

Département Génie Electrique

Période du stage : De 17 Janvier jusqu'à 14 Février

Rapport de stage

Organisme d'accueil :

La Centrale à cycle combiné de
GHANNOUCH, STEG

Réalisé par :

ABDALLAH JERIDI

Encadré par :

ACHRAF SOUILAH

Année universitaire 2021/2022

SOMMAIRE

Remerciements.....	3
Introduction.....	4
I. Présentation générale de la STEG.....	5
1) Historique.....	5
2) Production.....	5
3) Distribution.....	6
II. Présentation générale de la centrale de Ghannouch.....	6
1) Idée générale	6
2) Organigramme.....	7
3) Principe de fonctionnement de la centrale de production.....	8
III. Les différents équipements du Cycle Combiné.....	10
1) Turbine à gaz.....	10
2) Turbine à vapeur.....	11
3) L'alternateur.....	15
4) Embrayage SSS.....	16
5) Chaudière de récupération.....	17
IV. Cycle eau-vapeur.....	18
V. Les transformateurs.....	19
VI. Etude de cas(Test et mesure d'un Transformateur).....	20
1) Définition et rôle d'un transformateur.....	20
2) Différents types transformateur	20
3) Problème.....	20
4) Solution.....	20
VII. Annexes.....	23
Conclusion.....	25

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je tiens à remercier toute l'équipe de la centrale à cycle combiné de Ghannouch GABES, pour leur accueil et leur collaboration.

Plus précisément, je tiens à remercier sincèrement :

- Mr Achraf Souilah mon encadreur .Pour m'avoir accueilli dans son équipe, confié des tâches, conseillé, encouragé...

- Je remercie également toutes les personnes qui ont accepté de répondre à mes questions.

Enfin, Cette deuxième expérience sera très importante pour ma carrière et les tâches auxquelles vous m'avez associé m'ont vraiment permis de consolider mes connaissances et d'en développer de nouvelles.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le stage permet d'améliorer nos connaissances pratiques et théoriques afin d'avoir une meilleure intégration dans le lieu professionnel, c'est un contact qui permet aux stagiaires, futurs cadres dans les sociétés de vivre la réalité de production, de découvrir une entreprise, d'acquérir une expérience professionnelle et de nouvelles compétences.

J'ai eu l'opportunité de réaliser un stage au sein de la centrale à cycle combiné, la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz durant un mois à partir du :

17/01/2022 jusqu'à : 14/ 02/2022

I. *Présentation De la Société*

1. Historique :

La Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz ou STEG est une société Tunisienne de droit public à caractère non administratif. Créée en 1962, elle a pour mission la production et la distribution de l'électricité et du gaz naturel sur le territoire tunisien.

La STEG, Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz, est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) appartenant à l'Etat Tunisien sous tutelle du Ministère de l'Industrie. Elle a pour missions de produire, transporter et distribuer l'énergie électrique ainsi que le transport et la distribution du gaz naturel sur tout le territoire tunisien. A part l'activité production de l'énergie électrique, les autres activités sont monopolistiques.



2. Production :

La STEG dispose en 2011 d'un parc de production composé de 24 unités de production d'une capacité totale de 3526 MW, alimentées à 82% par le gaz naturel.

Par rapport aux choix technologiques utilisés dans les centrales, voici le tableau de répartition :

- Thermique vapeur (40.1%)
- Cycle combiné (29.2%)
- Turbine à gaz (28.2%)
- Hydraulique (2.1%)
- Eolienne (2% en 2010).

ALSTOM Power a été successivement chargée de la construction des centrales STEG : à Sousse (1994), Radés (2001) et Ghannouch (2011).

3. Distribution :

La STEG exploite un réseau électrique de près de 138798 kilomètres (2008) de ligne moyenne et basse tension. En 2011, le nombre des clients au réseau électrique est évalué à 3.3 millions ; la production électrique annuelle est estimée à 11902 GWh. Pour la distribution du gaz, la société dispose de 9 500 Kilomètres qui permettent d'approvisionner treize centrales électriques, 576 unités industrielles, 468 331 ménagés et 312 hôtels. La STEG entretient ses relations avec ses clients à travers 38 Districts et 90 Agences. Elle collecte par ailleurs des impôts pour le compte de l'Etat, soit la redevance pour la radio, la télévision et la taxe municipale.

II. Présentation générale de STEG Ghannouch :



Figure 1 : centrale cycle combiné Ghannouch

1- Idée Générale :

La Centrale Thermique d'électricité de Ghannouch, implantée à quelque kilomètre au nord de Gabes, est mise en marche en Avril 1980.

La Centrale Cycle Combiné de Ghannouch, d'une puissance de 400MW, est construite par ALSTOM et est mise en service depuis mars 2011. Elle se compose d'une unité « mono-arbre » KA26-1.

Le cycle combiné est constitué de :

- Une turbine à combustion (à gaz) (TG) ALSTOM type GT26 équipée d'un système de combustion séquentielle à prémélange.
- Une turbine à vapeur (TV) deux corps à trois niveaux de pression et resurchauffe

1^{er} : Niveau de pression HP.

2^{eme} corps : deux niveaux de pression MP ET BP.

