

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية والشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد بوضياف - المسيلة

Université de Mohamed Boudiaf- M'Sila

Faculté de Technologie



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

**Option** : Fabrication Mécanique

Présenté par :

BENACHOUR Ayache

SAIDI Fehmi

### Thème

**PROTECTIONS TECHNOLOGIQUES ELECTRIQUES ET DE LA  
CENTRALE A CYCLE COMBINEE DE AIN ARNAT**

Devant le jury :

Dr. ZAOUI Moussa	MCA	Président
Dr. ROKBI Mansour	MCA	Examineur
Dr. ZERGANE Said	MCA	Encadreur

Année Universitaire : 2020 / 2021

N° d'ordre : GM/...../2021

## Remerciements

Tout d'abord je remercie ALLAH le Bon dieu, le Compatissant, de m'avoir donné la foi et le courage de mener à bien ce projet.

Je voudrais adresser mes sincères remerciements à mon superviseur, Dr. ZERGANE Said, cela m'a aidé à terminer ce travail.

J'adresse mes remerciements et ma gratitude au chef du département de mécanique, Mansour Rokbi

Un grand merci aussi à mes parents qui nous ont donné la lumière et les conseils

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement à l'incarnation de ce travail.

Je remercie également tous les enseignants du département de mécanique qui ont contribué à ma formation.

Mes sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de se prononcer sur ce point action.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à tous.

## Table des matières

Remerciements .....	2
Introduction générale.....	3
Chapitre I : Généralités sur la production d'électricité.....	4
1. La production de l'électricité.....	5
2. Les centrales thermiques .....	6
2.1 Les centrales nucléaires .....	6
2.2 Centrale solaire thermodynamique.....	7
Les centrales à flamme.....	7
3. Les turbines .....	8
3.1 Généralités.....	8
3.2 Les turbines à vapeur .....	9
3.2.1. Les principaux composants d'une turbine à vapeur .....	10
3.2.1.1. Corps de turbine.....	10
3.2.1.2. Pales fixes.....	11
3.2.1.3. Pales rotatif .....	11
3.2.1.4. Paliers.....	12
3.2.1.5. Vannes de vapeur de la turbine .....	13
3.2.1.6. Vannes d'admission de turbine .....	13
3.2.2. Types de Turbine à vapeur.....	15
3.3 Les turbines à gaz.....	16
3.3.1 Définition d'une turbine à gaz .....	16
3.3.2 Classification des turbines à gaz .....	16
3.3.3. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz .....	18
3.3.4. Les éléments essentiels de la turbine à gaz.....	19
Dispositif de virage .....	20
4. Les chaudières de récupération .....	21
4.1. Classification des chaudières de récupération .....	21
4.1.1 Selon l'arrangement des échangeurs.....	21
4.1.2 Selon la circulation des fluides.....	22
5. Alternateurs.....	25
5.1. Les alternateurs refroidis par l'hydrogène .....	25
5.2. Les alternateurs refroidis par l'eau .....	25
5.3. Les alternateurs refroidis à l'air .....	25
6. Transformateurs .....	26
7. Théorie du cycle combiné .....	27
7.1. Présentation générale.....	27
7.2. Centrales à cycle simple.....	28
7.2.1 Cycle de turbine à gaz .....	28
7.2.2 Cycle de turbine à vapeur.....	29
7.3. Centrales à cycle combiné.....	30
7.3.1 Différentes configurations de centrale à cycle combiné.....	31
7.3.1.1 Configuration mono-arbre « single-shaft ».....	31
7.3.1.2 Configuration multi-arbre « multi-shaft » .....	34
Chapitre II : Présentation de la centrale a cycle combiné de AIN ARNAT .....	36

1 Introduction.....	37
2 Description Générale .....	38
3 Description des principaux équipements .....	39
3.1 Turbine à gaz .....	39
3.1.1 Auxiliaires de la turbine à gaz .....	41
3.1.1.1 Le système d'huile de lubrification (MAV) .....	41
3.1.1.2 Le système d'huile de soulèvement (MAV) .....	41
3.1.1.3 Le système d'huile de commande TG (MBX) .....	41
3.1.1.4 Le système d'admission d'air (MBL) .....	41
3.1.1.5 Système d'eau de refroidissement d'huile.....	42
3.2 Turbine à vapeur .....	42
3.2.1 Auxiliaires de la turbine à vapeur.....	45
3.2.1.1 Le système d'huile de commande TV (MAX) .....	45
3.3 Alternateur (Générateur) .....	46
3.3 Alternateur (Générateur) .....	48
3.3.1 Auxiliaires d'alternateur.....	52
3.3.1.1 Système d'huile d'étanchéité (MAW) .....	52
3.3.1.2 Système de gaz d'alternateur .....	53
3.4 Chaudière de récupération (HRSG) .....	53
3.4.1 La section de génération de vapeur à basse pression .....	54
3.4.1.1 Ballon de vapeur BP .....	54
3.4.1.2 Évaporateurs BP .....	55
3.4.1.3 Économiseur/chauffeur d'eau d'alimentation BP .....	55
3.4.1.4 Dégazeur .....	55
3.4.2 Section de génération de vapeur à moyenne pression .....	56
3.4.2.1 Ballon de vapeur MP .....	55
3.4.2.2 Évaporateur MP .....	56
3.4.2.3 Économiseur MP .....	56
3.4.2.4 Surchauffeur MP .....	56
3.4.3 Section de génération de vapeur haute pression : 56	
3.4.3.1 Ballon de vapeur HP .....	56
3.4.3.2 Évaporateur HP .....	57
3.4.3.3 Économiseur HP .....	57
3.4.3.4 Surchauffeur HP basse température .....	57
3.4.3.5 Surchauffeur HP à température élevée .....	57
3.4.3.6 Dé-surchauffeur HP .....	57
3.4.4 Système d'eau d'alimentation de la chaudière de récupération .....	58
3.4.5 Principe de fonctionnement de la chaudière de récupération dans la centrale ...	59
3.5 Aérocondenseur .....	60
3.5.1 Philosophie du système .....	60

3.5.2 Système d'extraction d'air .....	62
3.5.3 Système des condensats .....	63
Chapitre III : Les protections de la centrale cycle combiné d'AIN ARNAT .....	65
1. Introduction .....	66
2. Les protections technologiques dans la centrale d'Ain Arnat .....	66
2.1 Protection de la turbine à gaz .....	66
2.1.1 Protection contre la survitesse .....	66
2.1.2 Protection contre la température des paliers.....	67
2.1.3 Protection contre les vibrations des logements palier (absolue) .....	68
2.1.4 Protection contre la température turbine.....	69
2.1.5 Protection anti-pompage du compresseur .....	71
2.1.6 Protection anti-implosion du caisson de d'admission d'air TG .....	71
2.1.7 Surveillance du niveau de la station hydraulique.....	72
2.1.8 Protection incendie.....	73
2.1.9 Déclenchement par la protection de la turbine à vapeur.....	73
2.1.10 Déclenchement par la protection de la chaudière de récupération .....	73
2.2 Protection de l'alternateur .....	74
2.2.1 Protection contre les vibrations relatives de l'arbre de l'alternateur.....	74
2.2.2 Protection contre les vibrations des logements palier (absolue).....	74
2.2.3 Protection contre la température absolue de gaz froid de l'alternateur.....	75
2.2.4 Protection contre la pression d'hydrogène de l'alternateur.....	75
2.2.5 Pression différentielle huile d'étanchéité / H2 de l'alternateur.....	76
2.3 Protection de la turbine à vapeur .....	78
2.3.1 Protection contre la survitesse turbine.....	78
2.3.2 Protection contre l'usure de la butée .....	78
2.3.3 Protection contre les vibrations absolues des paliers.....	78
2.3.4 Protection contre les vibrations relatives d'arbre.....	79
2.3.5 Protection contre la température des paliers .....	79
2.3.6 Protection sur manque de pression d'huile de lubrification des paliers.....	79
2.3.7 Protection du niveau du réservoir d'huile principal.....	80
2.3.8 Protection contre le manque de vide au condenseur.....	80
2.4 Protection de la chaudière de récupération (HRSG) .....	81
2.4.1 Protection du niveau des ballons (HP), (IP) et (LP) .....	81
2.4.2 Protection de la température de la vapeur (HP) et (HRH) .....	82
2.4.3 Protection du déclenchement des pompes d'extraction du condensat (CEP)...	82
2.4.4 Protection du déclenchement des pompes d'alimentation de chaudière (BFP) ...	82
3. Les protections électriques dans la centrale d'Ain Arnat .....	84
Conclusion général.....	86

## Introduction générale:

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue.

Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines capables de produire de l'électricité en grande quantité.

La turbine et l'alternateur sont les deux pièces maîtresses de ces générateurs d'électricité.

Dans le cas des usines thermiques, la turbine est entraînée par la vapeur produite dans les chaudières où l'on brûle les combustibles, alors que dans le cas des usines hydroélectriques, la turbine est animée par la force de l'eau.

La turbine est couplée à un alternateur, un grand aimant cerclé d'une bobine, qui va produire un courant alternatif en tournant. Une fois le courant produit, il doit être amené

Jusque chez le consommateur.

A la sortie de la centrale, un premier transformateur, un survolteur, augmente la tension du courant à 400 ou 800000 V. Ceci permet de minimiser les pertes d'énergie pendant le transport.

Près du point de livraison, un deuxième transformateur, un survolteur, fait l'opération inverse : il abaisse la tension du courant pour la mettre aux normes du réseau domestique. Il existe d'autres manières efficaces de produire de l'électricité : les panneaux solaires transforment la lumière du soleil en électricité et les éoliennes utilisent la force du vent.

Il faut savoir qu'il existe également des usines marémotrices qui utilisent la force des marées, que la géothermie exploite les gisements d'eau chaude stockés dans le sous-sol terrestre, tandis que les usines à biomasse utilisent les déchets comme source d'énergie.

Toute l'installation électrique peut être le siège de perturbations accidentelles dues à des causes non prévisibles, ces perturbations peuvent être dangereuses pour le personnel et pour le matériel, il y a donc lieu de prévoir des moyens de protection appropriés qui font appel aux projets de l'appareillage électrique, la manœuvre, la surveillance, la protection des appareils sont le plus souvent assurées automatiquement.

Il est important donc d'utiliser du matériel de meilleure qualité et dont la sécurité de fonctionnement soit totale ; d'où la nécessité pour les constructeurs de fabriquer des appareils sûrs et efficaces. L'évolution de technologie et le développement de l'informatique constitue un ensemble qui a donné naissance aux automates programmables industriels (API).

L'introduction des automates dans les procédés industriels permettent un gain de temps, une souplesse accrue dans la manipulation, une haute fiabilité, la localisation et l'élimination rapide des pannes. L'automatisation du procédé des machines et suivi des installations industrielles et protection de la turbine consiste à assurer la conduite et la commande par un dispositif technologique.

Dans ce travail, On s'intéressera particulièrement aux systèmes des protections des différents équipements existant dans une centrale de production d'électricité.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la production d'électricité**

## 1. La production de l'électricité :

La production d'électricité est tout simplement une conversion, une transformation d'énergie mécanique (liée au mouvement) en énergie électrique.

La plupart du temps l'électricité est produite à partir d'une source de chaleur, en utilisant la vapeur d'eau comme colporteur d'énergie. La vapeur fait tourner des turbines qui sont couplées à des générateurs électriques. La vapeur peut être produite en utilisant la plupart des sources d'énergie.

Les énergies hydrauliques et éoliennes étant des exceptions puisque c'est l'énergie de l'eau et du vent en déplacement qui produit un travail directement dans une turbine couplée à un générateur.

Les centrales nucléaires utilisent souvent un circuit primaire et secondaire de vapeur, afin d'isoler physiquement le réacteur nucléaire de la salle des générateurs et du reste des installations.

De petites installations (brûlant habituellement du gaz naturel) combinent la génération d'électricité et de chaleur (pour le chauffage domestique ou pour des processus industriels). Ces centrales électriques combinées ont le meilleur rendement, après les centrales hydroélectriques.

Des expériences sont en cours pour utiliser la géothermie pour produire de l'électricité en creusant à très grande profondeur dans des roches dures, ce qui permettent de réchauffer un fluide caloporteur alimentant en vapeur une turbine (via une pompe à chaleur quand la température est trop faible).

Tous les véhicules automobiles non électriques utilisent un petit alternateur couplé mécaniquement au moteur principal pour une génération locale d'électricité basse tension, une batterie d'accumulateur le remplace pendant l'arrêt du moteur principal.

Des unités d'appoint ou de secours, appelées groupes électrogènes permettent une fabrication d'électricité ponctuelle, ils utilisent tous un moteur à explosion pour entraîner la génératrice.

Il existe des groupes transportables pour une utilisation des outils électriques hors des lieux électrifiés.

De gros générateurs sont utilisés pour pallier une rupture de fourniture toujours possible du fournisseur d'électricité. Les hôpitaux, certains services publics et, les grandes entreprises ne pouvant supporté un arrêt brutal de leurs processus industriels possèdent des groupes électrogènes à démarrage automatique.

## 2. Les centrales thermiques :

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur. Cette source peut être un combustible brûlé (tels gaz naturel, certaines huiles minérales, charbon, déchets industriels, déchets ménagers), la fission de noyaux d'uranium 235 ou de plutonium 239.

La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur par exemple), gaz qui entraîne une turbine accouplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique de la turbine en énergie électrique.

Pour entraîner la turbine, il faut que la pression soit plus faible à sa sortie qu'à l'entrée. La baisse de pression à la sortie de la turbine est obtenue en condensant le gaz, en aval de la turbine, à l'aide d'une source froide.

Le fluide condensé est en général réutilisé comme source de vapeur et effectue un cycle thermodynamique fermé.

Les centrales thermiques se répartissent en trois grandes catégories, selon la nature de leur source de chaleur :

- ❖ Centrales nucléaires (**figure1.1**)
- ❖ Centrales à flamme (charbon, fioul ou gaz), (**figure1.2**)
- ❖ Centrales récupérant de la chaleur préexistante (solaire, géothermique...). (**Figure1.3**)

### 2.1 Les centrales nucléaires :

Une centrale nucléaire est un site industriel utilisant la fission de noyaux atomiques pour produire de la chaleur, dont une partie est transformée en électricité (entre 30 % et 40 % en fonction de la différence de température entre la source froide et chaude). C'est la principale mise en œuvre de l'énergie nucléaire dans le domaine civil.

Une centrale nucléaire est constituée d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires dont la puissance électrique varie de quelques mégawatts à plus de 1 500 mégawatts pour le réacteur soviétique de grande puissance RBMK. Selon les promoteurs du futur réacteur européen EPR, il devrait atteindre une puissance record de 1 600 mégawatts.

