'allumage produisent des étincelles et que le VCE atteint simultanément la valeur d'après chauffage et il reste pendant une minute. A ce moment l'accélération commence, le VCE est appelé à monter selon une rampe préétablie à la température et la vitesse de la turbine relevée jusqu'à 50% de son allure, les aubes de la directrice demeurent en position d'ouverture maximale dans l'intervalle entre 50 et 60% de la vitesse nominale, l'arbre dégage la turbine de lancement et la turbine à gaz entre dans la

phase d'auto maintien ainsi, le VCE et la température diminueront tandis que la vitesse augmente, ainsi la séquence de l'arbre à 50% de la vitesse nominale.

Moteur de lancement



- **Réducteur:**

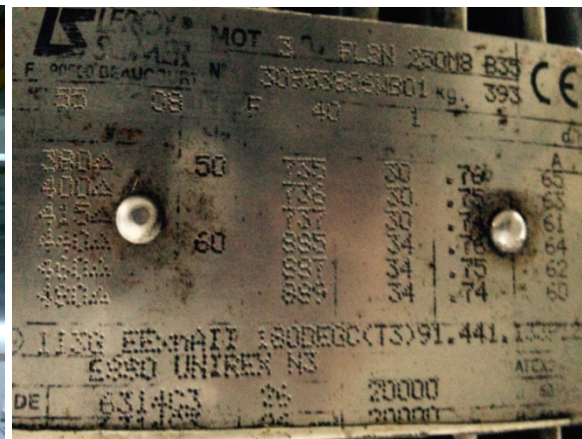
Accouplé directement au rotor de la turbine et il est utilisé pour entraîner les divers auxiliaires, il est placé sur le socle des auxiliaires et comprend le train d'engrenages nécessaire, à permettre une réduction de vitesses désirées. Les accessoires entraînés par le réducteur auxiliaire, sont la pompe hydraulique principale ainsi que la pompe à huile de graissage principale.

- **Vireur hydraulique:**

Le vireur hydraulique est monté sur le sommet de réducteur des auxiliaires, il est utilisé pour faire tourner le rotor de la turbine pendant le refroidissement à l'arrêt, pour virer la turbine si nécessaire pour faire une inspection et d'aider le dispositif de démarrage dans le décollement de la turbine.

Le vireur comprend un cylindre avec piston, un engrenage à pignon et embrayage à renvoie. Lorsque le piston du cylindre est entraîné dans la course motrice, la turbine est programmée dans le pignon à travers l'embrayage à une voie, ce qui permet au pignon de tourner sans programmer la turbine.

Moteur de virage



- **Système de combustible gazeux:**

Le système de combustible liquide est étudié pour envoyer le combustible liquide aux chambres de combustion de la turbine à la pression et aux débits appropriés pour satisfaire à toutes les exigences de lancement, accélération et montée en puissance de la turbine.

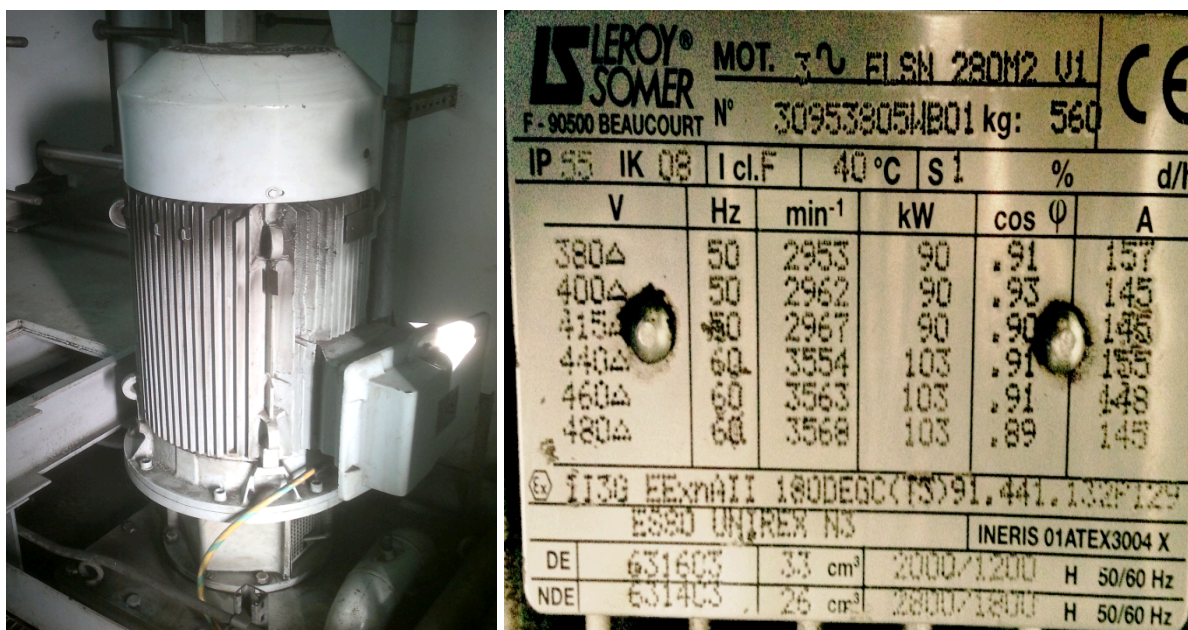
L'élément principal du système de combustible liquide est l'ensemble vanne de commande et arrêt/détente gaz situé dans la zone accessoire, Avec cette vanne il y a aussi les servo vannes de commande, les manomètres et la tuyauterie de distribution aux injecteurs de combustible.

- **Système d'huile de graissage:**

La turbine à gaz est graissée par un système sous pression en boucle fermée, comprenant un bac à huile, des pompes, des échangeurs de chaleur (réfrigérant huile),

filtres, vannes et des dispositifs divers qui contrôlent et protègent le système. L'huile de graissage venant du système circule jusqu'à atteindre les paliers principaux de la turbine, les accessoires et les équipements de charge entraînés. L'huile pour le système d'alimentation hydraulique, le système huile de commande et le système des dispositifs de lancement vient aussi de cette source.