- Un alternateur qui débite sur le réseau à travers un transformateur principal d'une puissance de 520 MVA (21 KV / 225 KV). L'alternateur est refroidi à l'hydrogène, commun aux deux.

2- Organigramme :

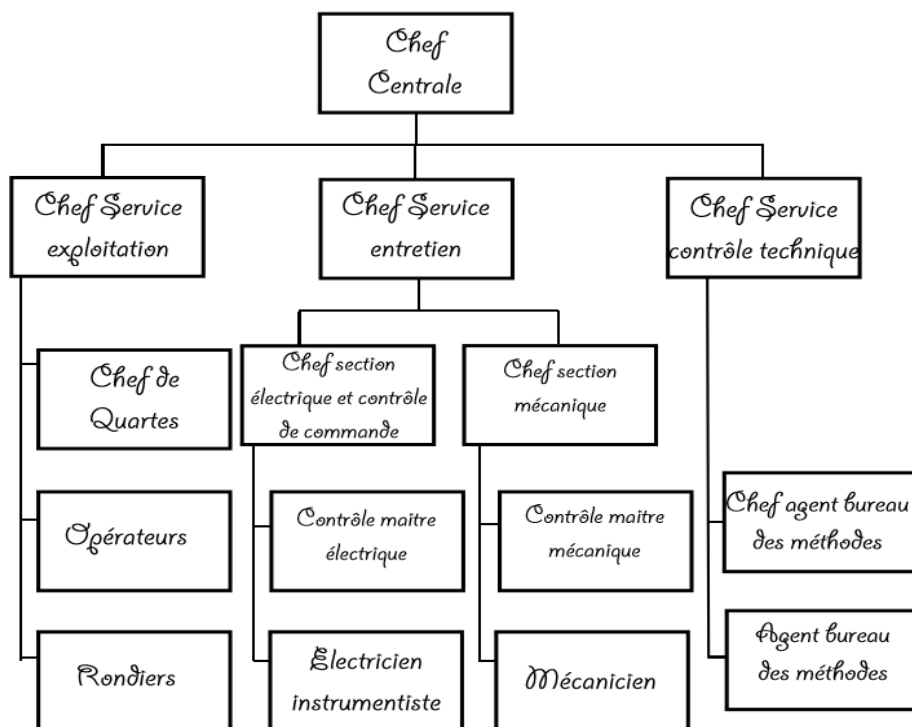


Figure 2 : L'organigramme de la Centrale

3- Principe de fonctionnement du cycle combiné :



Figure 3 : Cycle combiné

Une centrale thermique à cycle combiné gaz produit de l'électricité grâce à la chaleur dégagée de la combustion du gaz naturel.

Ce type de centrale combine deux types de turbines :

- Une Turbine à combustion
- Une Turbine à vapeur

Ces deux turbines sont reliées à un alternateur (mono arbre).

Avec le même volume de combustible, ces deux turbines permettent de produire une quantité plus importante d'électricité.

Dans la turbine à combustion, de l'air est injecté dans un compresseur à haute pression, l'air ainsi comprimé est ensuite propulsé dans la chambre de combustion et il se mélange au combustible, le mélange air gaz s'enflamme et produit de gaz d'échappement qui active la rotation de la turbine à combustion, cette turbine fait à son tour tourner l'alternateur, la chaleur des gaz qui sort de la turbine à combustion est ensuite récupérée dans une chaudière tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau, l'eau ainsi chauffée ces gaz est ensuite dirigée vers un ballon dans lequel elle se transforme en vapeur, la vapeur est alors renvoyée vers la turbine à vapeur et la fait tourner.

L'énergie produite par la rotation de cette deuxième turbine est transmise à l'alternateur et s'ajoute à celle déjà transmise par la turbine à combustion.

Dans l'alternateur l'interaction entre les électro-aimants du rotor (La partie mobile) et les bobines de fils de cuivre du stator (La partie fixe) produit un courant électrique.

Des transformateurs élèvent la tension de ce courant à 225KV pour qu'il puisse être transporté plus facilement dans les lignes de haute tension du réseau.

La vapeur qui est sortie de la turbine passe enfin dans un condenseur dans lequel circule de l'eau froide, elle est ainsi transformée en eau pour être renvoyé dans la chaudière.

Les fumées issues de la combustion sont-elles filtrées avant d'être évacuée par les cheminées.

Grâce à l'utilisation du gaz naturel comme combustible, l'émission du CO₂ sont divisé par deux par rapport à une centrale au charbon.

Flexible et réactive, les centrales à cycle combiné ont un rendement supérieur à celui des centrales thermiques classiques, capable à monter plein puissance en moins d'une heure, elle répond aux fortes variations de consommation.