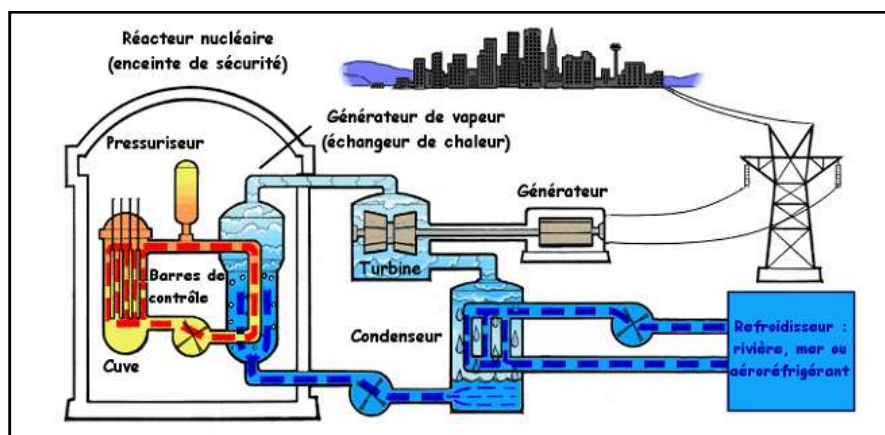


Figure 1.1 : Centrale nucléaire

## 2.2 Centrale solaire thermodynamique :

Le soleil envoie chaque année 1.080.000.000 térawatt heures d'énergie sur la terre l'équivalent de 60.000 fois la consommation mondiale annuelle d'électricité.

L'énergie solaire possède ainsi le plus grand potentiel parmi toutes les énergies renouvelables.

Une centrale solaire thermique (ou centrale solaire thermodynamique<sup>1</sup> ou encore helio thermodynamique) est une centrale qui concentre les rayons du soleil à l'aide de miroirs afin de chauffer un fluide caloporteur qui permet en général de produire de l'électricité.



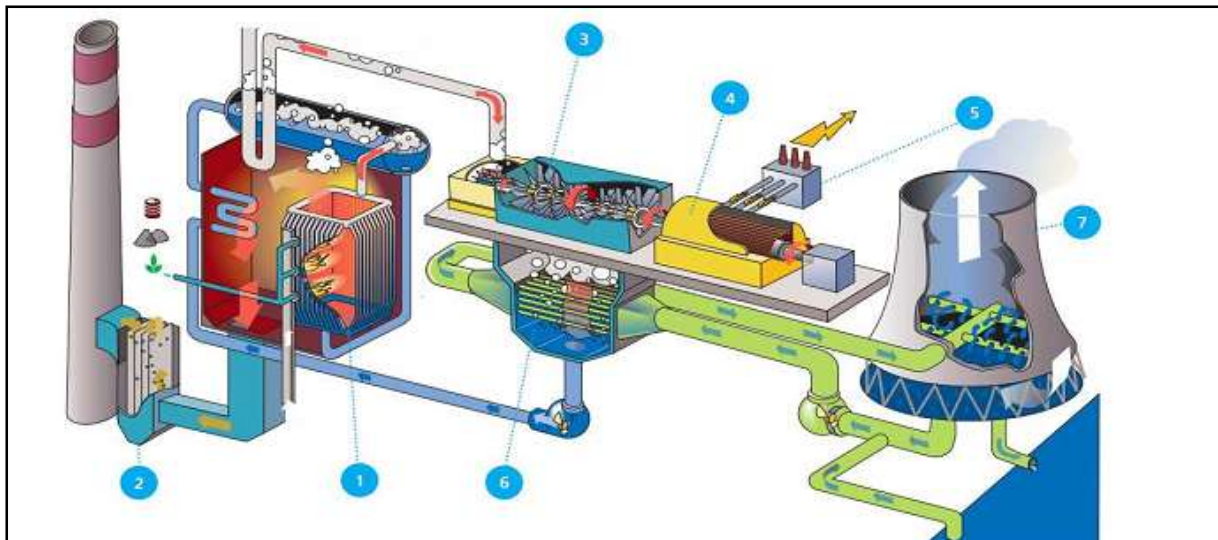
**Figure 1.2 : Centrale constituée de capteurs cylindro paraboliques**

## 2.3 Les centrales à flamme:

Une centrale thermique à flamme utilise l'énergie fournie par la combustion d'un combustible (charbon, pétrole, gaz naturel, gaz issus de hauts-fourneaux). Cette combustion a lieu dans une chaudière.

La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière.

Le refroidissement de la vapeur issue de la turbine est confié à une réserve d'eau (cours d'eau) ou plus rarement à une tour de refroidissement analogue à celle d'une centrale nucléaire.



- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1: Chaudière à vapeur | 5 : Transformateur          |
| 2: Electro filtre     | 6 : Condenseur              |
| 3: Turbine à vapeur   | 7 : Tour de refroidissement |
| 4: Alternateur        |                             |

**Figure 1.3 : Centrale a flamme de production d'électricité**

### 3. Les turbines :

#### 3.1 Généralités:

La thermodynamique est la science qui étudie et décrit le comportement de la matière ou des systèmes, en fonction des notions de température  $T$ , d'énergie (chaleur  $Q$ , travail  $W...$ ) et d'entropies.

La thermodynamique :

- ❖ Étudie l'évolution ou les transformations de la matière ou des systèmes en considérant les variations d'état du système, lors d'échanges d'énergie entre le milieu extérieur et le système.
- ❖ Repose sur 2 notions de base, l'énergie interne ( $U$ ) et l'entropie ( $S$ ) qui satisfont aux deux principes suivants, qui stipulent que :
  - L'énergie se conserve (premier principe de conservation de l'énergie).
  - L'entropie ne peut qu'augmenter (deuxième principe d'évolution).

L'objet de la thermodynamique est d'étudier le fonctionnement et le bilan d'énergie des machines thermiques et aussi les échanges ou transferts de chaleur dans un système ou entre deux systèmes.

- ❖ Dans les machines thermiques on assiste à une conversion d'énergie d'une forme en une autre (chaleur  $\rightarrow$  travail ou inversement).
- ❖ dans les échanges de chaleur, il y a transfert de chaleur par suite d'une différence de température dans le système ou entre deux systèmes.

Le système est défini comme une partie de matière (de masse donnée) délimitée par rapport au milieu extérieur. Le milieu extérieur est le reste de l'espace entourant le système. Une turbine est un dispositif rotatif destiné à utiliser l'énergie cinétique d'un fluide liquide comme l'eau ou gazeux (vapeur, air, gaz de combustion), pour faire tourner un arbre solide des pales de la turbine.

L'énergie du fluide, caractérisée par sa vitesse et son enthalpie, est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur, une pompe ou tout autre récepteur mécanique rotatif.

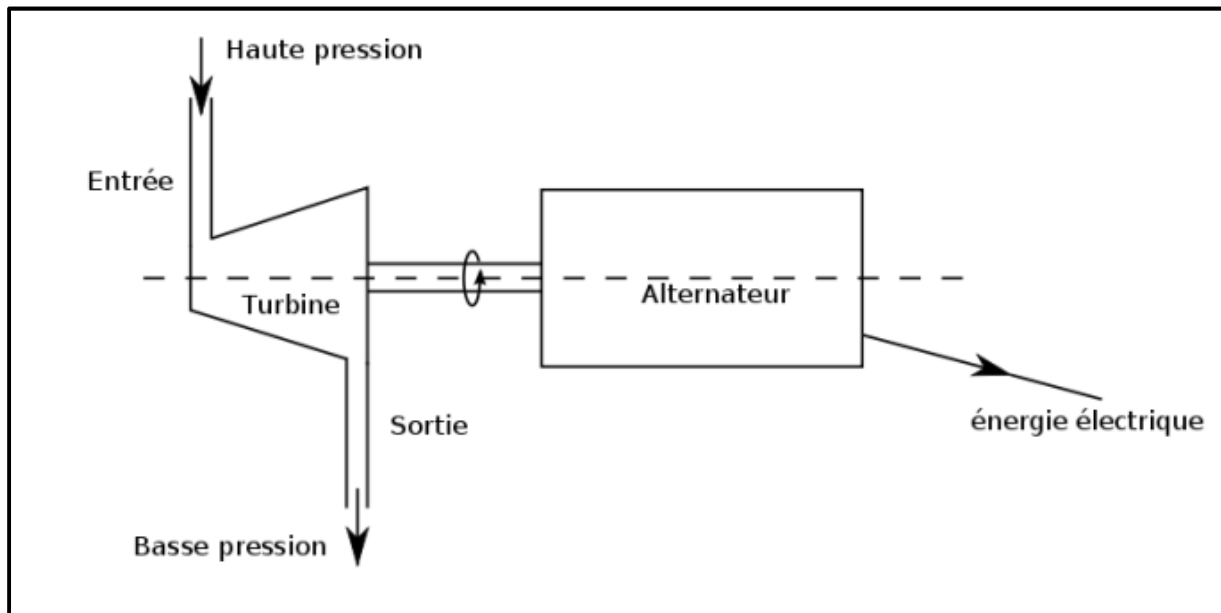
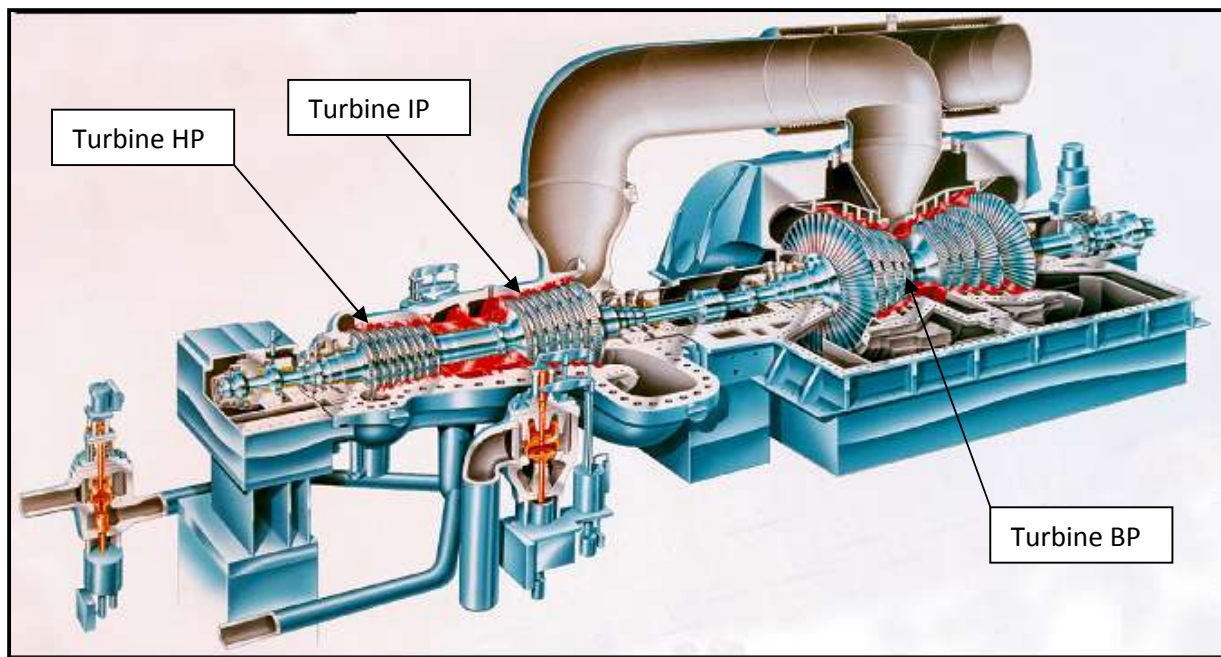


Figure 1.4 : Schéma de principe d'une turbine

### 3.2 Les turbines à vapeur :

La turbine à vapeur a pour rôle de convertir l'énergie de la vapeur à température et pression élevées provenant de la chaudière ou de la chaudière de récupération en énergie mécanique. Il est fréquent d'appeler la conversion d'énergie qui intervient dans la turbine comme intervenant en une seule étape.

La conversion d'énergie dans la turbine se fait en fait en deux étapes. En premier, l'énergie thermique de la vapeur est convertie en énergie cinétique d'un jet de vapeur par des directrices. En second lieu, les jets de vapeur sont utilisés avec des aubes ou des pales montées sur un rotor pour produire une force mécanique et un couple.



**Figure 1.5 : Vue à l'intérieur d'une station de puissance de turbine à vapeur**

Une turbine à vapeur est constituée d'un rotor comprenant un arbre sur lequel sont fixées des aubes et d'un stator constitué d'un carter portant des déflecteurs fixes, généralement constitué de deux parties assemblées selon un plan axial. Elle comprend en outre un tore d'admission segmenté et un divergent d'échappement dirigé vers le condenseur.

La fonction des déflecteurs fixes est d'assurer tout ou partie de la détente en formant un réseau des tuyères et de modifier la direction de l'écoulement sortant de l'étage précédent.

Une turbine à vapeur comprend un ou plusieurs étages assurant chacun deux fonctions :

- La détente de la vapeur qui correspond à la conversion de l'énergie potentielle en énergie cinétique.
- La conversion de l'énergie cinétique en couple de rotation de la machine par le biais des aubages mobiles.

### **3.2.1. Les principaux composants d'une turbine à vapeur :**

Cette section décrit les principaux composants d'une turbine à vapeur qui sont sur l'axe de la turbine par exemple les corps de turbine et les rotors ainsi que les éléments de support importants tels que les montants et les paliers.

#### **3.2.1.1. Corps de turbine**

La fonction des corps de turbine est de maintenir la vapeur dans la turbine et l'air hors de la turbine. Les corps soutiennent également les éléments internes fixes de la turbine et maintiennent ces pièces en alignement avec le rotor.

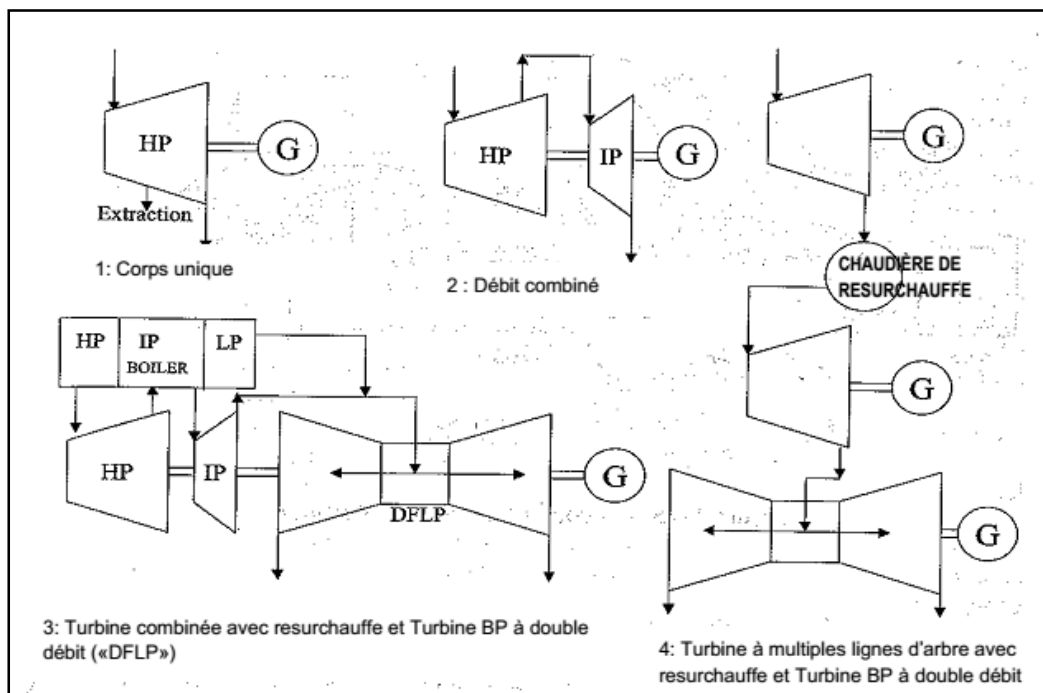
Les turbines qui font plus de 50 MW ont en général plusieurs sections de turbine. Chaque section de turbine à un corps séparé.