Pompe huile auxiliaire



- **Pompes d'huile de graissage :**

Trois pompes d'huile de graissage sont utilisées dans le système d'huile de graissage, la pompe principale montée et entraînée par le réducteur auxiliaire, la pompe auxiliaire entraînée par un moteur en C.A vertical et la pompe de secours entraînée par un moteur en C.C vertical. Les pompes auxiliaire et de secours sont montées sur le couvercle du bac à huile.

- **Système d'alimentation hydraulique:**

Le fluide hydraulique nécessaire pour le fonctionnement des composants de commande du système de combustible de la turbine à gaz, est fourni par le système d'alimentation hydraulique. Ce fluide fournit les moyens pour l'ouverture ou la remise à

L'air est utilisé pour refroidir les différentes parties de la section de la turbine, pressuriser les joints d'huile des paliers dans la turbine à gaz. L'air est obtenu du compresseur axial et de l'air d'environnement où la turbine à gaz se trouve. Les parties de la section de la turbine qui sont refroidies à l'air sont:

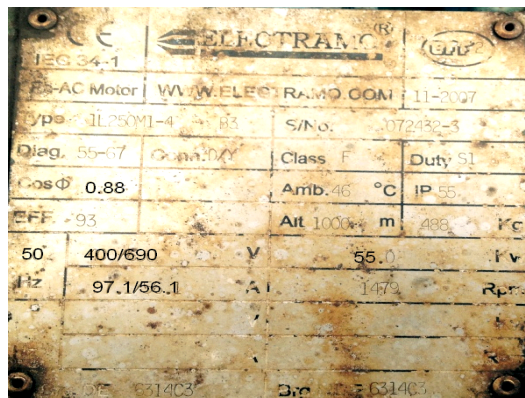
- ❖ Roues de la turbine;
- ❖ La directrice du premier étage;
- ❖ Le carter du rotor de la turbine;
- ❖ Les entretoises de support du cadre d'échappement et déflecteur d'addition, les tubes à flamme de la chambre de combustion, les coudes et les pièces de transition sont projetés pour utiliser l'air de combustion (air comprimé), pour un refroidissement efficace de ces parties.

SYSTEME D'EAU DE REFROIDISSEMENT

Le système d'eau de refroidissement est un circuit fermé, légèrement sous pression, conçu pour répondre aux exigences de dissipation thermique du système de lubrification, du système d'air d'atomisation, des supports de la turbine et des détecteurs de flamme.

Le système d'eau de refroidissement assure :

- ❖ le refroidissement des pieds supports de la turbine pour éviter un désalignement du corps turbine.
- ❖ le maintien de l'huile de lubrification et de l'air d'atomisation à des niveaux de température acceptables.
- ❖ Le bulbe contient un liquide thermosensible se dilatant lorsqu'il est chauffé. La pression ainsi produite dans le bulbe est transmise par un capillaire au soufflet qui positionne le disque de la vanne afin de commander le débit de réfrigérant dans l'échangeur. La vanne est fermée au moment du démarrage de la turbine et commence à s'ouvrir lorsque la température détectée dans le fluide atteint la valeur de réglage.



● SYSTEME D'AIR D'ATOMISATION

Durant la période de démarrage et surtout au moment de l'allumage, la pression de l'air refoulé par le compresseur d'air d'atomisation principal est beaucoup trop faible pour assurer correctement sa fonction d'atomisation.

Pour palier à cela, on utilise un compresseur auxiliaire entraîné par le moteur de lancement dont le rapport de compression est sensiblement le même que pour le compresseur principal.

Les principaux composants du système sont les suivants : compresseur principal d'air d'atomisation, compresseur auxiliaire d'air d'atomisation, réfrigérant d'air d'atomisation.

Lorsque le combustible liquide est injecté dans les chambres de combustion de la turbine, il est formé de gouttelettes de grande taille à la sortie des injecteurs. Ces gouttelettes ne brûlent pas intégralement dans les chambres et elles sont donc nombreuses à pouvoir se retrouver dans les gaz d'échappement. Le système d'air d'atomisation a pour but de détruire ces gouttelettes pour obtenir un fin brouillard et assurer ainsi un état du fuel proche de celui du gaz afin d'améliorer le rendement de combustion, donc de diminuer les imbrûlés.

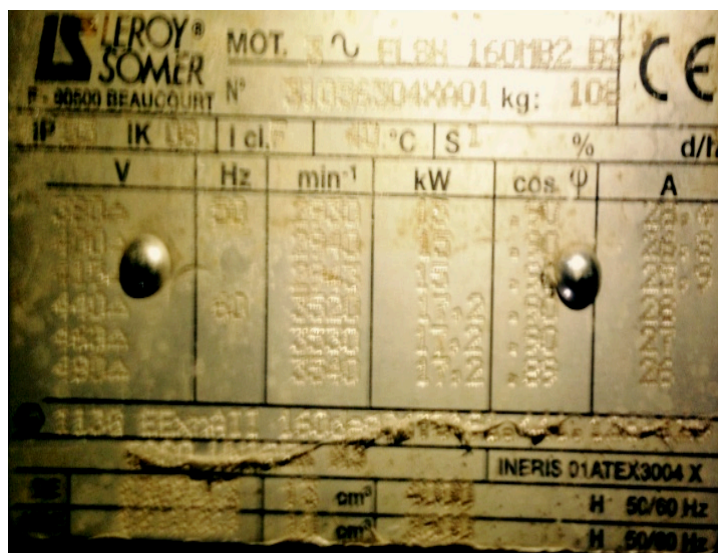




Figure 5 : Réservoir d'eau brute (la Centrale TAG comporte 2x 6600 m3)

L'eau brute contient :

- Des minéraux dissous : cations, anions (calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, chlorures...)
- Des gaz : O₂, N₂, CO₂
- Des matières en suspension : particules d'argile capables d'attirer des bactéries et des molécules bactériennes
- Matières organiques issues de la décomposition de végétaux et animaux
- le but est de produire l'eau déminéralisée à partir de l'eau brute. Le poste traitement d'eau est constitué de deux lignes de production, une en service, et l'autre soit en régénération soit en attente, de capacité de production de 90m³ par heure l'eau produite est stockée dans deux citernes de capacité de 2600 m³ chacune.