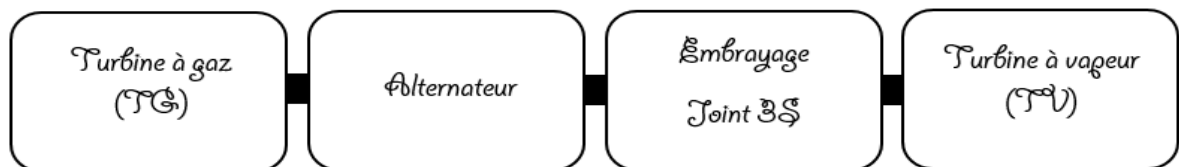


Figure 4 : Schéma simplifié de la Cycle combiné

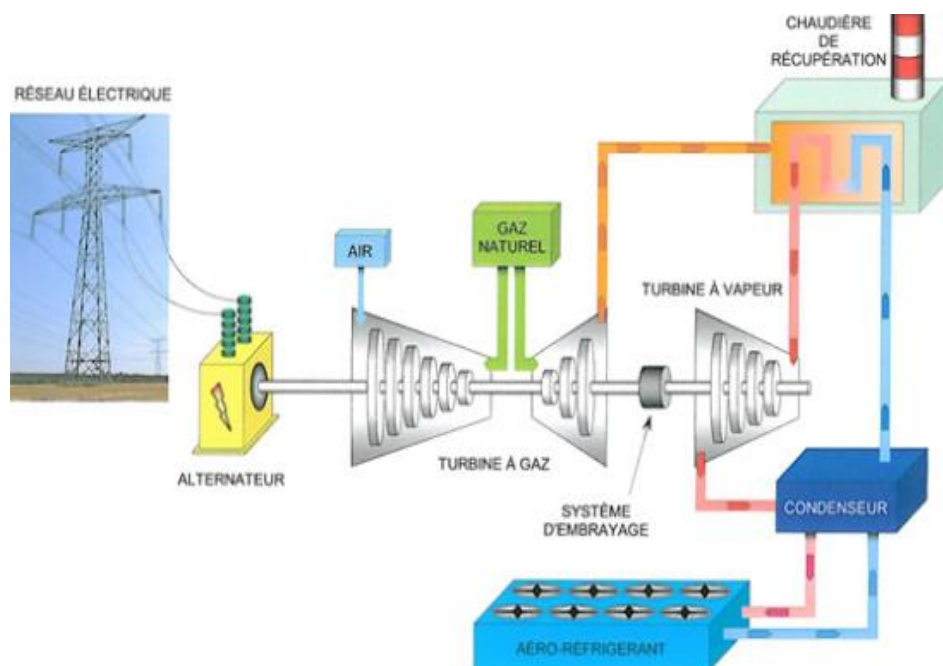


Figure 5 : Schéma de principe du cycle combiné

III. Les Différents équipements du cycle combiné :

1. Turbine à gaz :

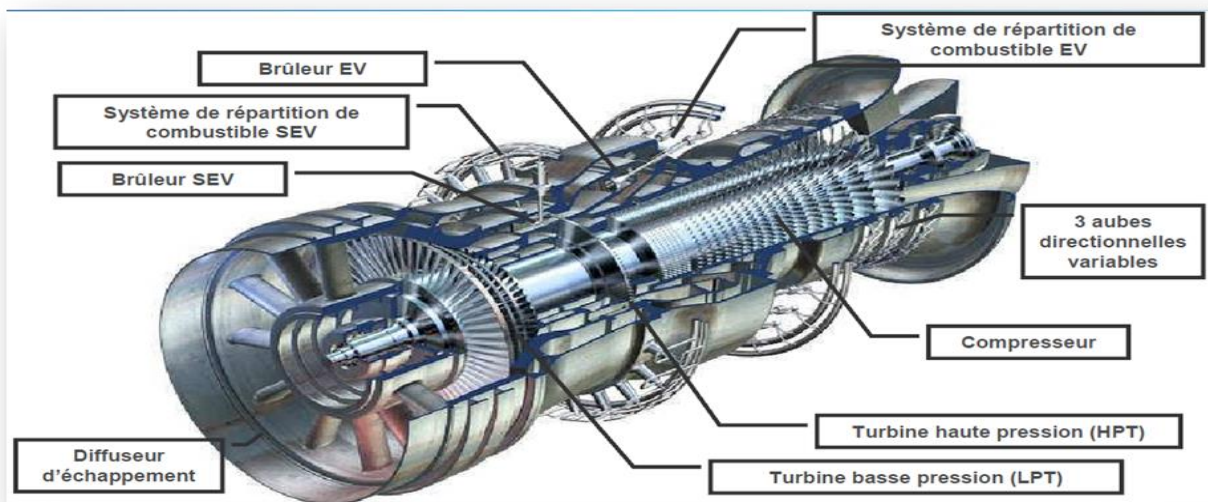


Figure 6 : turbine à gaz GT26

La turbine à gaz de type GT26 d'Astome a été spécialement développée pour des applications à cycle combiné. Cette turbine à gaz appelée aussi turbine à combustion ou parfois turbine à gaz de combustion est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique sous la forme de la rotation d'un arbre, directement à partir de l'énergie cinétique des gaz produits par la combustion d'un hydrocarbure (fuel, gaz combustible.....) qui subissent une détente dans une turbine.

Elle comprend un rotor constitué d'un étage turbine (haute pression), de 4 étages turbine (basse pression), de 22 étages compresseur, et deux chambres de combustion annulaires (les brûleurs EV et SEV), appliquant le principe de combustion séquentielle.

Elle comprend un rotor constitué d'un étage turbine (haute pression), de 4 étages turbine (basse pression), de 22 étages compresseur, et deux chambres de combustion annulaires (les brûleurs EV et SEV), appliquant le principe de combustion séquentielle.