La plupart des turbines à vapeur importantes sont des turbines à resurchauffe.

Les sections de turbine que l'on voit fréquemment dans les turbines à resurchauffe sont des sections de turbine à haute pression (HP), des turbines moyenne pression (MP) et les sections de turbine basse pression (BP).

Même si certaines turbines à vapeur importantes ont des sections de turbines MP et HP totalement séparées, une organisation fréquente est d'avoir les sections de turbine HP et MP dans une section de turbine à débit opposé

La figure ci-dessous illustre quelques configurations typiques de turbines à vapeur.



**Figure 1.6 : Schémas de configurations des turbines à vapeur (selon l'ASME)**

### 3.2.1.2. Pales fixes

Les directrices fixes dans la plupart des turbines à impulsion sont maintenues en place dans une structure de type disque qui, avec les cloisons de directrice, est appelée un diaphragme.

Le diaphragme s'insère dans les fentes circonférentielles dans le diamètre intérieur du corps de la turbine.

Il est divisé au niveau du joint horizontal pour permettre le montage.

Les directrices fixes dilatent la vapeur haute pression pour extraire son énergie et diriger les jets de vapeur résultants vers les aubes ou pales rotatives.

### 3.2.1.3. Pales rotatif

Les aubages mobiles (ou ailettes, en anglais) d'un même étage sont montés sur un disque, l'ensemble formant une roue. Les roues sont montées sur un arbre, et l'ensemble forme le rotor. Les ailettes mobiles sont fixées sur la roue au moyen d'un talon de forme spéciale (en queue d'aronde, ou en forme de feuille de chêne, selon les fabricants).

L'extrémité des ailettes peut comporter un dispositif permettant de relier les ailettes entre elles (appelé bandage) afin de rigidifier l'ensemble et de diminuer les fuites de vapeur.

Les pales rotatives de turbine travaillent avec la vapeur qui provient des pales fixes pour produire un couple sur le rotor. Le rotor maintient toutes les pales rotatives et transmet l'énergie mécanique rotative à l'alternateur.

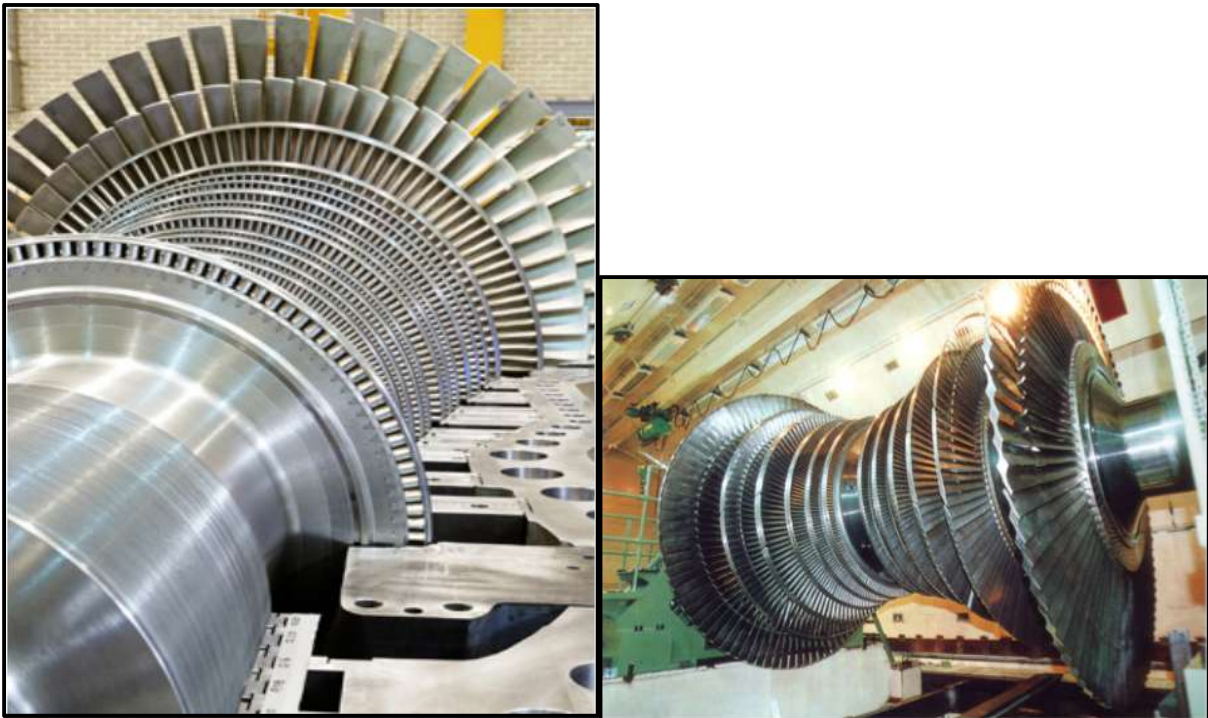


Figure 1.7 : Rotor d'une turbine à vapeur

#### 3.2.1.4. Paliers

Les paliers soutiennent et/ou positionnent correctement le rotor de turbine par rapport aux pièces fixes de la turbine. Il y a deux types de paliers, paliers lisses ou radiaux et paliers de butée. Les paliers lisses ou radiaux soutiennent le poids du rotor et le positionnent radialement. Le palier de butée absorbe les forces axiales sur le rotor et positionne le rotor axialement par rapport aux pièces fixes de la turbine.

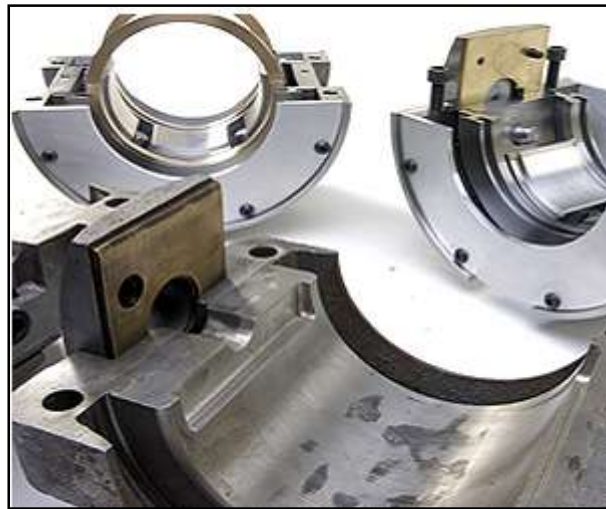
➤ **Paliers lisses** : Un palier lisse est également appelé un coussinet en deux parties. Il s'agit simplement d'un cylindre de régule coulé dans une chemise en acier cylindrique. La régule est un alliage doux, en général de l'étain, de l'antimoine et du plomb qui est plus doux que les parties lisses en acier pour éviter d'endommager les paliers lisses.

L'huile est alimentée vers le palier par des trous dans le support qui connectent les coussinets avec des trous d'alimentation dans le socle du palier qui sont à leur tour raccordés au collecteur d'huile de lubrification. Dans cette conception de palier, l'huile s'écoule en sortant des extrémités.

➤ **Palier de butée** : Le second type de palier de turbine est le palier de butée. Le palier de butée maintient l'alignement axial du rotor de turbine par rapport aux composants fixes de la turbine.

Le palier de butée absorbe également la poussée provoquée par le flux de vapeur à travers la turbine en raison des pressions différentielles.

On dit parfois que le palier de butée est le palier le plus important dans la turbine. Une défaillance d'un seul palier se traduit par des dommages dus aux frottements dans la turbine à proximité du palier, le reste de la turbine n'étant pas affecté.



**Figure 1.8 : Exemples de paliers-coussinets**

#### **3.2.1.5. Vannes de vapeur de la turbine :**

Différents types de vannes sont utilisés avec les turbines à vapeur afin de contrôler ou de réguler le débit de la vapeur vers ou à partir de l'unité. En général, ces vannes réagissent à la pression ou à la vitesse.

Toutefois, leurs fonctions spécifiques sont liées à une grande variété de formes, et exigences de régulation.

#### **3.2.1.6. Vannes d'admission de turbine :**

##### ➤ **Vannes d'arrêt principales (Stop valve) :**

La fonction première de la vanne d'admission principale est de fournir une seconde ligne de défense (protection de secours) contre l'énergie provenant de la chaudière en cas de défaillance des vannes de régulation d'admission.

Par ailleurs, la vanne d'admission principale se ferme également lors d'un arrêt de routine ou à la suite du fonctionnement de certains déclenchements de la chaudière et autres dispositifs de turbine qui actionnent le système de déclenchement d'urgence.

##### ➤ **Vannes de régulation principales (control valve) :**

Le second jeu de vannes utilisé pour réguler le débit de la vapeur vers la turbine est composé des vannes de régulation principales (MCV).

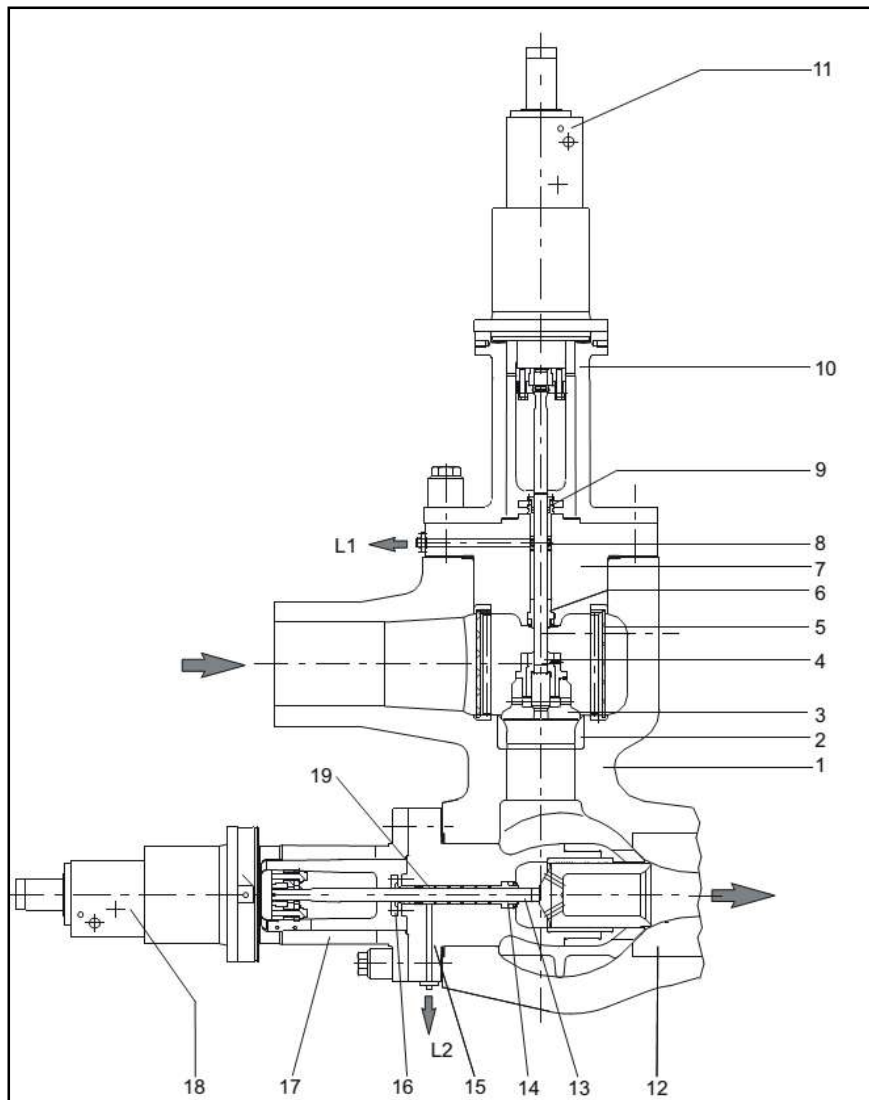
Les MCV sont utilisées pour moduler le débit de vapeur vers la turbine pour contrôler la vitesse, la charge ou la pression initiale. Certaines unités démarrent en admission pleine charge, c'est-à-dire lorsque les MCV sont totalement ouvertes et que les vannes d'étranglement sont utilisées pour contrôler le débit de vapeur.

##### ➤ **Vanne d'arrêt et de régulation combinée principale**

Les vannes off-crest sont réalisées spécifiquement pour les applications à cycle combiné à pression glissante.

Comme le nom l'implique, la vanne combinée se compose de deux vannes, vanne d'admission (SV) et la vanne de régulation (CV), incorporées dans un carter de vanne et un siège de vanne commun. Le modèle possède deux (2) disques qui partagent un siège de soupape dans un corps unique. Même si elles utilisent un corps commun, ces vannes ont des mécanismes de commande et de régulation entièrement séparés.

La vapeur venant de l'alimentation vapeur haute pression pénètre dans l'entrée du carter de vanne, traverse le filtre, dépasse les clapets de la vanne de régulation et de la vanne d'admission et se décharge à travers une seule sortie connectée à la cuve d'admission de la turbine haute pression via une conduite de vapeur principale.



**Figure 1.9 : Schémas de Robinetterie combinée de sectionnement et de réglage de la vapeur principale**

### 3.2.2. Types de Turbine à vapeur :

L'énergie cinétique dans un jet de vapeur n'est pas utile en l'état. La directrice en elle-même ne peut pas convertir l'énergie de la vapeur en énergie mécanique utile. Il y a deux types de turbines de base: à impulsion et à réaction.

Toutes deux utilisent des directrices et des aubes de rotor (également appelées pales), mais de différentes manières

#### a. Turbine à action

La vapeur pénètre dans une turbine à impulsions par le biais d'une directrice fixe qui dilate la vapeur et crée un jet de vapeur. Le jet de vapeur frappe les aubes du rotor. Il est à noter que les termes aube et pale sont synonymes ; toutefois, le terme aube est le plus fréquemment utilisé pour les turbines à impulsion.

#### b. Turbines à réaction :

Dans une turbine à réaction, la rotation du rotor de turbine est forcée par la force active du jet de vapeur qui quitte la directrice. Dans une turbine à réaction idéale, les aubes mobiles seraient les seules directrices. Par conséquent, la dilatation de vapeur interviendrait dans les aubes mobiles.

Ceci n'est pas pratique dans les turbines importantes car il est difficile d'admettre la vapeur sur les aubes mobiles. Par conséquent, les turbines importantes utilisent des aubes fixes pour admettre la vapeur sur les aubes mobiles. Par conséquent, les turbines à réaction importantes utilisent une combinaison de principes d'impulsion et de réaction.