Figure 6 : Réservoir d'eau déminéralisée (la Centrale TAG comporte 2x2600m³)

Le rapport de production d'eau déminéralisée est de 1.3 c'est-à-dire pour produire 1 m³ d'eau déminéralisée, il nous faut 1.3 m³ d'eau brute. Le poste traitement d'eau est Composé de :

- **Deux citernes métalliques d'eau brute** de 6600 m³, permettant d'alimenter:
 - Le poste de traitement d'eau.
 - Le circuit d'eau potable provenant du bac de 25 m³.
 - Le circuit de lutte contre incendie.
 - Le circuit d'eau pour les sanitaires.
- **Deux bacs de 2600 m³ d'eau déminéralisée**, qui sert à alimenter :
 - Le poste de traitement de combustible.
 - L'appoint des chaudières auxiliaires.
 - Le système de lavage des turbines et des compresseurs.
 - Les circuits de refroidissement.
- **Un système de Filtration** : Un système de prétraitement d'eau brute, formé de :

Trios filtres Multimédia à pression où (filtres à sables), pour éliminer les particules (à dimension > 40µm) en suspension pour éviter l'obstruction précoce du système de microfiltration et réduire la concentration des solides dans l'eau.



Figure 7 : Les filtres multimédia

- **Deux Filtres à cartouche** : pour procurer une meilleure finesse de filtration (retenir les particules $> 5\mu\text{m}$)
- **L'osmose inverse premier passage** :
 - Le phénomène d'osmose inverse consiste à obtenir:
 - D'une solution saline donnée, une autre solution de moindre concentration à travers une membrane semi-perméable (membrane de microfiltration (nm)) au moyen de l'application d'une pression extérieure supérieure à la pression osmotique de la solution de départ.
 - DOSAGE DES REACTIFS : Pour éviter la possibilité de précipitation des sels déposés sur la surface active des membranes.

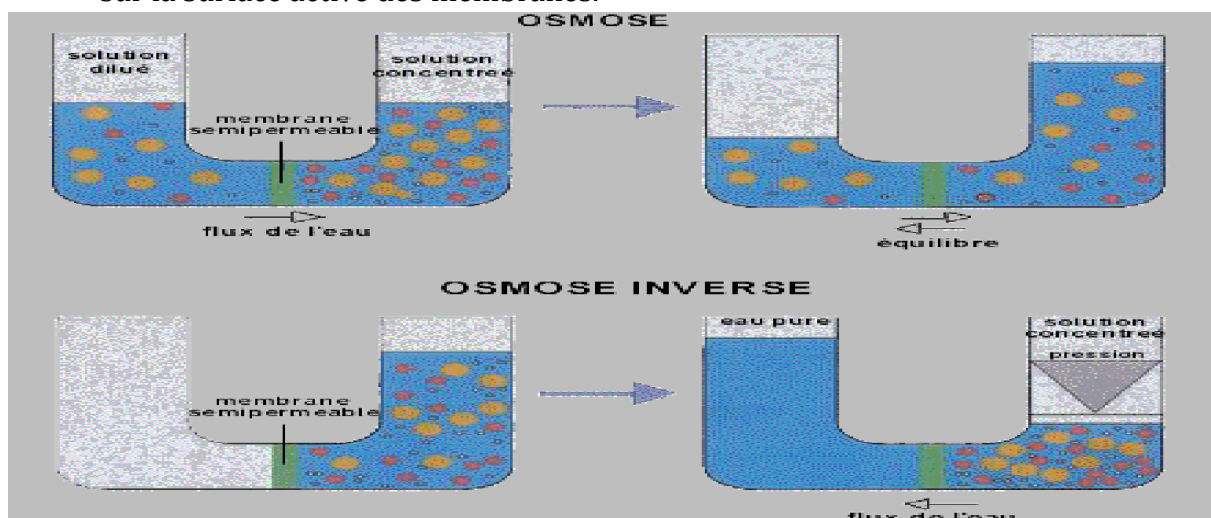


Figure 8: Schéma descriptif de phénomène d'osmose inverse



Figure 9

: premier passage osmose inverse

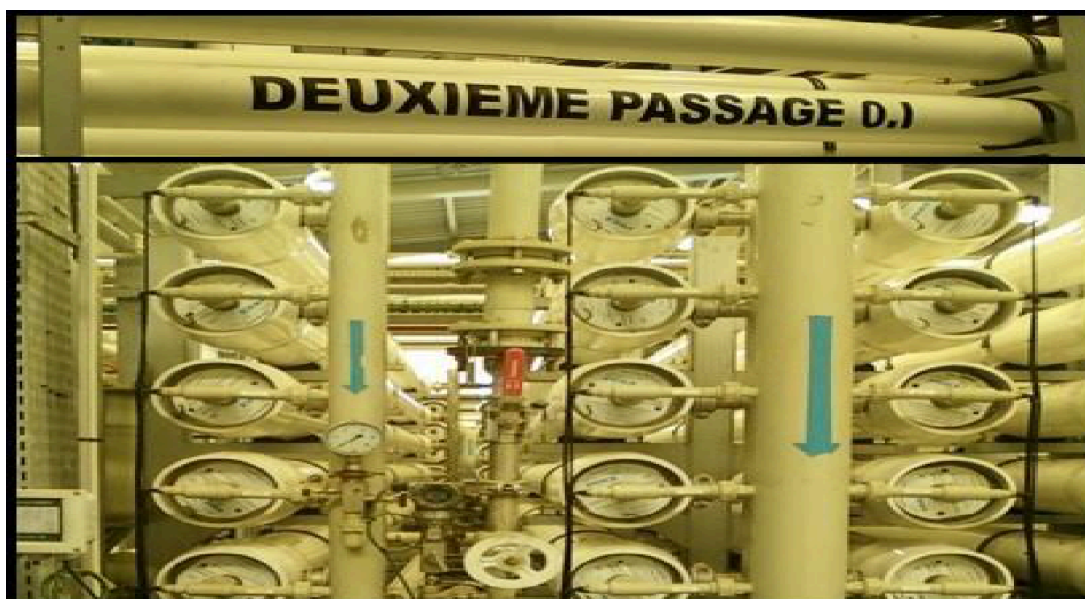
- **Dégazeur :**

Dans cet appareil, l'eau est pulvérisée ou dispersée finement et se distribue de façon uniforme au-dessous d'une couche de remplissage, qui est généralement constituée par des anneaux Rasching (objets cylindriques en métal) ou similaires.