L'étage HP se trouve en aval des brûleurs EV et en amont des brûleurs SEV. L'air en entrée de la TG est filtré dans le bloc de prise d'air pour assurer le refroidissement et l'étanchéité de la TG, de l'air est soutirée du compresseur à différents étages. Deux de ces extractions d'air sont partiellement refroidies à l'extérieur de la TG, l'air BP sert à refroidir les brûleurs SEV, les premiers étages de la turbine BP et son rotor, l'air HP sert principalement à refroidir la turbine HP et son rotor. Les échangeurs pour refroidir l'air HP et BP sont à passe unique.

Caractéristiques de la turbine à gaz :

	TG
Puissance	238MW
Marque	Astome GT26
Fuel	Gaz naturel ou gasoil
Lancement	Par l'alternateur (machine réversible)
Fréquence	50Hz
Vitesse de rotation	3000 tr/min
Rendement	41%
Température des gaz d'échappement	616°C 1.141°F
Nb chambre de combustion	2
Nb d'étages turbine	4BP & 1HP
Nb d'étages compresseur	22

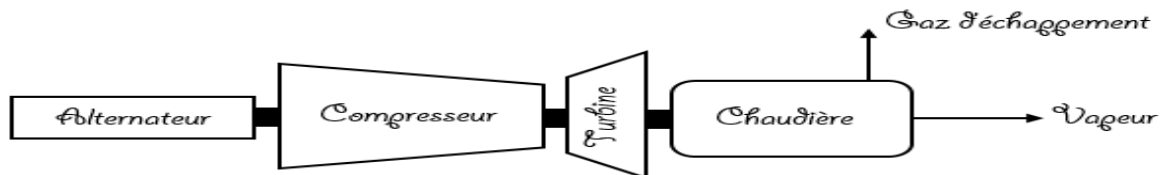


Figure 7 : Schéma de principe (TG)

2. Turbine à vapeur :

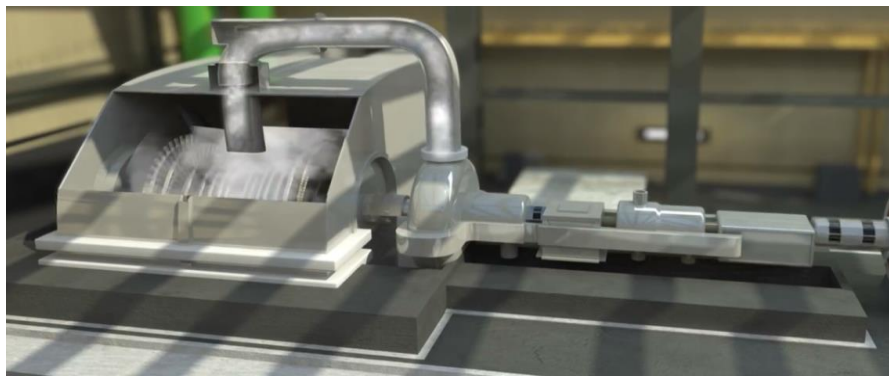


Figure 8 : Image 3D de la Turbine à vapeur

La turbine à vapeur est conçue pour être utilisée avec une turbine à gaz au sein d'une centrale électrique à cycle combiné. Le débit massique provenant de la chaudière de récupération, comprenant un débit haute pression (HP), à pression intermédiaire (PI) et basse pression (BP) alimente la turbine à vapeur.

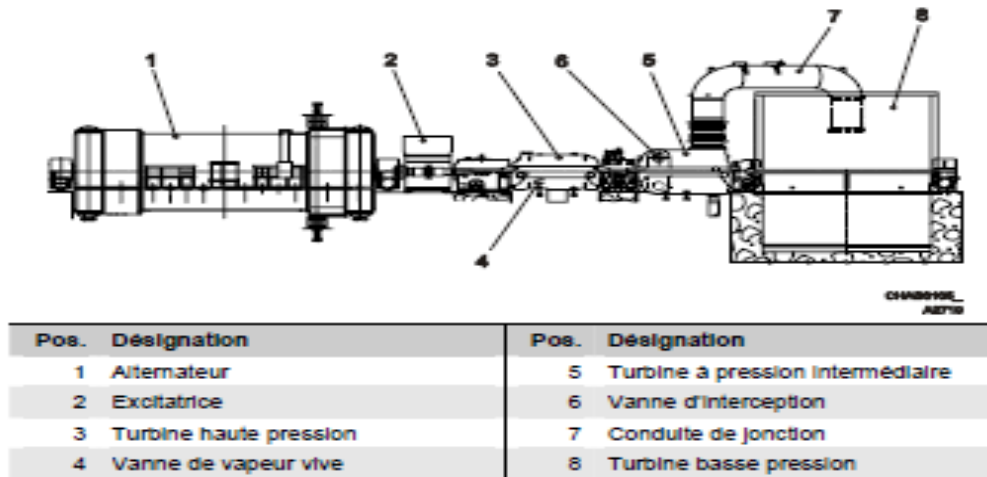


Figure 9 : Dessin d'ensemble de la turbine à vapeur

■ Les Principaux groupes de la Turbine à Vapeur :

La turbine HP à simple flux est de type à double enveloppe moulée et est constituée d'une :

➤ Turbine HP :

Enveloppe extérieure, d'une enveloppe intérieure à ailettes avec piston d'équilibrage et section d'admission de la vapeur, de joints d'arbre et d'un rotor à ailettes. Le corps de vanne est fixé par des brides à l'enveloppe extérieure.