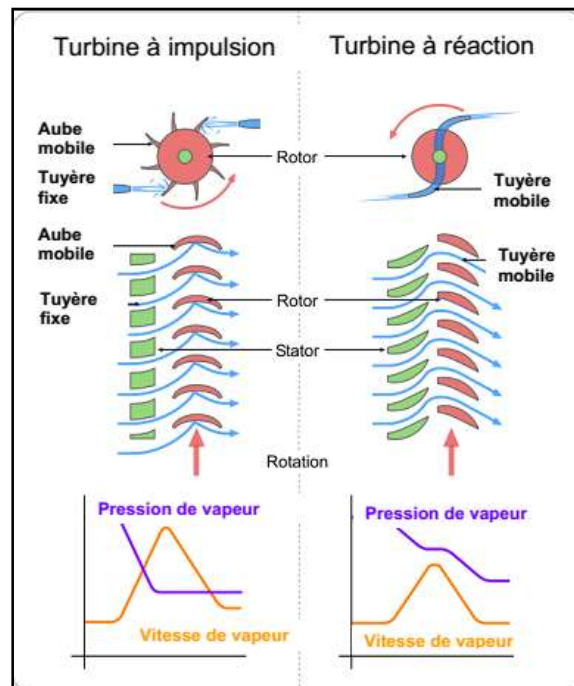


Figure 1.10 : Comparaison des étages à impulsion et à réaction

### 3.3 Les turbines à gaz :

Les turbines à gaz font partie de la catégorie des turbomachine définie comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un moteur tournant autour d'un axe a vitesse constante et un fluide en écoulement permanent. Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a affaire à une turbine hydraulique, une turbine à vapeur, une turbine à gaz.

Dans ce dernier cas, le fluide moteur le plus fréquemment utilisé provient des gaz de combustion d'un combustible solide liquide ou gazeux.

Selon le type d'énergie délivrée, les turbines à gaz se répartissent en deux classes : d'une part, les turbomoteurs fournissant de l'énergie mécanique disponible sur un arbre et, d'autre part, les turboréacteurs fournissant de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion.

#### 3.3.1 Définition d'une turbine à gaz :

C'est une machine qui transforme l'énergie thermique en énergie mécanique. Elle est composée d'un ou plusieurs compresseurs rotatifs, de dispositifs thermiques pour chauffer le combustible (chambre de combustion), une ou plusieurs turbines, système de contrôle et autres équipements auxiliaires essentiels.

Tout échangeur (sauf l'échangeur de récupération de chaleur) installé dans le circuit du combustible principal est considéré comme étant partie de la turbine à gaz

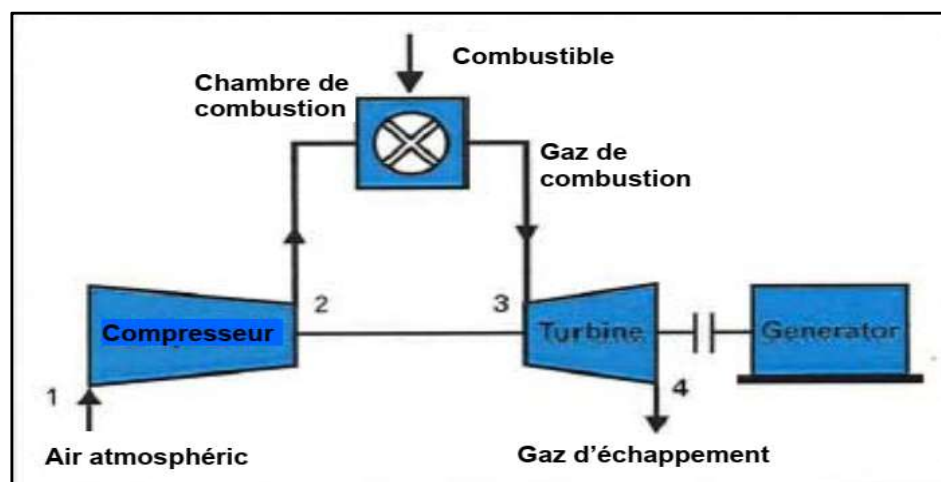


Figure 1.11 : Schéma descriptif de la turbine à gaz à cycle ouvert

#### 3.3.2 Classification des turbines à gaz :

##### ➤ Par le mode de construction

##### A/ Turbine mono-arbre

Le compresseur et les sections de la turbine de ces machines se composent d'un seul rotor simple, où la turbine produit l'énergie pour entraîner le compresseur ainsi que l'énergie pour entraîner la charge. Les turbines à un seul arbre sont favorables dans le cas où la charge est constante. Les turbines à gaz à un seul arbre sont aptes à l'entraînement des machines qui

fonctionnent à vitesse constante. Telle que les alternateurs et, pour cette raison, sont employées dans la génération d'énergie électrique.

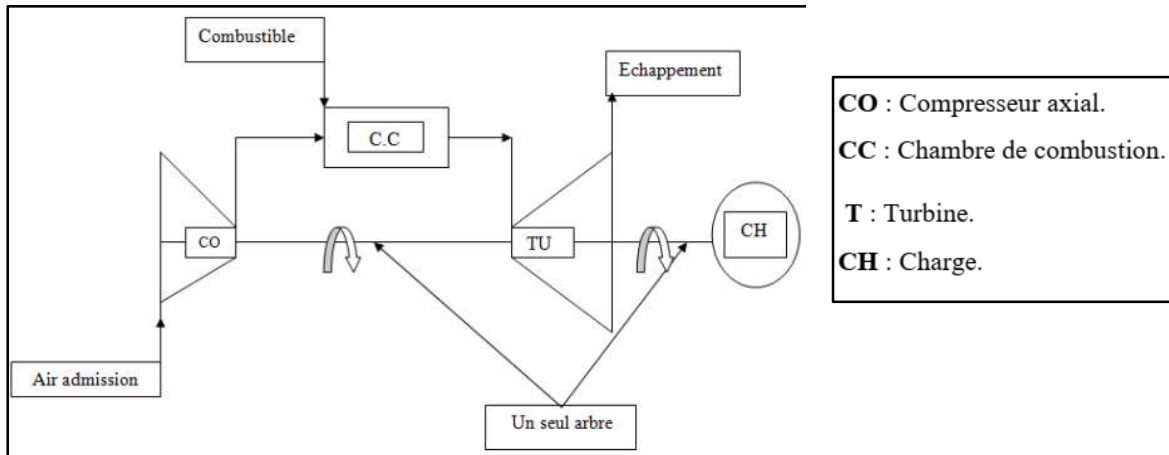


Figure 1.12 : Schéma d'une turbine à gaz mono-arbre

### B/ Turbine bi-arbre :

La turbine à gaz se compose de deux roues turbines indépendantes mécaniquement. La roue turbine HP entraîne le rotor du compresseur axial et les accessoires, tandis que la roue BP deuxième étage sert à entraîner l'organe récepteur (ex : les compresseurs). Le but des roues turbines non reliés est de permettre aux deux roues de fonctionner à des vitesses différentes pour satisfaire aux exigences de charge variable de l'organe récepteur.

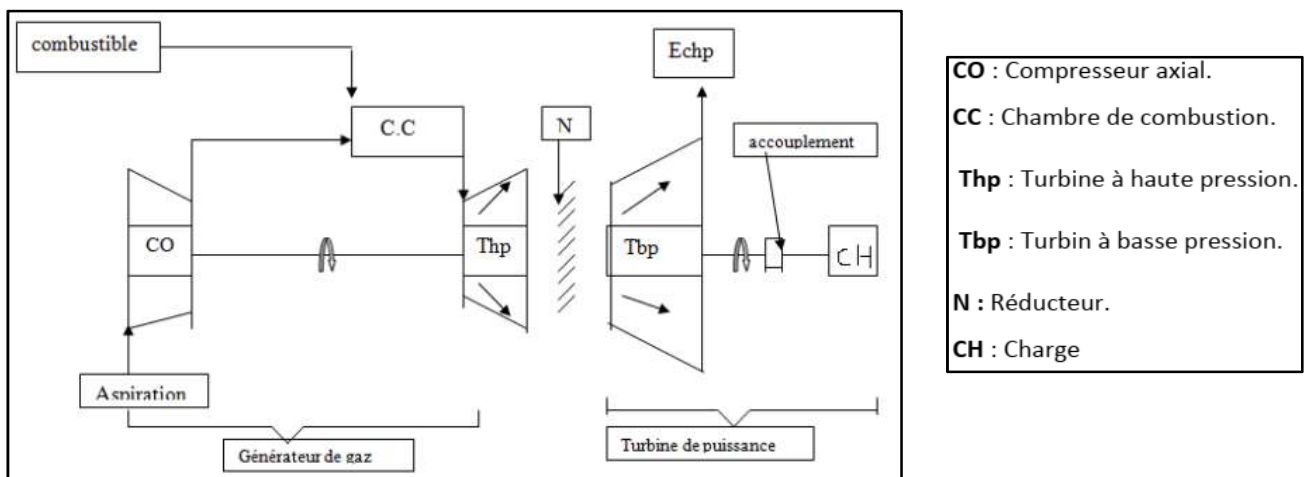


Figure 1.13 : Schéma d'une turbine à gaz bi-arbre

### ➤ Par le mode de travail :

On distingue deux types de turbine :

**A. Turbine à action :** ou l'énergie thermique est transformée complètement en énergie cinétique dans la directrice.

**B. Turbine à réaction :** une partie de l'énergie thermique est transformée dans la roue en énergie cinétique et mécanique.

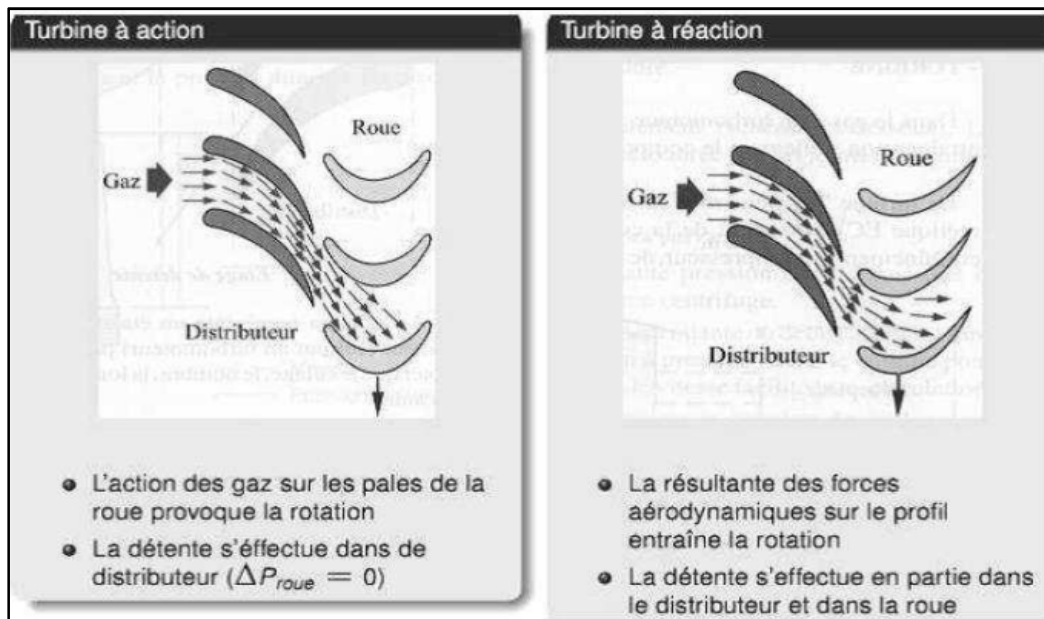


Figure 1.14 : Schéma d'une turbine à action et à réaction.

➤ **Par le mode de fonctionnement thermodynamique :**

Il existe deux cycles thermodynamique :

**1. Turbine à gaz à cycle fermé :** dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

**2. Turbine à gaz à cycle ouvert :** c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère. Ce type de turbine qui est le plus répandu se divise en deux classes :

**a. Turbine à cycles simple :** c'est une machine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente, les gaz possédant encore un potentiel énergétique sont perdus dans l'atmosphère à travers l'échappement.

**b. Turbine à cycles régénéré :** c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation

**3.3.3. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz :**

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Elle extrait de l'air du milieu environnant (aspiration) ;
- Elle le comprime à une pression plus élevée par le compresseur (compression) ;
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion (gaz chaud) ;

- Elle achemine de l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre (expansion) ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine et, de l'autre côté à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement comme par exemple un alternateur ou un compresseur centrifuge ;
- Elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la

### **3.3.4. Les éléments essentiels de la turbine à gaz**

L'ensemble de la turbine à gaz comprend principalement aux trois sections :

- Le compresseur
- Le système de combustion
- La turbine

#### **A/ Le compresseur :**

La section du compresseur se compose du rotor et du stator (la caisse du compresseur).

À l'intérieur de la caisse du compresseur, il y a les aubes orientables à entrée variable, les différents étages du rotor, les aubes du stator et les aubes directrices de sortie.

Dans le compresseur, l'air est enfermé dans l'espace entre le rotor et le stator, où il est comprimé étages par une série d'alternances des aubes rotatives (rotor) et stationnaires (stator) à profil aérodynamique.

Les aubes du rotor fournissent la puissance nécessaire pour comprimer l'air à chaque étage et les aubes du stator dirigent l'air de sorte qu'il entre dans l'étage du rotor suivant par l'angle correct.

L'air comprimé sort par le refoulement du compresseur vers les chambres de combustion.

L'air est extrait du compresseur pour un refroidissement de la turbine, l'étanchéité du palier.

#### **B/ Le système de combustion**

L'air de refoulement du compresseur passe en amont, le long de la partie externe de la chemise de combustion, vers le couvercle de la chemise.

Cet air entre dans les zones de réaction de la chambre de combustion, à travers les extrémités primaire et secondaire du tourbillon du gicleur de combustible, puis à travers les orifices de mesure, dans la chemise et le couvercle.

La combustion est lancée grâce aux bougies d'allumage. Pendant l'alimentation, une étincelle de l'une ou plusieurs de ces bougies enflamme le mélange de gaz/air dans une chambre, les autres chambres s'enflamment par feux croisés à travers les tubes interconnectant la zone de réaction de ces chambres.

### C/ Section de la Turbine

La section de la turbine à trois ou quatre étages est la zone dans laquelle l'énergie, sous forme de gaz pressurisé à haute température, produite par les sections du compresseur et de la combustion, est convertie en énergie mécanique.

La section de la turbine à gaz MS-7001 comprend le rotor de la turbine, le bâti d'échappement du corps de la turbine, le diffuseur d'échappement, les gicleurs et les capots.