La mission du dégazeur est de traiter l'eau osmosée et éliminer le CO₂.

- **Système Osmose inverse 2ème passage :**

Deux unités d'osmose sont incluses, l'une en service la deuxième en attente. C'est la même opération qu'on trouve dans le premier passage sauf que l'eau sort avec une solution moins concentrée que le premier passage.



Figure

10 : deuxième passage osmose inverse

- **Les lits mixtes :**

L'eau osmosée s'alimentera des lits d'échange ionique au moyen afin d'éliminer le potassium et le sodium.

Figure 11 : Les Caractéristiques de l'eau déminéralisée

La qualité d'eau	Déminéralisée
Conductivité	< 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Sodium + Potassium	< 0.5 mg/l
Silice total	< 0.5 mg/l SiO_2
Calcium	< 0.5 mg/l Ca^{2+}

Chaque unité contient un mélange de résines type de degré uniforme, cationique fort, anionique fort et résines inerte. L'effet du mélange de résines est la formation d'une infinité de paires cation/anion qui permettent l'élimination des bas niveaux d'ions présents dans l'eau osmosée, pour obtenir de l'eau déminéralisée de bonne qualité. Une fois la résine saturée, la régénération se fait par l'acide H^+ et la soude OH^- . L'eau déminéralisée doit avoir la propriété $6 < \text{pH} < 7,8$.

- **Système de régénération :**

La régénération du lit se réalisera en séparant en premier lieu les résines lorsqu'elles seront épuisées au moyen d'un simple contre lavage à contre-courant, suivi du passage des solutions régénératrices d'acide sulfurique et hydroxyde de sodium dilués (aspiration et déplacement).

Finalement, avant la mise en service, le lit de résines mélangées est soumis à un rinçage final (lavage rapide), dans le but d'éliminer les restes de régénérateurs qui seront restés à l'intérieur. Le rinçage est envoyé à l'écoulement jusqu'à une valeur préfixée de conductivité, à partir de laquelle, l'eau est récupérée jusqu'à atteindre la valeur de qualité requise pour l'envoi au réservoir d'eau déminéralisée.

L'eau osmosée sera stockée dans un réservoir de 30m³ où les pompes l'aspirent pour l'alimentation du système de déminéralisation.

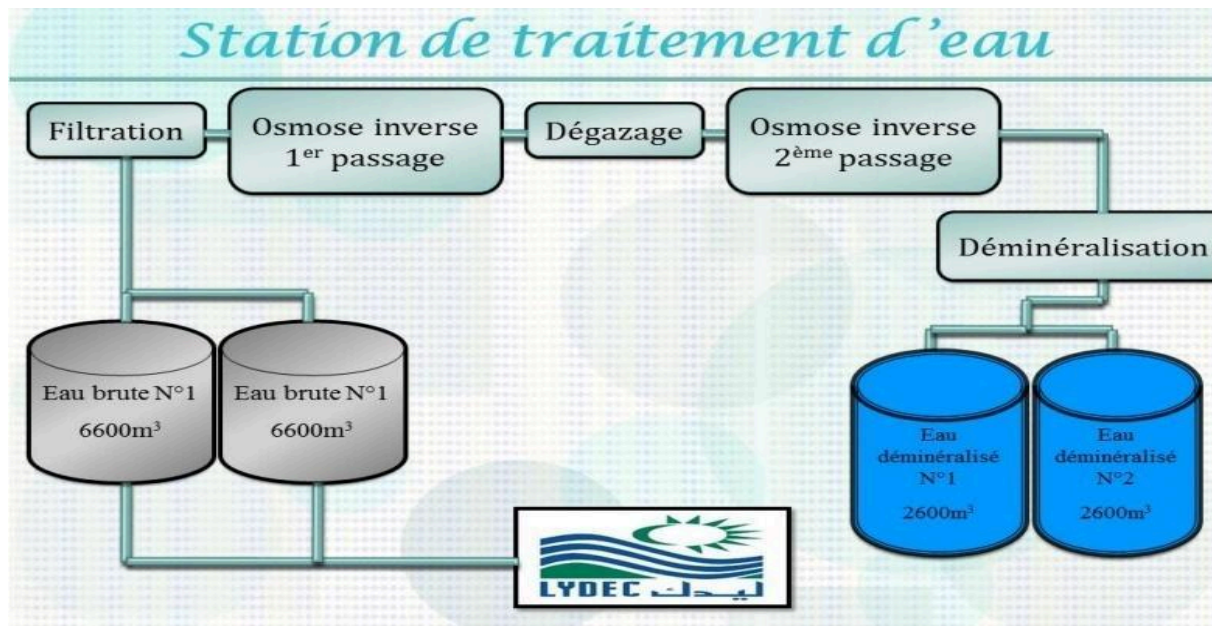


Figure 12 : Station de traitement d'eau

12. Poste traitement de fuel :

Le poste traitement fuel est composé de deux citernes fuel brut calorifugées parvenant de la SAMIR de 20899 m³ chacune et une citerne gaz oil de 5882 m³, ainsi 8 lignes dont la capacité de 11,5 tonnes chacune.