➤ Turbine MP :

La turbine PI à simple flux est constituée d'une enveloppe extérieure moulée, d'une enveloppe intérieure moulée à ailettes avec piston d'équilibrage et section d'admission de la vapeur et d'un joint d'arbre. La turbine MP possède un rotor à ailettes commun.

Le corps des vannes d'interception est fixé par des brides à l'enveloppe extérieure.

Les vannes secondaires sont raccordées par des conduites d'admission. Une conduite de jonction alimente la turbine BP.

➤ Turbine BP :

La turbine BP à double flux équipée d'échappements radiaux latéraux est constituée d'une enveloppe extérieure soudée, d'une enveloppe intérieure moulée à ailettes avec extractions de préchauffage de l'eau d'alimentation, de joints d'arbre et d'un rotor de turbine à ailettes.

Le collier d'échappement est raccordé au condenseur principal par soudage solide.

➤ Réservoir d'eau d'alimentation :

Le réservoir d'eau d'alimentation avec dégazeur à contact direct intégré est une construction soudée et sert de réservoir de réserve pour le cycle eau/vapeur complet de la turbine à vapeur. La vapeur extraite de la turbine BP est amenée directement dans le dégazeur.

➤ Condenseur de vapeur de barrage :

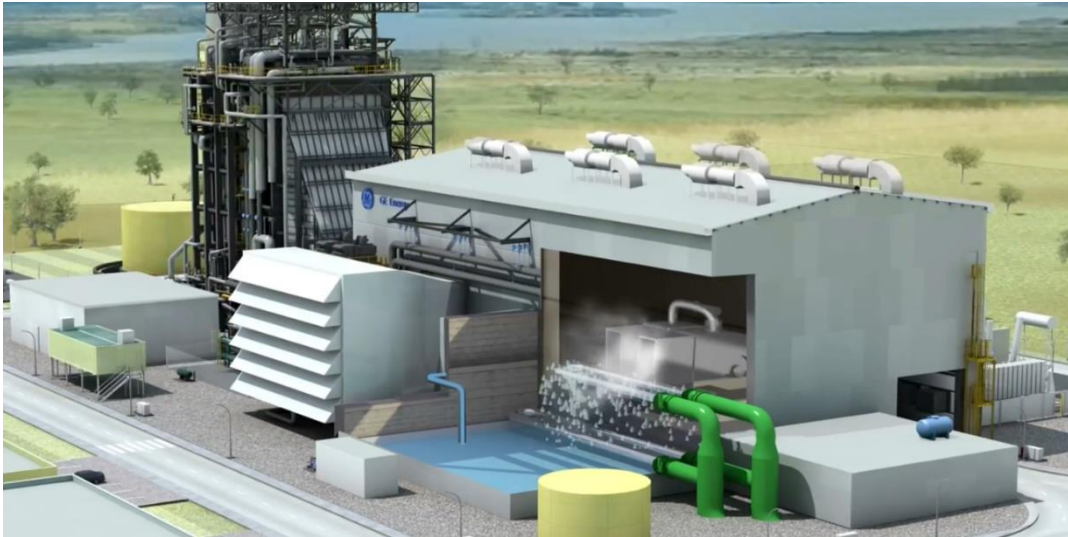


Figure 10 : Le Condenseur

Le condenseur de vapeur de barrage est une construction soudée avec tubes de refroidissement droits refroidis par condensat, insérés dans les plaques tubulaires, le puits de recueil intégré et les boîtes à condensat. Un ventilateur monté aspire le mélange vapeur/air des systèmes de joint d'arbre de la turbine à vapeur et l'évacue vers l'atmosphère.

Fiche Technique :

- Nom de la centrale : Ghannouch
- N° de commande ALSTOM : 30-0132
- Type de machine : VLD/SSS340T - HCY050 - ALM - MC1L - ZL1 - 2N41B/Z S - ATG (DKYZZ3 - 2N41B)
- Type de centrale : KA26 - 1 SSPT

	TV
Charge	100%
Puissance	162MW
Vitesse	3000 tr/min
Pression de la vapeur vive	137.9 bar
Température de la vapeur vive	565°C
Pression de la vapeur après réchauffement	28.86 bar
Température de la vapeur après réchauffement	564.9°C
Admission de la vapeur secondaire	4.769 bars
Température de la vapeur secondaire	284.7°C
Pression du condenseur	0.043 bars

	Température	Pression	débit
Vapeur haut pression HP	565°C	137.9 bar	318 t/h
Vapeur moyenne pression MP	564.9°C	28.86 bar	357.7 t/h
Vapeur basse pression BP	284.7°C	4.769 bars	31.6 t/h