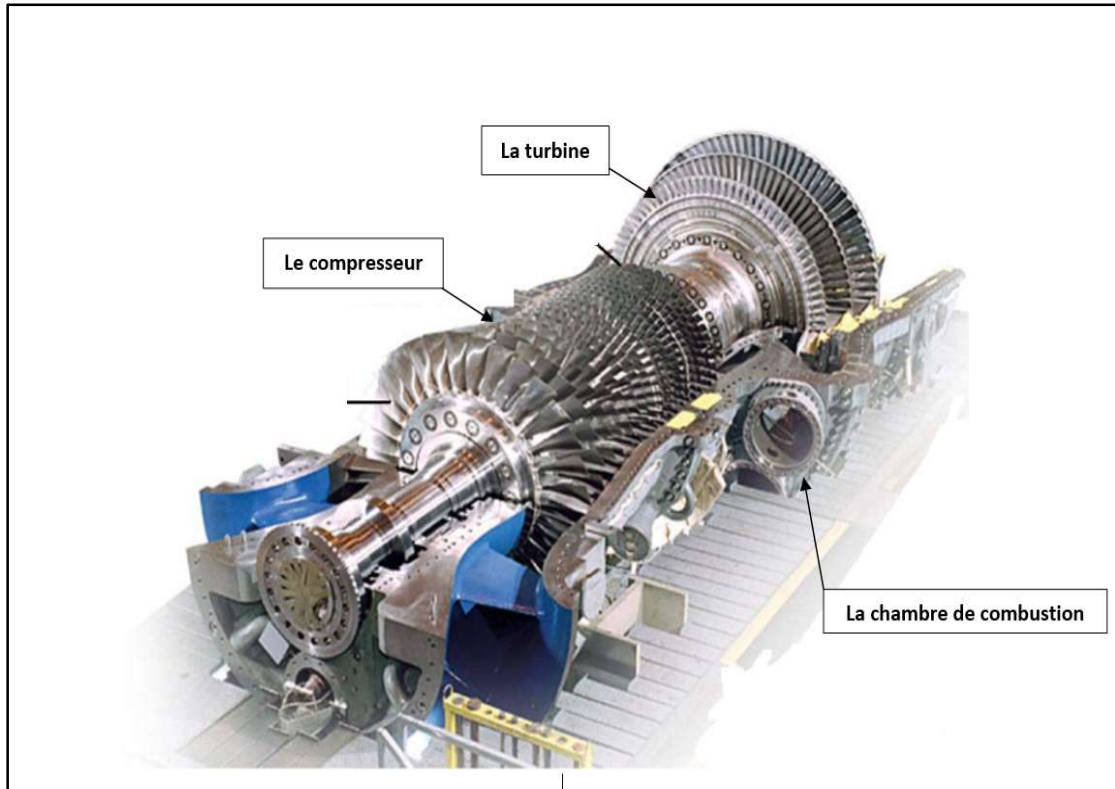


Figure 1.15 : Constitution principale d'une turbine à gaz

#### 3.3.5 Dispositif de virage :

Lorsqu'une turbine est arrêtée, le refroidissement de ses éléments internes continue pendant de nombreuses heures. Si le rotor reste stationnaire pendant cette période de refroidissement, une déformation peut se produire presque immédiatement.

La déformation est provoquée par le flux de vapeurs chaudes vers la partie supérieure du corps de la turbine qui se traduit dans la moitié supérieure de la turbine par une température supérieure à celle de la moitié inférieure. Les pièces ne retrouvent pas leur position normale tant que la turbine n'a pas suffisamment refroidi au point que la température des deux moitiés supérieure et inférieure soit quasiment similaire. Si la turbine devait être démarrée avant que les pièces ne soient ramenées à leur fonctionnement normal, il serait nécessaire de faire tourner le rotor lentement jusqu'à ce que la déformation ait disparu et que l'on ait contrôlée de manière approfondie que les jeux de fonctionnement sont adéquats; cette procédure provoque en général un retard considérable dans le démarrage.

Les turbines doit être équipée d'un vireur entraînant l'arbre de la turbine avant le démarrage et lorsque la turbine ralentit à la suite d'un déclenchement.

Le vireur consiste en un moteur hydraulique ou électrique et une boîte d'engrenages fixée à l'arbre de la turbine.

En cas d'arrêt de la turbine, la séquence de mise en marche du vireur est enclenchée automatiquement par le système de contrôle commande de la turbine.

#### **4. Les chaudières de récupération :**

La chaudière de récupération est simplement un échangeur entre les fumées chaudes de la turbine à gaz et l'eau ou la vapeur.

La fonction des chaudières de récupération est de récupérer la chaleur perdue disponible dans les gaz d'échappement d'une turbine à gaz et de transférer cette chaleur à l'eau et à la vapeur contenue dans ses tubes. La chaleur récupérée est utilisée pour générer de la vapeur à des pressions et des températures élevées, qui est ensuite utilisée pour générer une puissance supplémentaire dans un alternateur entraîné par une turbine à vapeur.

Elle se compose principalement d'une gaine, dans laquelle circulent les fumées, d'échangeurs constitués de nappes de tubes traversés par l'eau ou la vapeur et d'un ou plusieurs ballons.

Les échangeurs sont de trois types, de fonctions différentes aussi :

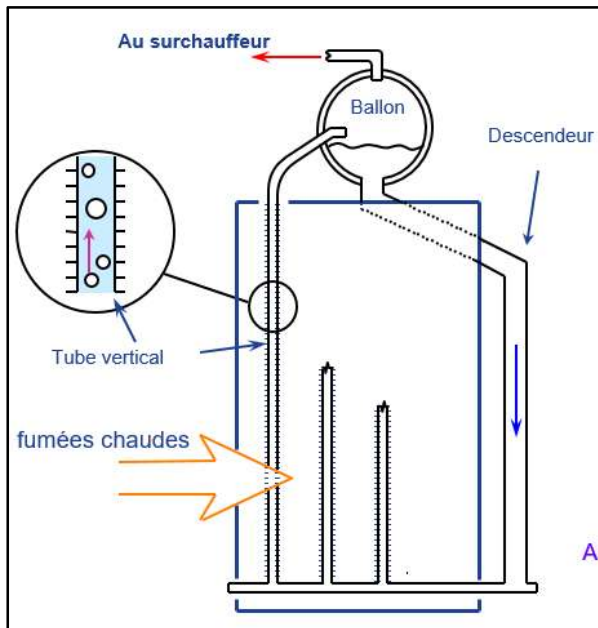
- Les économiseurs réchauffent l'eau alimentaire jusqu'au voisinage de la saturation et l'envoient dans le ballon.
- Les évaporateurs puisent de l'eau dans le ballon, en vaporisent une partie et la renvoient dans le ballon. Cette circulation en boucle fermée peut s'effectuer naturellement grâce à la différence de masse entre l'eau et la vapeur ou bien nécessiter l'assistance d'une pompe de circulation.
- Les surchauffeurs sont alimentés par la phase vapeur du ballon et surchauffent cette vapeur avant de l'envoyer vers la turbine à vapeur ; les resurchauffeurs, dans un cycle à resurchauffe, sont identiques mais alimentés par la turbine à vapeur. Exposés aux températures les plus élevées, ils sont généralement en acier de type T11, T22 ou T91.

##### **4.1. Classification des chaudières de récupération :**

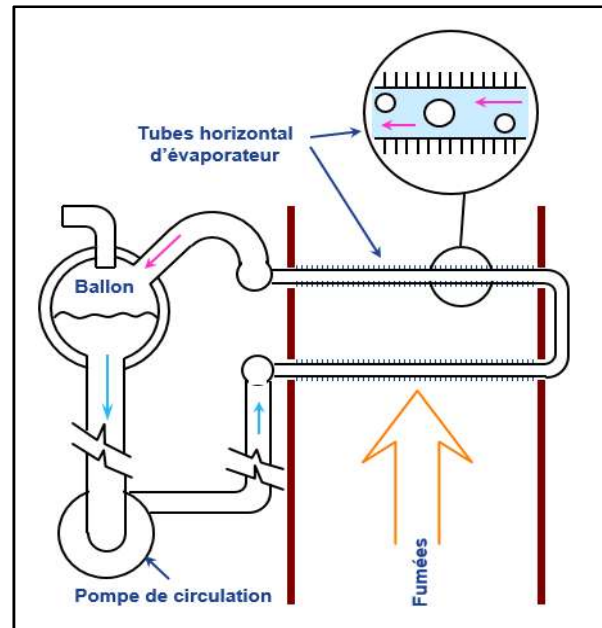
Il existe plusieurs manières pour classer les chaudières de récupération.

###### **4.1.1 Selon l'arrangement des échangeurs.**

Ce classement dépend de l'arrangement des échangeurs, nous avons : chaudière de récupération horizontale et verticale.



**Figure 1.16 : Chaudière de récupération vertical ou les tubes sont disposés vertical**



**Figure 1.17 : Chaudière de récupération horizontal ou les différents tubes sont disposés horizontal**

#### 4.1.2 Selon la circulation des fluides.

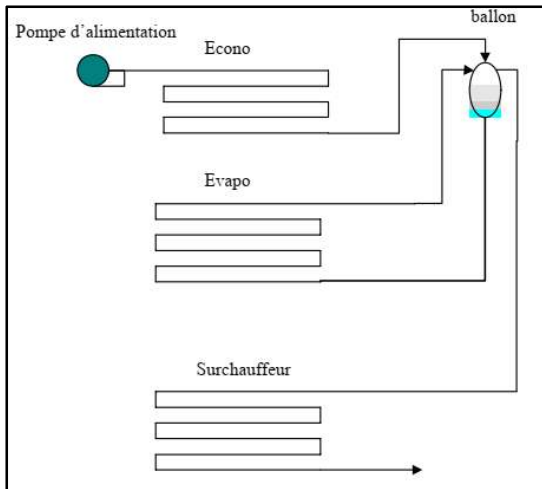
Aussi la circulation du fluide joue un rôle pour classer les chaudières de récupération.

On parle alors de circulation naturelle lorsque cette dernière est assurée par la différence de densité entre l'eau qui descend du ballon et le mélange eau-vapeur qui remonte vers ce même ballon.

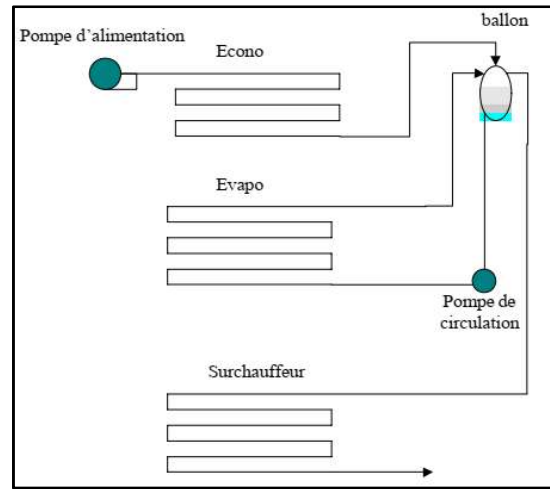
Mais quand la pression de la vapeur est comprise entre 100 et 180 bars, le tirage naturel dans les tubes de l'évaporateur devient insuffisant. Une pompe de circulation est alors introduite dans la boucle de vaporisation pour annihiler les pertes de charge et aider le mélange eau-vapeur à se déplacer. C'est ce qu'on appelle chaudière à circulation assistée. Pour ce qui concerne les pressions supérieures,

On rencontrera des chaudières à circulation forcée, ces dernières diffèrent des chaudières Classique, à circulation naturelle ou assistée, de par le nombre d'éléments qui la composent. En effet, une chaudière classique comprend un économiseur, un vaporiseur avec ballon de séparation et un surchauffeur.

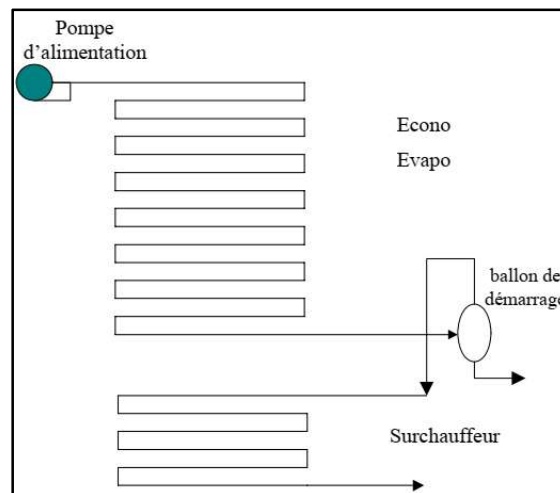
Dans une chaudière à circulation forcée, on ne peut plus faire la différence entre l'économiseur et le vaporiseur



**Figure 1.18 : Chaudière à circulation naturelle**



**Figure 1.19 : Chaudière à circulation assistée**



**Figure 1.20 : Chaudière à circulation forcée**

Ce classement se fait en fonction du nombre de niveau de pression.

On parle de chaudière à un niveau de pression (1P) si elle comporte un économiseur, un évaporateur associé à un ballon et un surchauffeur (dans ce type de cycle, la température des fumées rejetées à l'atmosphère reste élevée (150 à 180°C).

De chaudière à deux niveaux de pression (2P) s'il y a deux séries d'échangeurs. L'un à haute pression (HP) (il récupère la chaleur à haute température) et l'autre à basse pression (BP) (il récupère la chaleur à basse température).

On peut trouver aussi des chaudières à trois niveaux de pression (3P), ce type est utilisé dans les grands cycles combinés modernes.

Le circuit de haute pression (HP) réchauffe l'eau d'alimentation à haute pression et produit de la vapeur surchauffée (560°C) pour le corps haute pression HP DE LA TURBINE A VAPEUR.