Figure

13: Une citerne de fuel brute (2x20899m³) Figure 14: Une citerne de gasoil (5000m³)

Le fuel certifié est stocké dans deux citernes de capacité 714 m³ chacune, et le fuel traité est stocké après une certification, dans trois citernes calorifugées de capacité 3333 tonnes chacune, soit un total de 9999 tonnes.



Figure

15 :citerne de fuel certifié (2x714m³) Figure16 : Citerne de fuel traité (3x3333m³)

Les ailettes des turbines à gaz tournent à l'aide de la détente des gaz chauds de provenance de la combustion de fuel-oil ou gas-oil. Le problème qui se pose c'est que le fuel-oil contient des contaminants corrosifs (vanadium) et des contaminants de déposition (sodium, potassium) qui risquent d'endommager la turbine, c'est pour cela qu'il faut que ce dernier passe par plusieurs étapes de traitement à fin d'éliminer ces contaminants :

- Le préchauffage
- Le lavage à l'eau pour dessalement
- L'injection de l'inhibiteur de vanadium.

- **Préchauffage :**

Le préchauffage a pour but d'augmenter suffisamment la température du combustible au-dessus de son point d'écoulement pour permettre un écoulement sans problème et éviter un colmatage des filtres, et d'abaisser la viscosité du combustible afin de réduire la résistance à l'écoulement et de fournir une atomisation au niveau des buses de combustible.

- **Lavage à l'eau pour dessalement :**

L'enlèvement des sels minéraux sodium(NA) et potassium(K) se fait dans le poste traitement fuel. Il est constitué de 8 lignes dont la capacité de production est de 11,5 tonnes chacune, Chaque ligne étant constituée de deux étages comprenant chacun deux mélangeurs et deux séparateurs.



Figure 17 : poste traitement fuel

Le fuel est d'abord réchauffé puis émulsionné avec de l'eau déminéralisée préalablement chauffée, on ajoute à ce mélange un produit chimique (dés émulsifiant) qui favorise l'extraction des sels solubles dans l'eau et la décomposition du fuel, après ce mélange est envoyé à des mélangeurs rotatifs, ensuite le fuel est séparé de l'eau, cette opération (mélange +séparation) est exécutée une deuxième fois.

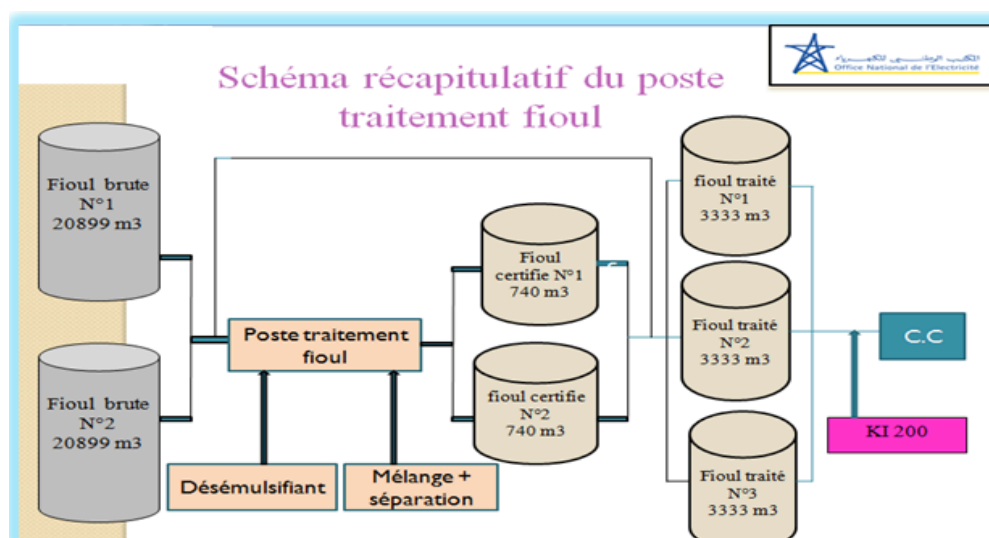
Après la séparation, le fuel est stocké dans deux bacs 750 m³, après l'analyse des échantillons ($Na+K < 1$ ppm), le fuel est transféré vers trois bac fuel traité de 3333 m³, sinon on le renvoi vers les bacs du fuel brute.

	Fuel- brut	Fuel- traité
Sodium (ppm)	Max 50 ppm	Na+K < 1ppm
Potassium (ppm)	Max 35 ppm	
Vanadium (ppm)	Max 90 ppm	Max 90 ppm
Plomb	Max 1ppm	< 1ppm

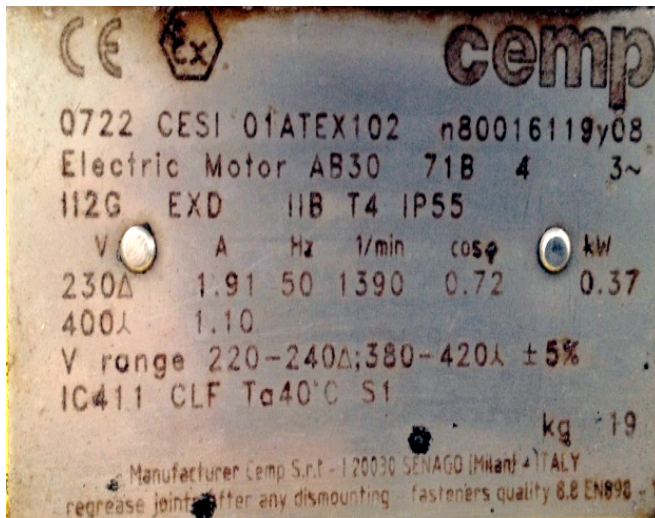
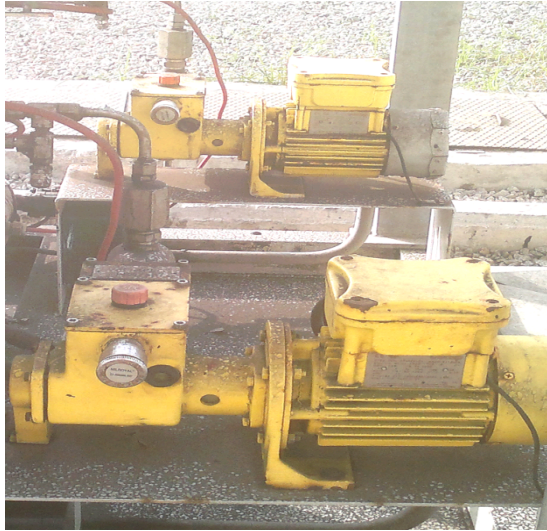
Figure 18 : Qualité du Fuel avant et après traitement par lavage à l'eau déminéralisée