Figure 11 : Caractéristiques techniques de la turbine à vapeur

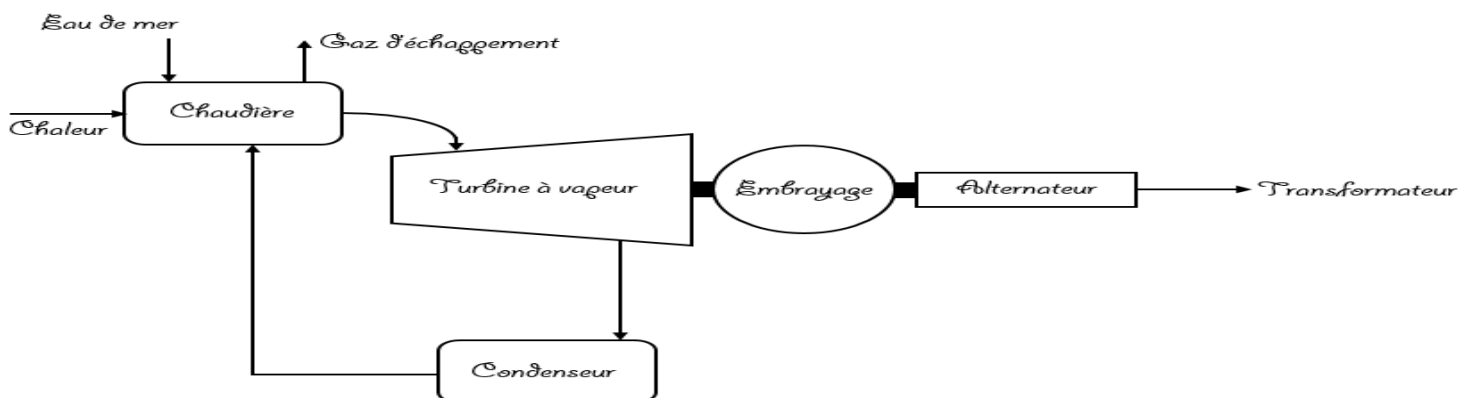


Figure 12 : Schéma de principe de la Turbine à vapeur

3. L'Alternateur :



Figure 13 : Image de L'alternateur

Cette machine synchrone est réversible, elle a pour rôle de convertir l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique et elle est constituée d'un rotor (partie tournante) et d'un stator (partie fixe).

Cette machine synchrone joue deux rôles importants :

- **Phase 1** : La machine synchrone prend tout d'abord le rôle du moteur de démarrage pour la turbine à gaz (GT26)
- **Phase 2** : La machine synchrone est un alternateur pour produire de l'énergie électrique.

L'énergie de démarrage est fournie par le réseau Haute tension, à travers le transformateur élévateur.

▪ **Le rotor (l'inducteur) :**

Le rotor est un cylindre d'acier solide équipé d'encoches usinées. Deux, quatre ou plus (toujours un nombre pair) enroulements sont insérés dans les encoches. Des barres de cuivre ou d'aluminium sont utilisées pour les enroulements. Les extrémités des enroulements sont raccordées à une source de courant continu (CC)

▪ Le stator (l'induit)

Le stator est monté sur le corps de l'alternateur et composé de feuilles de fer laminées superposées. Dans les encoches du stator, au moins un enroulement/bobine est inséré (dans une application technique, trois).

La fonction de l'alternateur est de convertir la puissance mécanique délivrée par la turbine à l'accouplement du rotor en puissance électrique, sous la forme d'une différence de potentiel et d'un courant, aux bornes de l'alternateur principal. L'alternateur est construit pour résister à un large éventail de conditions de fonctionnement anormales, par exemple charges déséquilibrées et court-circuit brusques.

Les caractéristiques de cet alternateur sont :

Alternateur	GT26
Type	50WT21H-120
Facteur de puissance	$\cos \varphi = 0.8$
Courant par phase	10.33KA
Tension aux bornes	21KV

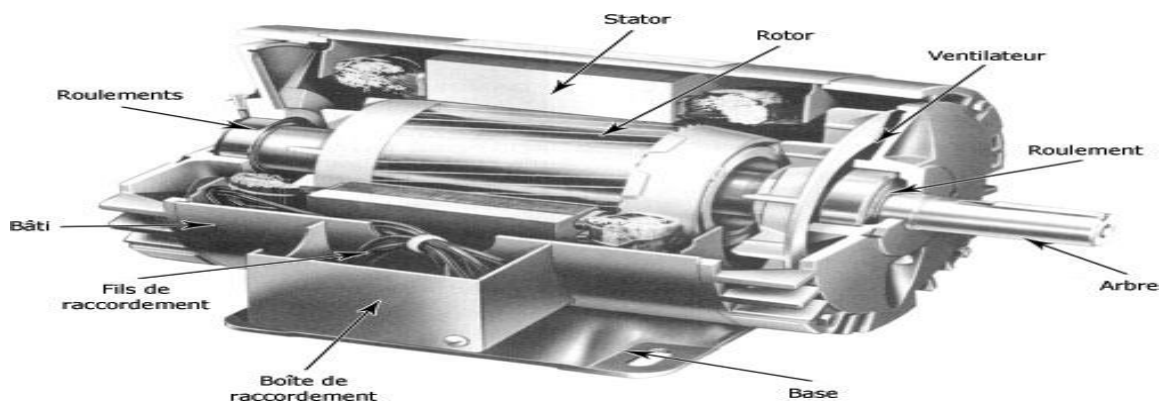


Figure 14 : Schéma en perspective de l'alternateur

4. Embrayage SSS :

L'embrayage auto-commutable synchrone permet d'accélérer la turbine à vapeur et de la raccorder à l'alternateur déjà entraînée par la turbine à gaz.