Depuis le ballon HP, il existe une ligne de vapeur pour alimenter le ballon MP

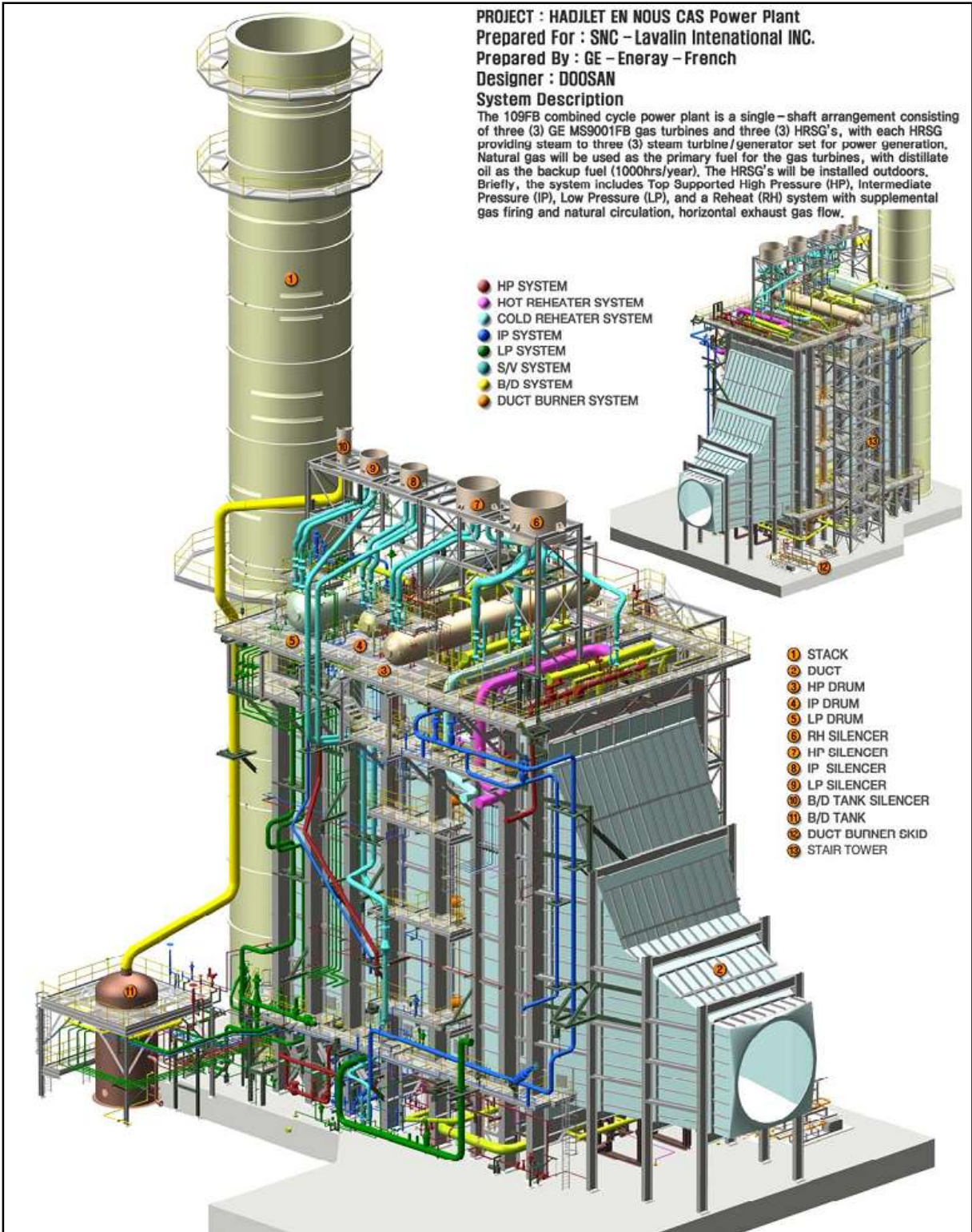


Figure 1.21 : Vue complète de la chaudière de récupération

## **5. Alternateurs :**

Les alternateurs sont définis par la fréquence (HZ), les phases (3), la vitesse (RPM), le facteur de puissance et la puissance aux bornes. Les tensions de ces systèmes varient largement de 13,8 KVA à 115 KVA. Les alternateurs produisent de la chaleur en tant que produit dérivé de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette chaleur est évacuée par les échangeurs de chaleur à eau de refroidissement placés sur le cheminement d'air à l'intérieur d'un alternateur. Ce flux de refroidissement peut être de l'hydrogène ou de l'air en fonction de la taille et de la conception.

Les alternateurs utilisés dans les applications de génération d'énergie pour turbine à gaz peuvent être subdivisés en trois grandes catégories de conception en fonction du fluide de refroidissement utilisé: l'air, l'hydrogène ou un liquide. La qualité du refroidissement d'un enroulement d'induit d'un alternateur a un impact important sur la taille globale d'un alternateur synchrone. Le refroidissement d'un enroulement d'induit dépend d'un certain nombre de facteurs: le fluide de refroidissement (air, hydrogène, eau); l'épaisseur de l'isolation et les pertes électriques globales (perte de charge I<sup>2</sup>R). La capacité d'évacuation de chaleur relative s'améliore de l'air à l'hydrogène, avec une pression d'hydrogène accrue et elle s'améliore encore plus avec l'utilisation d'eau de refroidissement.

### **5.1. Les alternateurs refroidis par l'hydrogène :**

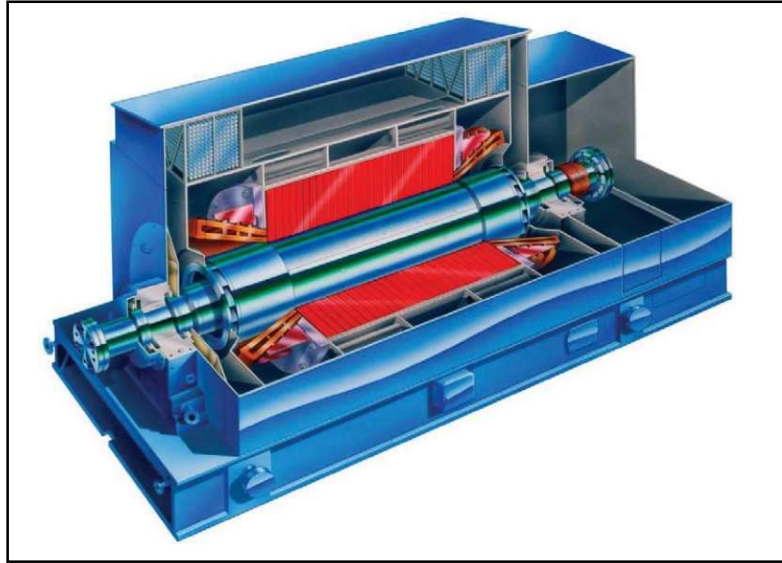
Le refroidissement d'hydrogène classique peut être utilisé sur les alternateurs avec des valeurs nominales inférieures à 550 MVA, alors que le refroidissement à l'eau direct des enroulements d'induit s'applique à des unités de plus de 550 MVA. Cette division résulte de l'optimisation de la conception. S'il est possible d'utiliser un refroidissement à l'eau sur des machines d'une valeur nominale inférieure à 550 MVA, le rapport coût/performance en souffre.

### **5.2. Les alternateurs refroidis par l'eau :**

Le refroidissement à l'eau ajoute une complexité de fabrication et nécessite un module de refroidissement à l'eau et de dé ionisation auxiliaire, des tuyauteries associées, des commandes et des caractéristiques de protection supplémentaires. À des valeurs nominales supérieures, le coût de cette complexité est compensé par l'avantage de production d'un alternateur d'une taille nettement inférieure à un alternateur comparable refroidi de manière classique. Une présentation générale de chaque catégorie de conception de base est donnée dans la section suivante.

### **5.3. Les alternateurs refroidis à l'air :**

Les alternateurs refroidis à l'air sont produits en deux configurations de base; en ventilation ouverte (OV) et totalement fermés, refroidis par échangeur air/eau (TEWAC). Dans la conception OV, l'air extérieur est attiré directement à partir de l'extérieur à travers les filtres, traverse l'alternateur et est évacué à l'extérieur de l'alternateur. Dans la conception TEWAC, l'air est circulé à l'intérieur de l'alternateur, traverse des échangeurs de chaleur air/eau montés sur châssis.



**Figure 1.22 : Vue d'un alternateur**

### **6. Transformateurs :**

Un transformateur est un dispositif qui transfère l'énergie d'un circuit isolé vers un autre circuit par induction électromagnétique. Ce transfert d'énergie intervient sans changement de fréquence. Tout changement de tension et de courant du circuit induit est déterminé par la construction du transformateur. Les transformateurs peuvent avoir trois effets sur la puissance aux bornes de l'enroulement secondaire. Il s'agit des effets suivants :

- Un transformateur de séparation délivre la même tension et le même courant.
- Un transformateur élévateur augmentera la tension et diminuera le courant.
- Un transformateur abaisseur diminuera la tension et augmentera le courant.

Les transformateurs sont d'une construction simple, robuste et durable et nécessitent très peu d'entretien.

Un transformateur se compose de quatre principaux composants:

1. Le ou les enroulements primaires - cet enroulement est alimenté par la tension d'alimentation.
2. Le ou les enroulements secondaires - cet enroulement sort la tension induite vers la charge.
3. Le noyau - il produit une faible réluctance pour le flux magnétique généré par l'enroulement primaire (bobine).
4. Enceinte- elle isole le noyau et les enroulements contre tout contact accidentel par du personnel et, dans certains cas (remplie de liquide), elle contient le fluide d'isolation diélectrique.

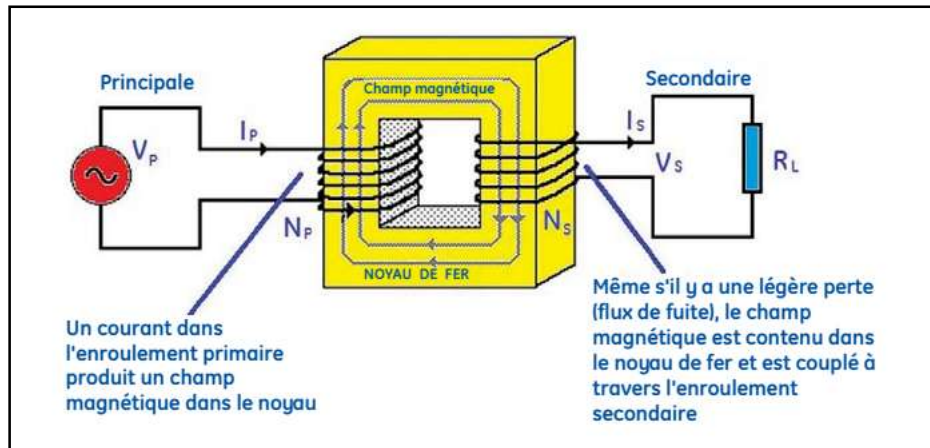


Figure 1.23 : Transformateur de base

## 7. Théorie du cycle combiné

### 7.1. Présentation générale

Il existe de nombreux types de centrales électriques dans le monde, notamment les centrales nucléaires, les centrales hydrauliques et les centrales à combustibles fossiles.

Les centrales à combustibles fossiles et nucléaires sont classées comme des centrales thermiques car elles brûlent un combustible pour produire de l'énergie thermique. Cette énergie thermique est ensuite transformée en énergie électrique (puissance) à travers l'utilisation d'un moteur thermique.

La production d'énergie dans la centrale électrique, pour la plupart, implique la transformation d'énergie thermique en puissance sous la forme d'un moteur thermique. Un moteur thermique peut être défini comme un dispositif qui fonctionne dans un cycle thermodynamique et effectue une certaine quantité de travail positif net à la suite du transfert de chaleur d'un corps à haute température à un corps à basse température. C'est la manière la plus courante d'utiliser le transfert de chaleur pour fournir de l'énergie en continu. Afin de produire de l'énergie en continu, il est nécessaire d'organiser de manière sélective une série de processus thermodynamiques sur un cycle formant une courbe fermée sur un système de coordonnées thermodynamiques.

Un cycle est une série de processus thermodynamiques qui ramène un fluide de procédé à son état initial.

Le moteur thermique utilise un fluide, une vapeur, un air de procédé, etc. à travers un cycle pour effectuer le transfert de chaleur et, par conséquent, effectuer un travail utile.

## 7.2. Centrales à cycle simple:

Dans ces centrales on trouve deux types de turbines :

### 7.2.1 Cycle de turbine à gaz :

Dans ce type de cycle, le fluide de procédé est l'air atmosphérique et le processus de rejet de chaleur intervient dans l'atmosphère à mesure que l'échappement de la turbine est déchargé à travers la cheminée.

La figure ci-dessous décrit le cycle ouvert, ou simple, caractéristique d'une turbine à gaz installée en tant qu'unité de production d'énergie simple.

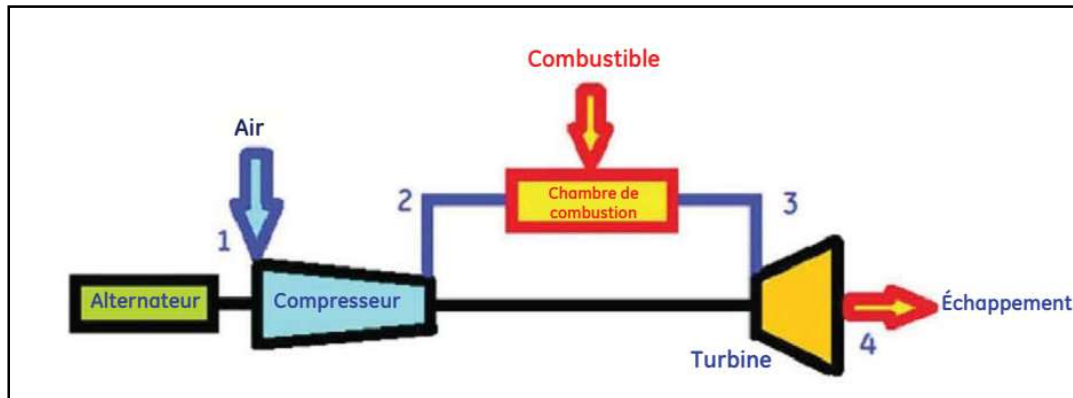


Figure 1.24 : Cycle simple de Turbine à gaz

#### Configuration d'une turbine à gaz dans le cycle simple :

L'air est comprimé à de nombreuses atmosphères à l'aide d'un compresseur à débit axial multi-étages. La conception du compresseur fait appel à une aérodynamique extrêmement sophistiquée de sorte que le travail nécessaire pour comprimer l'air soit maintenu à un minimum afin d'extraire le plus de travail possible de la turbine.

La chambre de combustion d'une turbine à gaz est le dispositif qui accepte à la fois de l'air fortement comprimé provenant du compresseur et du combustible provenant d'une alimentation de combustible de sorte qu'une combustion continue puisse se produire. Cette combustion doit intervenir avec un minimum de chute de pression et d'émissions. Le processus augmente la température du gaz de procédé à environ 1082 °C. Ce gaz à température très élevée circule ensuite de la chambre de combustion vers la turbine.

C'est dans la turbine que le travail est extrait à partir du fluide de procédé à haute pression et haute température pendant qu'il redescend à la pression atmosphérique. À mesure que le gaz quitte la chambre de combustion, la température est bien au-dessus du point de fusion des matériaux de construction des directrices et des aubes premier étage. Un refroidissement extensif des premiers étages de la turbine est essentiel pour garantir une bonne durée de vie des composants.

À mesure que le gaz traverse les directrices et les aubes de la turbine, la température et la pression chutent à mesure que l'énergie thermique du gaz est convertie

en énergie mécanique rotationnelle. Pendant que le gaz chaud refroidit, il continue de se dilater après avoir traversé la turbine. À ce stade, sa température peut toujours être de 566°C.

La température élevée du gaz d'échappement signifie qu'une énergie considérable reste disponible pour faire bouillir et surchauffer l'eau dans une centrale à cycle combiné. C'est à travers l'utilisation de cette énergie d'échappement que les rendements de cycle sont considérablement améliorés entre les systèmes à cycle simple et ceux à cycle combiné.

### 7.2.2. Cycle de turbine à vapeur

La figure en dessous décrit un système de turbine à vapeur typique ainsi que ses principaux composants. La chaleur - énergie thermique - est transmise au fluide (eau) à partir des moteurs thermiques situés dans la chaudière à vapeur.

L'énergie est extraite de l'énergie thermique dans la vapeur par la turbine. La vapeur à faible énergie est ensuite reconvertie en eau dans le condenseur, lequel se trouve à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Les pompes à condensat et à eau d'alimentation rajoutent de l'énergie dans le système, en augmentant la pression du fluide, nécessaire pour déplacer l'eau d'alimentation dans la chaudière à vapeur afin de recommencer le cycle.