- **Ajout d'un inhibiteur de vanadium :**

Le vanadium peut aussi provoquer une corrosion à chaud des pales de la turbine, mais il n'est pas éliminé par le lavage à l'eau car il est présent dans le combustible sous forme complexe oléo-soluble. L'action corrosive peut être inhibée par l'ajout d'un additif au magnésium homologué au combustible pour donner un rapport minimum de 3 pour 1 du poids de magnésium pour le vanadium. Il est aussi recommandé que ce rapport n'excède pas 3,5 pour 1 pour minimiser les dépôts.



Pompe injection additif



IV. Partie optimisation de la consommation électrique des auxiliaires de la centrale TAG M2

1. Poste traitement fuel

BRANCHE ELECTRICITE

designation	nombre	puissance en kw	cos phi	courant en A	p.active en kw	p.reactive kvar
filtre aspiration	2(1 in stand by)	0,37	0,77	1,11	0,37	0,307
pompe à boues	20(10 in stand by)	7,5	0,75	1,7	7,5	6,614
Pompe Transfert	3(1 in stand by)	44	0,81	43,4	44	31,855
Pompe dosage désémulsifiant	2(1 in stand by)	0,75	0,8	3,1	0,75	0,563
Mélangeur multi étages	16	24	0,82	3,2	24	16,752
Séparateur HFO	16	480	0,83	56	480	322,562
Pompe alimentation Effluent Eau	2(1 in stand by)	2,2	0,86	5	2,2	1,305
Séparateur Effluent Eau	3(1 in stand by)	60	0,83	56	60	40,320
puissance totale en kw		618,82			618,82	420,279
puissance totale apparent en kva	748,046					
cos phi de ftpo	0,827					

2. Compartiment turbine

BRANCHE ELECTRICITE

ent	désignation	Nombre	caracteristique plaquee			caracteristique en fonctionnement					
			P.kw	cos PHI	Rend.%	P.utile.kw	cos PHI F	Rend % f	P.active.kw	P.reactive.kva	Courant .A
1	Pompe huile auxiliaire	1	90	0.92	95	82.8	0.92	95	90	37.1	137
1	Moteur de virage	1	30	0.8	89	24	0.8	89	30	20,2	49
1	Pompe hydraulique auxiliaire	1	15	0.85	89	12.8	0.85	89	15	8,9	24
1	Moteur air d'atomisation	1	15	0.87	90	13.1	0.87	90	15	8,2	24
2	Ventilation corps turbine	2	45	0.92	93	41.4	0.92	93	45	19	70
A	Eliminateur de brouillard d'huile	1	18.5	0.87	90	16.1	0.87	90	18.5	10,1	30
32	Pompe injection additif	1	0.37	0.7	75	0.3	0.7	75	0.37	0,4	1
2	Ventilation compartiment turbine & Access	1	30	0.87	90	26.1	0.87	90	30	16,4	48
2	Ventilation compartiment accouplement	1	11	0.84	85	9.2	0.84	85	11	7	19
1	Moteur ajustement couple/Vitesse	1	1.5	0.64	72	1	0.64	72	1.5	1,6	3
	Moteur lancement du flow /divider	1	0.37	0.7	75	0.3	0.7	75	0.37	0,4	1
1	Pompe injection d'eau	1	22	0.92	95	20.2	0.92	95	22	9,1	33
2	Pompe fuel distillé	1	18.5	0.87	90	16.1	0.87	90	18.5	10,1	30
2	Pompe fuel lourd	1	222	0.87	90	19.1	0.87	90	222	12,1	35
2	Moteur pompe de soulèvement alternateur	1	18.5	0.87	90	16.1	0.87	90	18.5	10,1	30
2	Ventilation package skid injection d'eau	1	0.37	0.84	85	0.3	0.84	85	0.37	0,2	1

BRANCHE ELECTRICITE

2	Moteur pompe circulation d'eau refroid	1	55.0	0.9	93	49.0	0.9	93	55.0	27	85
8	Ventilateur refroidissement 1 à 8	8	88	0.84	85	9.2	0.84	85	88	7	19
16	Ventilateur refroidissement 9 to 16	8	88	0.84	85	9.2	0.84	85	88	7	19
2	Chauffage huile	1	10.2	1	100	10.2	1	100	10.2		15
	Rechauff compartiment turbine	1	20	1	100	20	1	100	20		29
	Rechauff compartiment auxiliaires	1	20	1	100	20	1	100	20		29
	Rechauff anticondensation alternateur	1	6	1	100	6	1	100	6		9
	Rechauff. compartiment skid injection d'eau	1	9	1	100	9	1	100	9		13
R	Pompe+ chauffage tanks a égoutture	1	4.1	1	100	4.1	1	100	4.1		6
AR	Chargeurs de batteries	1	15	0.8	91	12	0.8	91	15	9,9	24
2	Climatisation cct	2	10	0.72	85	7.2	0.72	85	10	8,2	17
	Transformateur de sous-distribution	1	41.6	0.85	100	35.4	0.85	100	41.6	21,9	60
	Transformateur d'exitation	1	9	0.8	100	7.2	0.8	100	9	5,4	13
R	Armoire filter à aire	1	0.5	1	100	0.5	1	100	0.5		0.7
R	Climatisation container CO2	1	4	0.85	89	3.4	0.85	89	4	2,4	6
	Alimentation disjoncteur de groupe	1	2	0.85	100	1.7	0.85	100	2	1,1	3
	moteur de lancement	1	1000	0,89					1000	512,315196	102
puissance active totale		1751									
puissance reactive totale		736,0151962									
puissance apparent totale		1899,399739									
facteur de puissance		0,92									