La turbine à vapeur peut être déconnectée de l'ensemble turbine à gaz/ alternateur en service à tout moment. L'embrayage est automatiquement engagé chaque fois à la vitesse définie. Il se déclenche automatiquement dès que la turbine à vapeur décélère par rapport à l'alternateur.

Lorsque l'embrayage est désengagé, la turbine à vapeur peut tourner à vitesse réduite grâce à son vireur correspondant, indépendamment de la vitesse de la turbine à gaz.

5. Chaudière de récupération :



Figure 15 : Image de la chaudière

Une chaudière de récupération est un échangeur de chaleur qui permet de récupérer l'énergie thermique d'un écoulement de gaz chaud. Elle produit de la vapeur qui peut être utilisée dans un procédé industriel ou pour alimenter une turbine à vapeur.

Une application usuelle pour une chaudière de récupération est dans la centrale électrique à cycle combiné, où les gaz d'échappement de la turbine à gaz alimentent la chaudière de récupération pour générer de la vapeur qui alimentera la turbine à vapeur.

Cette combinaison produit de l'électricité plus efficacement qu'une turbine à gaz ou une turbine à vapeur seule.

Une autre application pour une chaudière de récupération est dans une centrale à cycle combiné avec un moteur diesel, où les gaz d'échappement du moteur diesel alimentent la chaudière de récupération qui alimente la turbine à vapeur.

Paramètres importants :

• Pression : contrôlée par le circuit résistant (Principalement la TV) en sortie HRSG en fonction du débit de vapeur produit par celle-ci.

• Température : contrôlée par la désurchauffe elle doit être la plus haute possible tout en respectant les températures limites des matériaux (tuyaux, échangeurs, turbine vapeur...).

• Niveaux ballon : réserve d'eau chaudière.

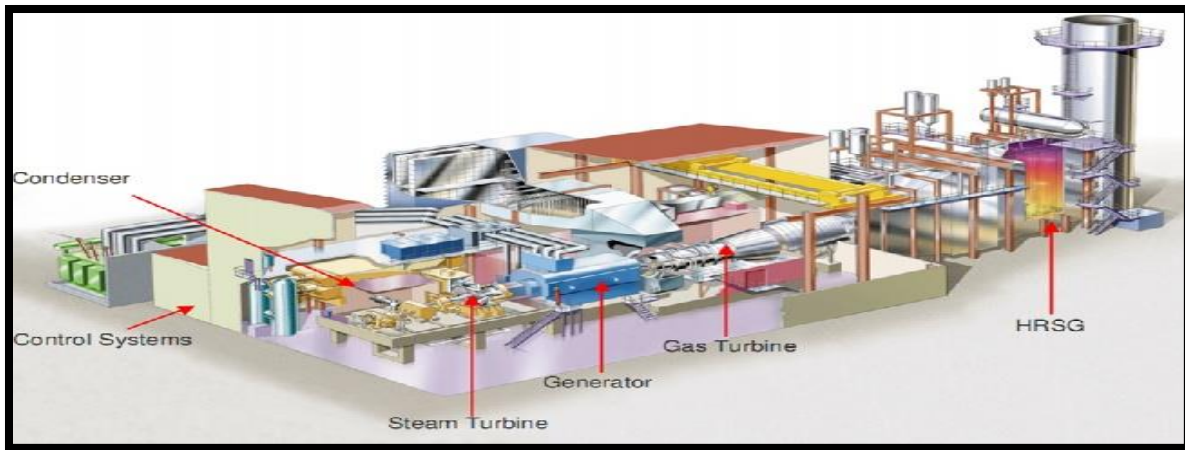


Figure 16 : les composantes de la Centrale Cycle Combiné

IV. Cycle eau vapeur :

La vapeur vive provenant de la chaudière de récupération passe par la vanne de vapeur vive, constituée d'une vanne d'arrêt et d'une vanne de régulation, et pénètre dans l'enveloppe intérieure HP où elle se dilate dans les ailettes.

Après dilatation, la vapeur retourne à la chaudière de récupération par la conduite de réchauffement à froid pour y être réchauffée.

La vapeur PI resurchauffée passe par la conduite de resurchauffe chaude et deux vannes d'interception constituées d'une vanne d'isolement et d'une vanne de régulation, et pénètre dans l'enveloppe intérieure PI où elle se dilate dans les ailettes.

La vapeur PI dilatée rejoint ensuite la vapeur secondaire, qui pénètre par une vanne de vapeur secondaire constituée d'une vanne d'isolement papillon et d'une vanne de régulation papillon, dans l'échappement de la vapeur PI, et est amenée dans la turbine BP par une conduite de jonction.

La vapeur provenant de la turbine BP circule vers le condenseur agencé radialement une fois la dilatation terminée.

Une fois la condensation terminée, le condensat passe dans le réservoir d'eau d'alimentation pour le chauffage d'alimentation. Un retrait dans la turbine BP assure le chauffage.

V. Les transformateurs :

Après la production de l'électricité deux transformateurs qui fonctionnent de deux façons opposées l'un est *élévateur* :

Le transformateur principal permet l'augmentation de la tension de 21 KV jusqu'à 225 KV le transformateur est installée a l'extérieur du centrale.