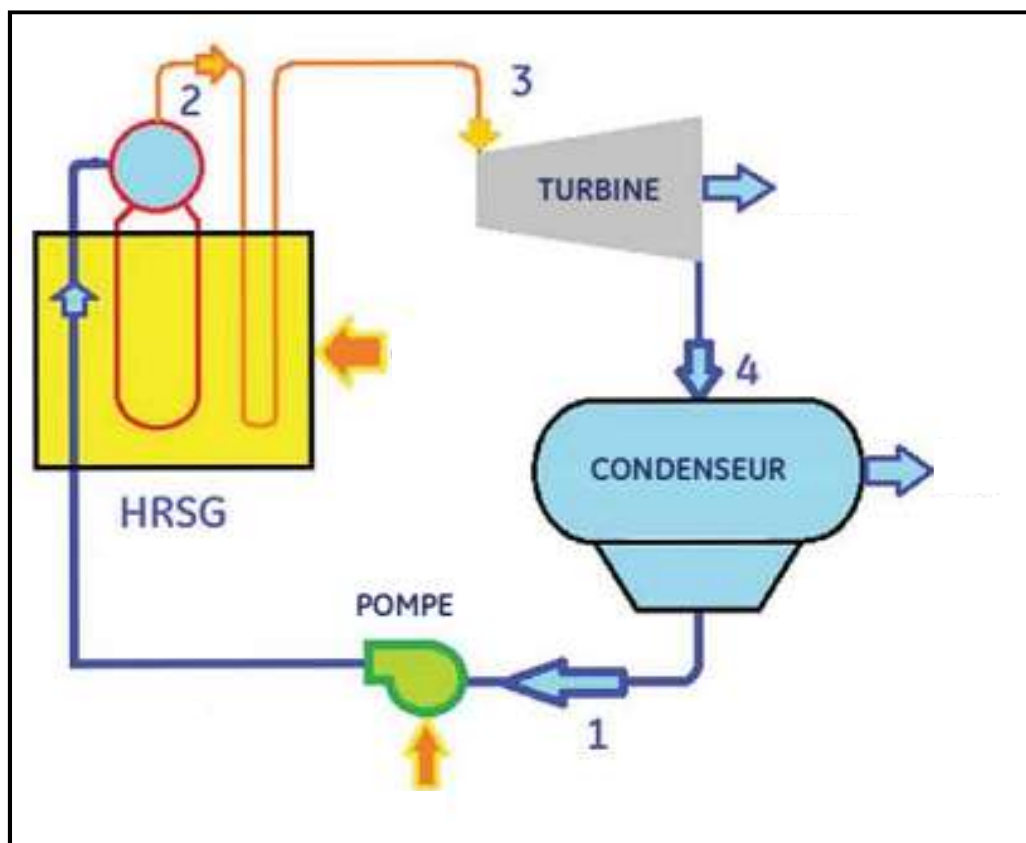


Figure 1.25 : Cycle de turbine à vapeur

### 7.3. Centrales à cycle combiné:

La perte de rendement la plus importante dans un cycle de turbine à gaz simple est la grande quantité d'énergie thermique qui sort de la cheminée avec les gaz d'échappement.

Afin d'utiliser cette réserve d'énergie, une chaudière de récupération de chaleur (HRS) est placée dans la voie d'échappement du gaz.

L'objectif est d'utiliser autant que possible cette énergie thermique pour produire de la vapeur.

L'avantage de cette configuration est que le rendement global de l'unité – énergie électrique fournie par rapport à l'énergie thermique en entrée - est nettement amélioré par rapport à celui d'un cycle de turbine à gaz simple ou un cycle de turbine à vapeur standard seul.

Un système à cycle combiné permet de conserver une grande quantité de chaleur qui, autrement, serait perdue.

Le système à cycle combiné convertit les gaz d'échappement de la turbine à gaz en vapeur.

La vapeur provenant de la chaudière de récupération de chaleur entraîne une turbine à vapeur qui, à son tour, fait tourner un alternateur pour produire de l'énergie électrique supplémentaire.

Comme illustré à la figure en dessous, le cycle combiné produit ainsi deux fois de l'électricité à partir des mêmes gaz chauds : une fois dans le cycle de la turbine à gaz et une fois dans le cycle de la turbine à vapeur.

Par conséquent, le cycle combiné est plus efficace qu'une turbine à gaz ou une turbine à vapeur en elle-même.

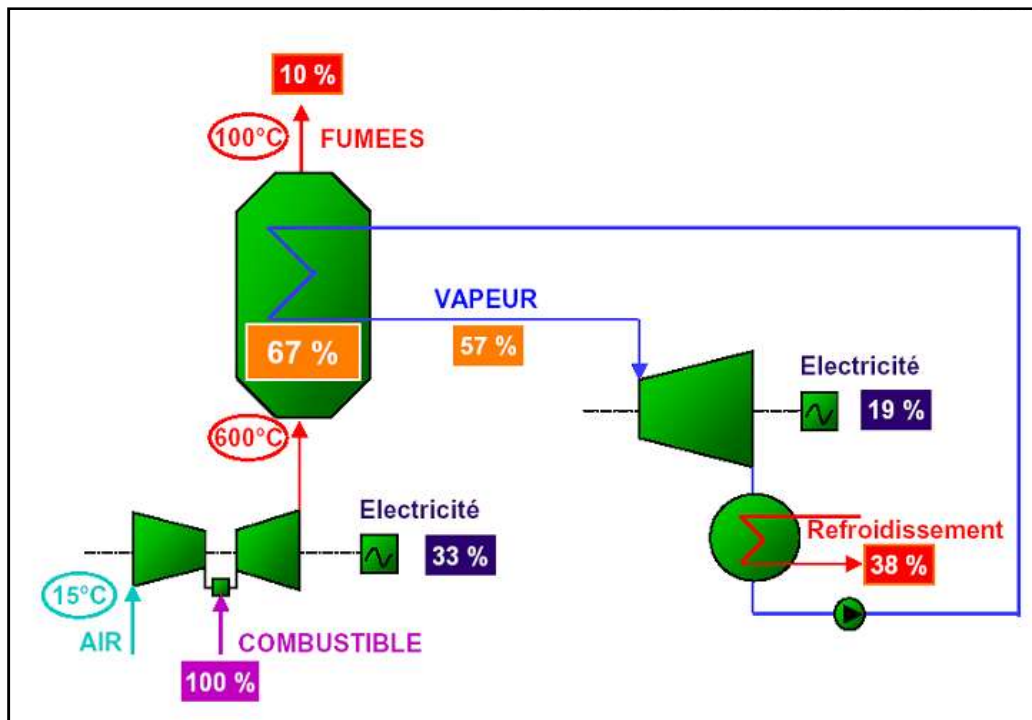


Figure 1.26 : Schéma simplifié représente l'amélioration de rendement d'une centrale à cycle combiné

### 7.3.1 Différentes configurations de centrale à cycle combiné

Une centrale à cycle combiné associe deux types de turbines : turbine à gaz et turbine à vapeur selon deux configurations possibles :

#### 7.3.1.1 Configuration mono-arbre « single-shaft »

Dans la configuration « mono-arbres » ou « single-shaft », les deux types de turbines (turbine à gaz et turbine à vapeur) sont couplés au même alternateur.

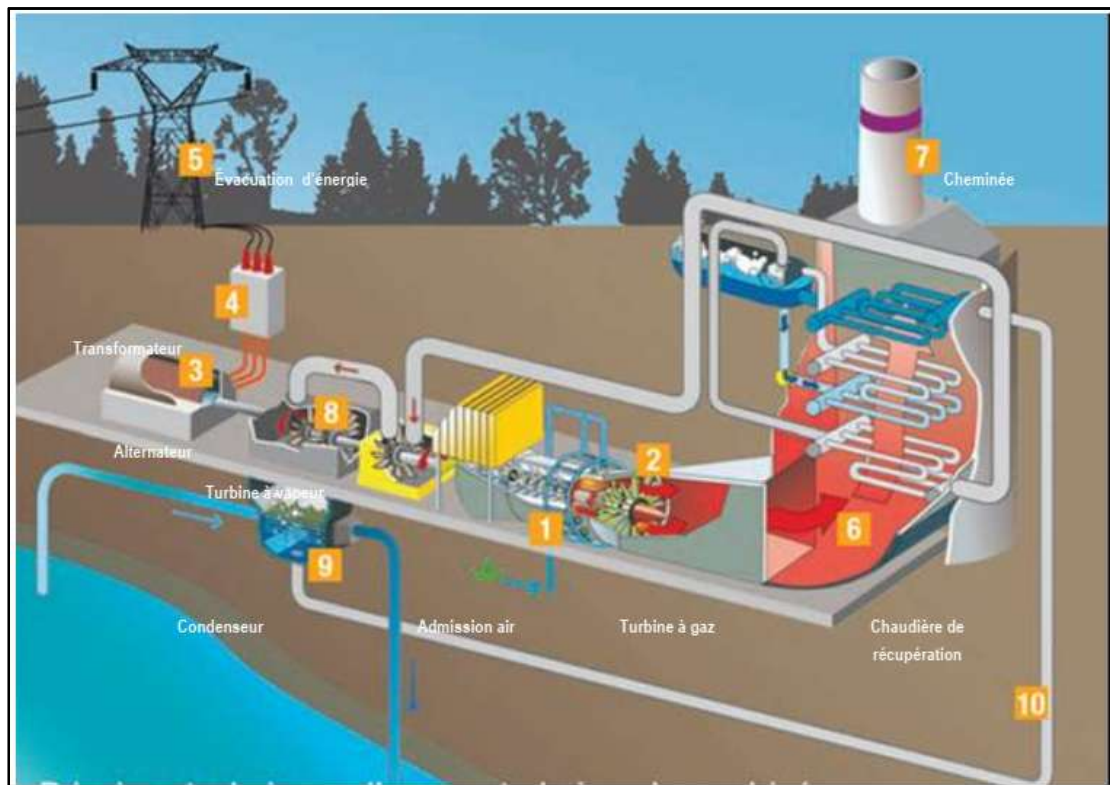


Figure 1.27 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné mono-arbre

Pour ce type de configuration, on distingue deux conceptions différentes :

- **Mono-arbre sans embrayage « Single shaft without clutch » :** Chaque tranche sera constituée d'une seule ligne d'arbre comprenant une turbine à gaz, une turbine à vapeur et un alternateur commun aux deux.

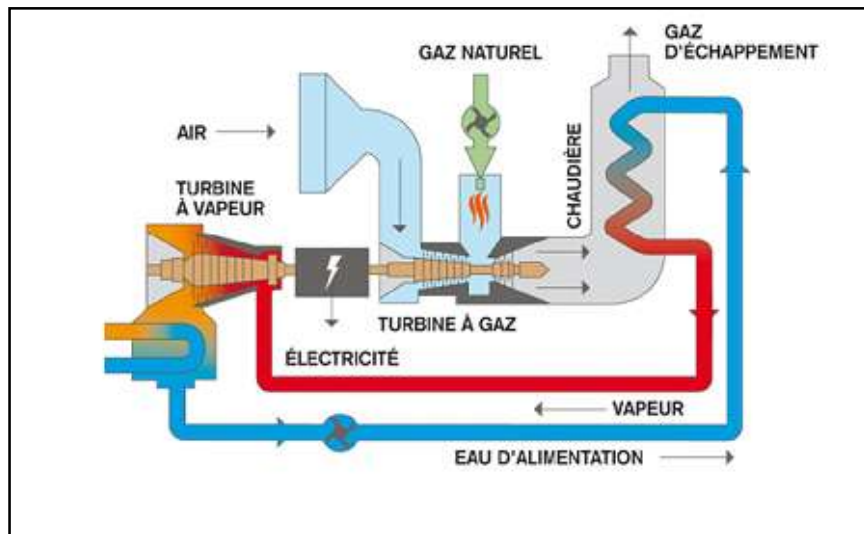


Figure 1.28 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné mono-arbre sans embrayage

- **Mono-arbre avec embrayage « Single shaft with clutch »** : La configuration de la Tranche est identique à celle citée ci-dessus, elle comprend néanmoins un équipement additionnel, « L'embrayage » ou « Synchro-Self Shifting Clutch », qui sert à déconnecter la turbine à vapeur et à permettre à la turbine à gaz et à l'alternateur de fonctionner séparément.

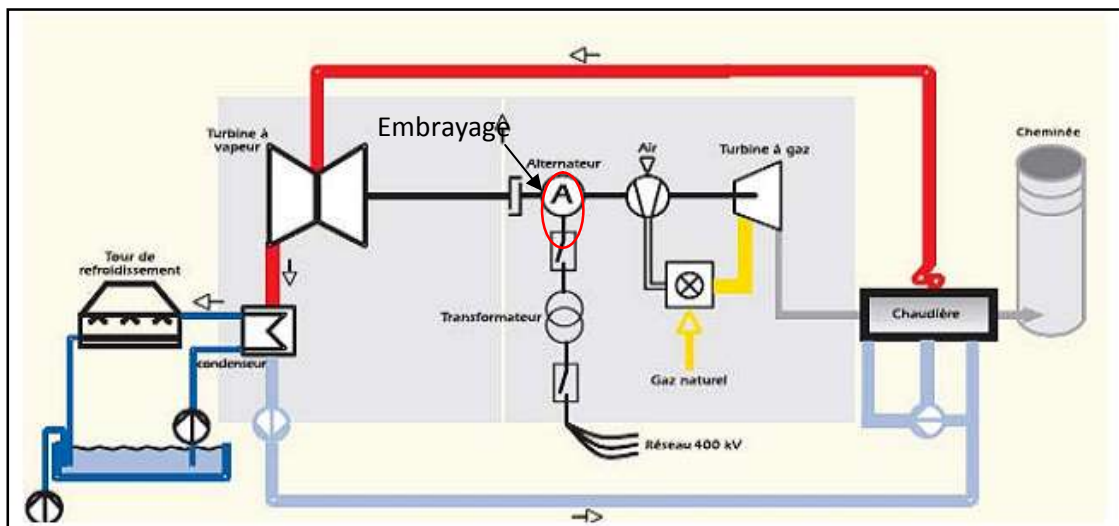


Figure 2.29 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné mono-arbre avec embrayage

Au démarrage, seule la turbine à gaz est mise en service, la turbine à vapeur est à l'arrêt et entre graduellement en rotation dès que la vapeur atteint les conditions requises.

Dès que la turbine à vapeur atteint le même régime de rotation que la turbine à gaz, l'embrayage s'enclenche automatiquement.

De même, dès que la turbine à vapeur décélère par rapport à la turbine à gaz, l'embrayage est déconnecté automatiquement de l'alternateur

### Définition de l'embrayage

Dans certains cycles combinés à arbre unique (« Single Shaft »), un embrayage est introduit en guise d'accouplement entre l'alternateur et la turbine à vapeur.

L'embrayage habituellement utilisé est le modèle appelé « SSS Clutch » (terme venant de « Synchro-Self-Shifting »).