3. Chaudiere

BRANCHE ELECTRICITE

Description	Liste consommateurs électriques			cos ϕ	P.active kw	P.reactive kvar
	Pn en kw	Un en Vac	In			
MOTEUR POMPE EMPLISSAGE-VIDANGE	7,5	400	15,20	0,84	7,5	4,84
MOTEUR POMPE REFROIDISSEMENT	1,1	400	40,50	0,80	1,1	0,83
MOTEUR POMPE RECIRCULATION 1	90	400	160,00	0,86	90	53,40
MOTEUR POMPE RECIRCULATION 2	90	400	160,00	0,86	90	53,40
MOTEUR BRÔLEUR CHAUDIÈRE 1	7,5	400	100	0,89	7,5	3,84
MOTEUR BRÔLEUR CHAUDIÈRE 2	7,5	400	100	0,89	7,5	3,84
AIR SUPPLY FUN BRÔLEUR CHAUDIÈRE 1	55	400	100	0,85	55	34,09
AIR SUPPLY FUN BRÔLEUR CHAUDIÈRE 2	55	400	100	0,85	55	34,09
MOTEUR POMPE IMPULSION ALLUMÉ GAS-OIL COMBUSTIBLE 1	0,18	400	0,51	0,82	0,18	0,13
MOTEUR POMPE IMPULSION ALLUMÉ GAS-OIL COMBUSTIBLE 2	0,18	400	0,51	0,82	0,18	0,13
MOTEUR POMPE IMPULSION COMBUSTIBLE GAS-OIL 1	1,1	400	2,50	0,81	1,1	0,80
MOTEUR POMPE IMPULSION COMBUSTIBLE GAS-OIL 2	1,1	400	2,50	0,81	1,1	0,80
MOTEUR POMPE IMPULSION COMBUSTIBLE FUEL 1	1,1	400	2,50	0,81	1,1	0,80
MOTEUR POMPE IMPULSION COMBUSTIBLE FUEL 2	1,1	400	2,50	0,81	1,1	0,80
DOSAGE POMPE 1	40	230	0,15		40	
DOSAGE POMPE 2	40	230	0,15		40	
PANNEAU ÉLECTRIQUE	2	230	8,70		2	
PRÉCHAUFFEUR FUEL LIQUIDE	30	400			30	
ÉLECTROVALVE REMPLISSAGE EAU D'APPORT	10,5	24	0,43		10,5	
ÉLECTROVALVE RECIRCULATION D'EAU	10,5	24	0,43		10,5	
ÉLÉMENTS BRÔLEUR	186	220	0,84		186	
ÉLÉMENTS BRÔLEUR	186	220	0,84		186	
puissance totale					444,68	98,72
puissance apparente	455,51					
cos ϕ	0,98					

Post traitement eau

- **Pompe alimentation Effluent Eau:**

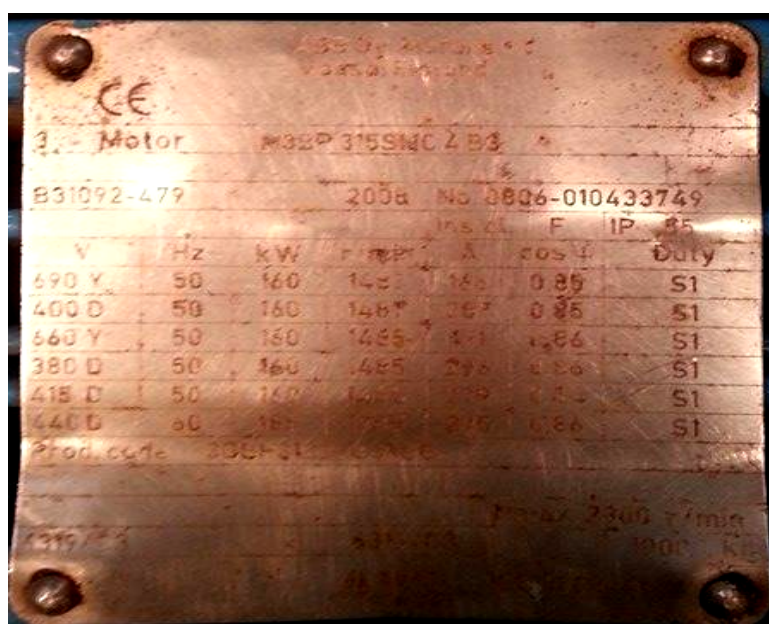
Nombre : deux (2), une (1) en fonctionnement, une (1) en stand-by

Type : à vis excentrique

Fournisseur : Netsch

Modèle : NEMO NM038BY01L06B

Moteur : 400 V, 50 Hz, 2,2 kW, 1441 t/min, size 100L, EEx de IIC T4.



● Pompe Transfert:

Nombre : trois (3), deux (2) en fonctionnement, une (1) en stand by

Type : vis excentrique, type vertical

Fournisseur : KRAL

Modèle : KV-1500.BCA

Moteur : 400 V, 50 Hz, 22kW, 950 t/min, taille IEC 200, élément chauffant 230 V, EEx de IIC T4



ABB Motors							
3~ Motor 2.4 180° L							
No. 0036 P0 239 004							
Ins. cl.				IP			
V	Hz	kW	r/min	A	cos φ	I _A /I _N	t _E /s
380V	50	22.00	1460	24.50	0.82		
400V	50	22.00	1450	24.00	0.82		
380V	50	22.00	1455	23.90	0.84		
560Y	50	22.00	1455	25.00	0.84		
415V	50	22.00	1450	24.50	0.81		
440V	50	22.00	1450	24.50	0.81		
Prod. code 56AA1321P ADB							
451							
6310 27/03				5265 23/03		128.00 Kg	
50034-1							

● Séparateur Effluent Eau:

Nombre : Trois (3) deux (1) en fonctionnement, un (1) en stand by/charge maximum

Type : Déparateur centrifuge

Fournisseur : Westfalia Separator

Modèle : WSD60-01-537/60(anti-déflagrant, auto-débourbeur)

Moteur électrique : 400 V, 50 Hz, 30 kW, 1500 t/min, taille 200L, IP 55, élément chauffant 230 V, Thermistors PTC, EEx de IIC T4.