De plus ce type de transformateur est accompagné d'un système de refroidissement à huile ainsi qu'a l'air forcé.

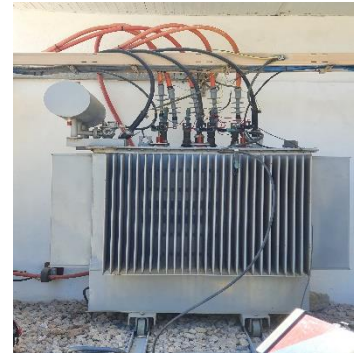
Et l'autre est *abaisseur* :

Ce transformateur est appelée soutirage a trois enroulements permet l'alimentation du tableau en moyen tension et le système de démarrage statique. Le tableau moyen tension est raccordée les pompes alimentaires et les pompes a huile de réfrigération.



VI. Etude de Cas :

Test et mesure d'un transformateur MT/BT 6.6KV/400V pour alimentation de l'unité d'électro-chloration .



1. Définition et rôle d'un transformateur :

Le transformateur électrique a plusieurs fonctions : il permet d'abaisser ou augmenter la tension du courant électrique qui traverse le réseau. Dès la centrale de production d'électricité jusqu'au domicile du consommateur, le transport du courant électrique se fait par des câbles de très haute, haute, moyenne puis basse tension. Pour permettre à l'électricité de passer d'une ligne à l'autre, il est nécessaire d'abaisser sa tension. Le transfo permet au courant électrique d'être acheminé chez vous sans aucun danger.

2. Différent types des transformateur :

- Le transformateur de puissance.
- Le transformateur de tension.
- Le transformateur de courant.
- Le transformateur d'isolement.
- Le transformateur d'impédance

3. Problème :

Après l'installation du transformateur et en cours de l'exploitation essai de mise en charge les techniciens de la centrale ont remarqué que le transfo a des tensions à ces bornes mais en essai en charge ce premier ne débite plus de courant.



4. Solution :

L'équipe STEG a utilisé plusieurs matériels pour faire le diagnostic de ce transformateur.

➤ MEGGER S1-560 :

Les testeurs d'isolement S1-568 5kV ont été conçus et testés pour rencontrer les exigences les plus strictes des installations électriques du 21e siècle. En plus d'être solide et de grande performance, le S1-568 permet de réaliser des mesures précises de résistance d'isolement dans

des environnements extrêmes, perturbés, isolés, avec une charge rapide de la capacité pour plus de simplicité et de sécurité.



➤ **CPC-100:**

Le système de test d'injection primaire breveté CPC 100 remplace plusieurs appareils de test individuels, ce qui réduit les coûts de formation et de transport et minimise la durée des tests. Le CPC 100 représente donc l'équipement de test idéal pour la mise en service et la maintenance des appareillages de postes électriques. Il permet de mesurer la capacité d'isolement .



➤ **RAYTECH WR50-12:**

Il est conçu pour un haut degré de précision pour la mesure de la très faible résistance de toute charge inductive. Il permet de mesurer la résistance d'enroulement.



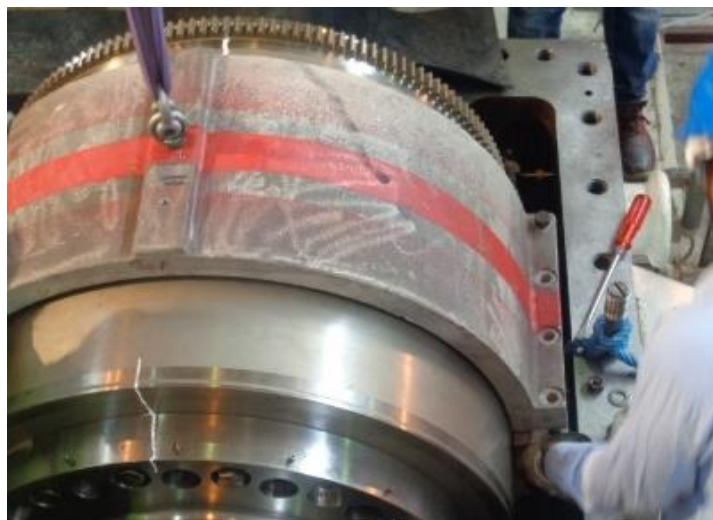
Conclusion :

- ❖ Après les mesures l'équipe de STEG a déduit qu'il y a un déphasage entre les trois enroulements et le défaut est dans le 3^{ème} enroulement alors ils vont refaire le rebobinage de ce transformateur.

VII. Annexes :



Roues turbine à vapeur



Embrayage SSS



Corps de la turbine à gaz

Conclusion générale

Durant ce stage, STEG GHANNOUCH m'a permis d'enrichir mes connaissances théoriques et pratiques et contacter le milieu industriel. Ainsi que, j'ai découvert un nouveau domaine qui est le dessalement j'ai pu découvrir ces différentes Unités et le fonctionnement d'une Turbine., pour cette station.

Les relations que j'ai pu entretenir avec l'équipe m'ont initié sur le principe de travailler ensemble pour produire et améliorer, ce qui constitue une forte expérience professionnelle pour ma prochaine entrée à la vie professionnel.

Enfin, j'espère que ce rapport sera bien apprécié et jugé.