ABB Motors								CE	
3~ Motor M2AA 200 L-4									
No. 82518								017 003	
Ins. cl. F						IP55			
V	Hz	kW	r/min	A	cos φ	I _A /I _N	t _E /s		
690Y	50	30,00	1470	34,00	0,80				
400D	50	30,00	1470	59,00	0,80				
380D	50	30,00	1470	60,00	0,82				
660Y	50	30,00	1470	34,50	0,82				
415D	50	30,00	1475	58,00	0,77				
440D	60	35,00	1765	61,00	0,82				
Prod. code 3GAA202011-ADB									
IM1001									
6312 2Z/C3				6209 2Z/C3				177,00 Kg	
60034-1									

- **Mélangeur multi étages :**

Nombre : Deux (2) par module traitement HFO, 1er et 2ème étage process

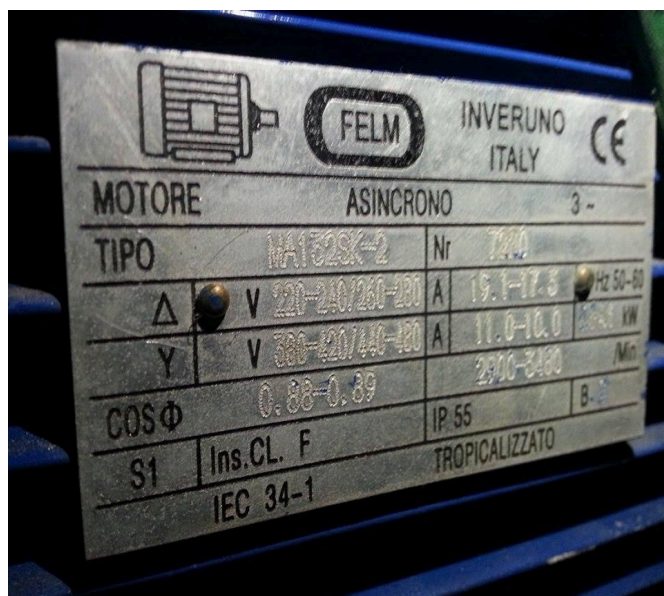
Type : Mélangeur multi étages

Fournisseur : Prema-Service

Modèle : VA-800-A040-1,5kW

Moteur : 400 V, 50 Hz, 1,5 kW, 1410 t/min, IP 55,

élément chauffant 230 V EEx de IIC T4



- **Pompe dosage désémulsifiant:**

Nombre : deux (3), une (1) en fonctionnement, une (1) en stand by

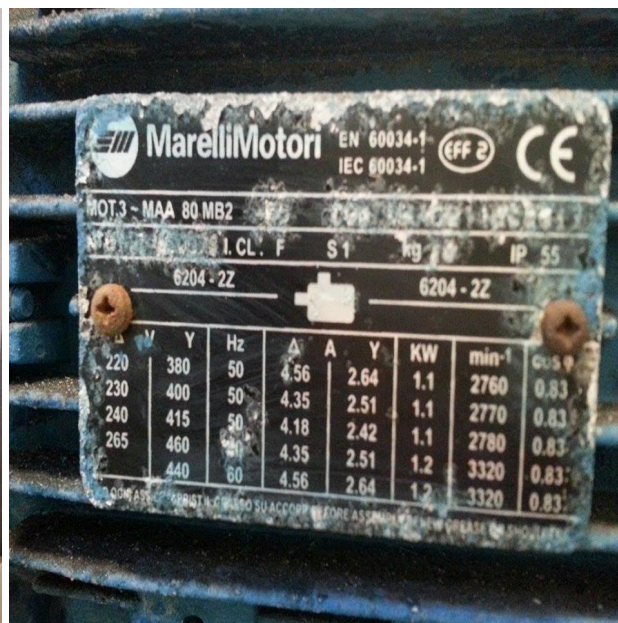
Type : à piston

Fournisseur : BRAN+LUEBBE

Modèle : NOVADOS N-P31

Moteur : 400 V, 50 Hz (10-80 Hz), 0,75 kW, 1400 t/min @ 50 Hz,

thermistor PTC, EEx de IIC T4



● Pompe à boues :

Nombre : deux (2), une (1) en fonctionnement, une (1) en stand-by

Type : à vis excentrique

Fournisseur : Netsch

Modèle : NEMO NM031BY01L06B

Moteur : 400 V, 50 Hz, 0,75 kW, 1413 t/min, taille 80, EEx de IIC T4



Conclusion generale

Le stage que nous avons effectue officiellement du 01/08/2015 au sien de la central turbine à gaz Mohammedia 2 , a été une première expérience professionnelle très enrichissante et très bénéfique, bien qu'elle soit court.le stage constitue une transformation des connaissances de l'état pratique,de telle sort à les rendre homogène.

La réalisation de ce projet nous a permis de découvrir des informations supplémentaires notamment grâce à l'aide des agents de l'office, elle nous a aussi permis d'échanger les connaissances avec les autres de différentes spécialités. ce stage nous a aussi appris à se rendre compte de nos qualités et de nos faiblesses. En outre il nous a permis de nous appréhender dans la pratique et nous a ouvert l'esprit quand à nos choix futurs . cette expérience a été plus favorable et on tient à exprimer notre gratitude envers les personnes dont l'enseignement et le soutien ont énormément influencé sur notre formation.

En fin, ce présent rapport restera pour nous une référence et un point de départ pour apprendre, développer et améliorer notre savoir-faire ainsi que notre culture professionnelle.