Il s'agit en fait d'un accouplement du type rigide à engrenages, mais débrayable, et non pas d'un embrayage à frottement. L'un des engrenages est en effet glissant le long d'un arbre à dents hélicoïdales et un système de cliquet permet d'ajuster et d'aligner les deux engrenages pour permettre l'enclenchement de l'accouplement lorsque les deux arbres sont en rotation à la même vitesse (voir l'illustration du fonctionnement sur la figure ci-dessous).

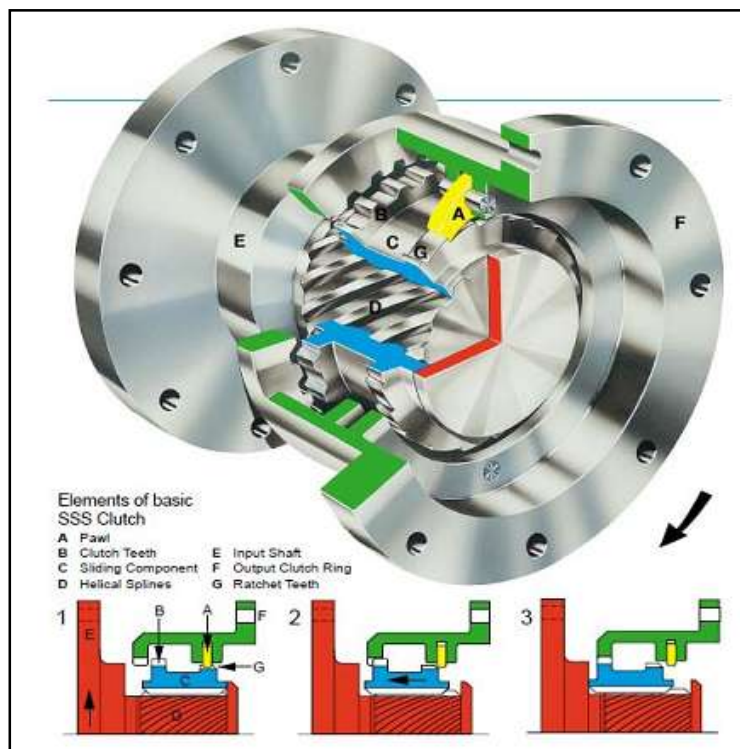


Figure 1.30 : Fonctionnement de l'embrayage SSS

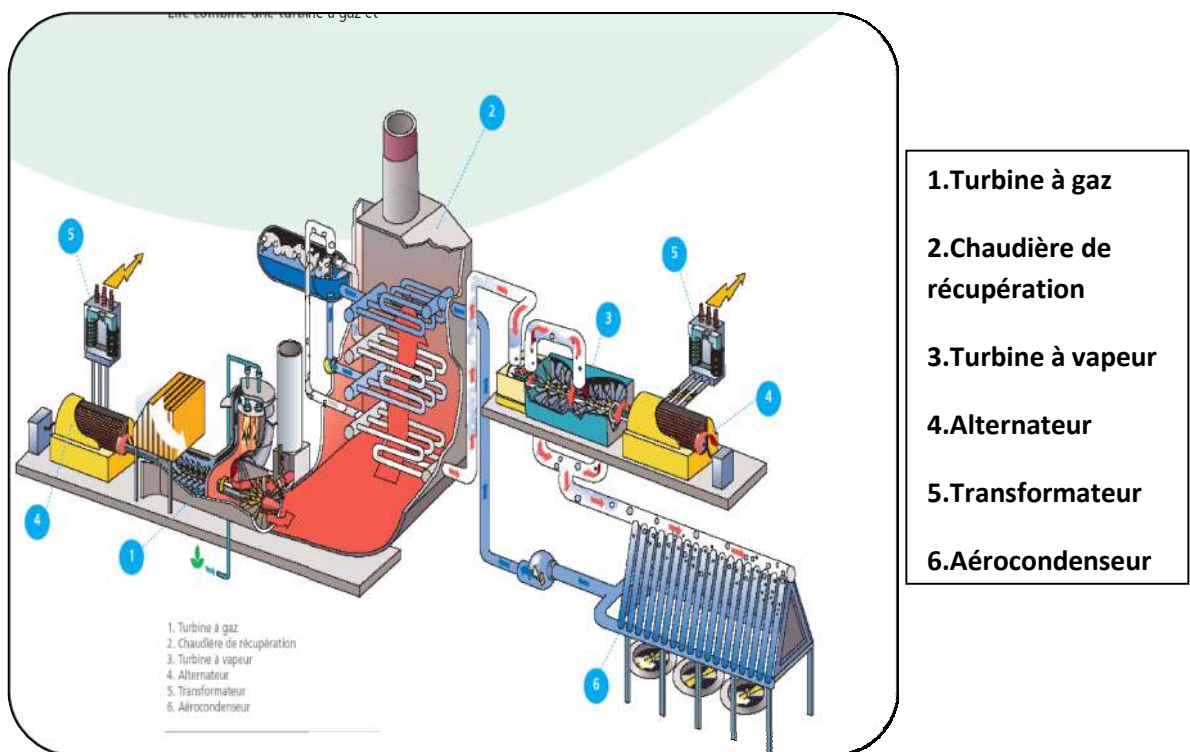
Ce système d'embrayage donne une certaine flexibilité dans l'exploitation de la tranche du cycle combiné en permettant les procédures suivantes :

- Lors du démarrage de la tranche, la turbine à gaz entraîne l'alternateur qui est débrayé de la turbine à vapeur. La vapeur produite dans la chaudière permet dans un premier temps de chauffer la turbine à vapeur, puis de démarrer sa rotation et sa montée en vitesse. Lorsque les vitesses des deux rotors sont identiques, l'embrayage est enclenché et les deux arbres s'accouplent de façon progressive et deviennent solidaires.
- Lors d'un défaut sur la turbine à vapeur, celle-ci peut être débrayée et séparée de la ligne de rotor, lui permettant de réduire sa vitesse tout en laissant la turbine à gaz tourner à vitesse nominale pour un temps limité. Ceci permet d'éviter une perte brusque de la puissance totale de la tranche.

- Lors d'un problème sur la turbine à gaz, celle-ci peut être arrêtée assez vite pour réparations puisque son inertie thermique est faible, alors que la turbine à vapeur peut être laissée à refroidir lentement tout en tournant sur son système de virage.

### 7.3.1.2 Configuration multi-arbre « multi-shaft »

Dans la configuration « multi-arbres » ou « multi-shaft », chaque turbine entraîne un alternateur qui produit de l'électricité.



**Figure 1.31 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné à configuration à arbres multiples**

Il existe plusieurs possibilités d'agencer une ou plusieurs turbines à gaz et une turbine à vapeur selon la puissance et le nombre de tranches souhaités pour la centrale.

Les deux configurations multi-arbre les plus communes sont :

- Multi-arbre 1 TG x 1TV « One on one multi-shaft » : Chaque tranche sera constituée d'une ligne d'arbre comprenant une turbine à gaz et son alternateur, ainsi que d'une deuxième ligne d'arbre pour la turbine à vapeur et son alternateur.

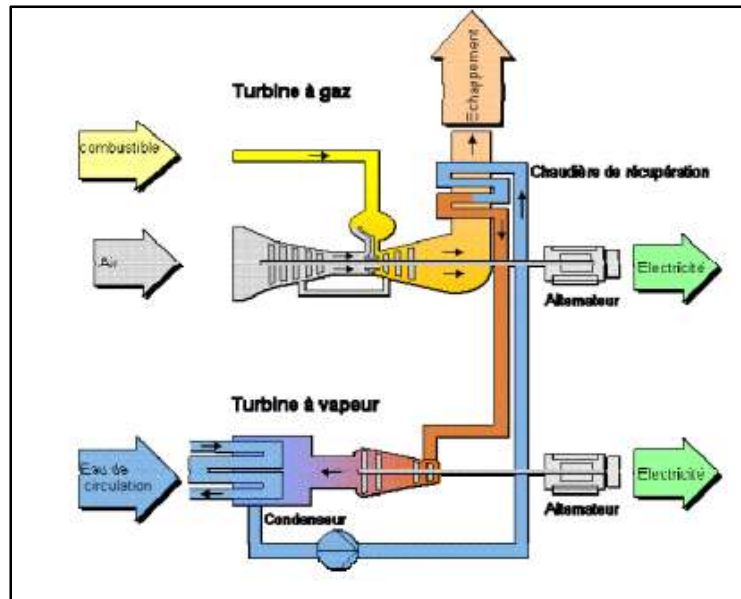


Figure 1.32 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné à configuration à arbres multiples (1 TG x 1 TV)

- Multi-arbre 2 TG x 1TV « Two on one multi shaft » : La configuration à arbres multiples permet d'avoir une seule turbine à vapeur (donc un seul condenseur avec ses conduites d'eau de refroidissement/circulation) pour plusieurs turbines à gaz.

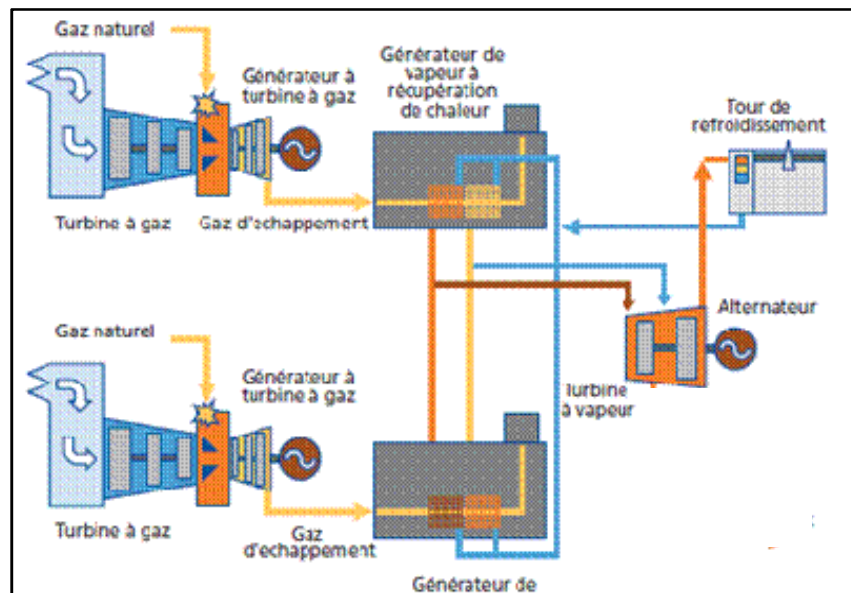


Figure 1.33 : Schéma simplifié d'une centrale à cycle combiné à configuration à arbres multiple (2TG x 1TV)

# **Chapitre II**

## **Présentation de la centrale a cycle combiné de AIN ARNAT**

## 1. Introduction

En vue de répondre à une demande croissante en énergie électrique, la société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE), et dans le cadre du renforcement des capacités de production de l'électricité, a enrichie le parc de production essentiellement par des centrales de type Cycle Combiné.

Parmi ces centrales la centrale d'AIN ARNAT. Lorsque sa capacité est injectée dans le réseau Interconnecté, elle est constituée un apport d'énergie électrique significatif et couvert l'ensemble des besoins de notre territoire.

La centrale est implantée sur un site dans la commune d'Ain Arnat (Wilaya de Sétif) sur une superficie de 30 Hectares.

Elle est constituée de trois (03) Tranches en Cycle Combiné en mono-arbre, avec des aéro-réfrigérants, d'une puissance unitaire de **338 MW**, fonctionnant au Gaz naturel et au gasoil comme combustible de secours.

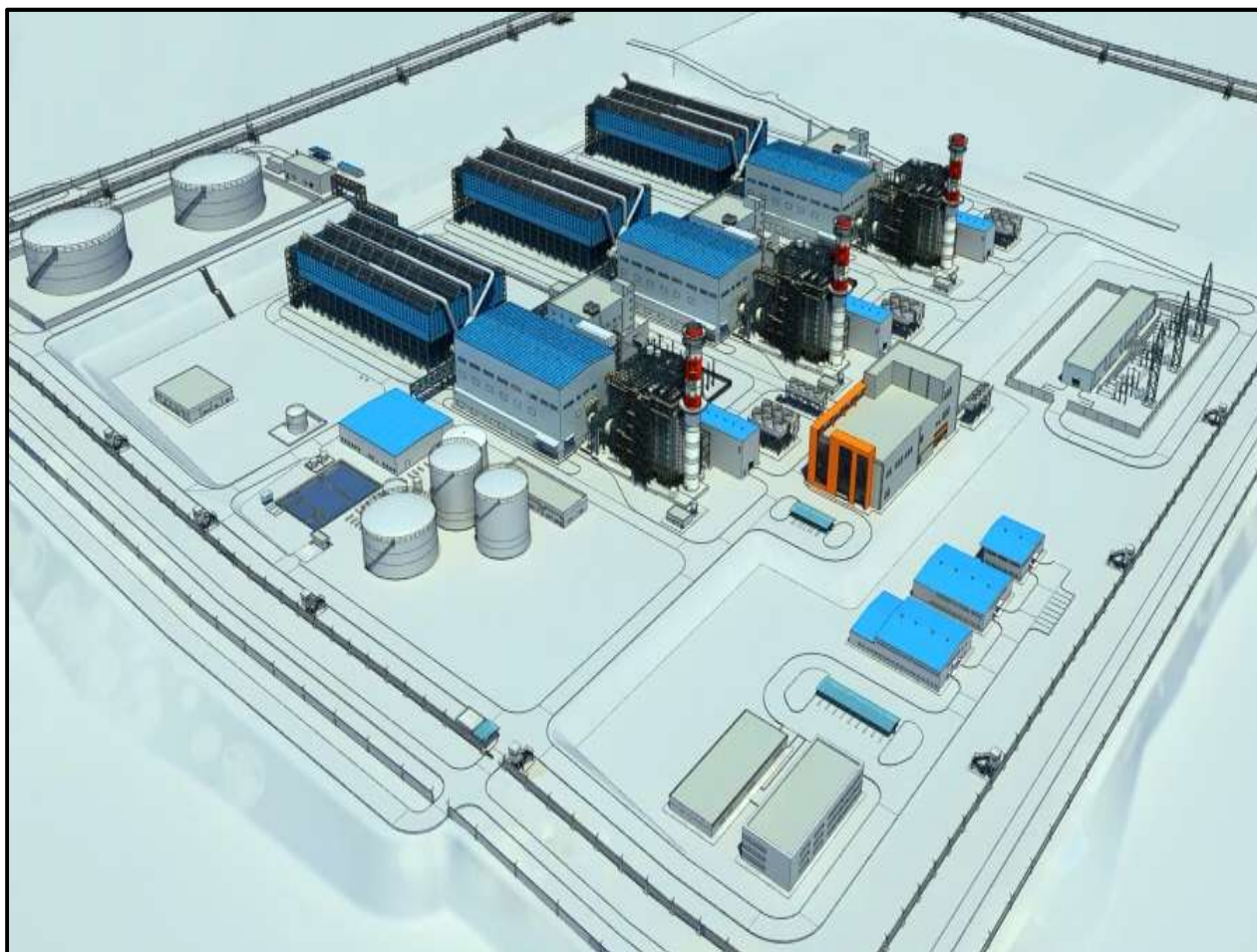


Figure 2.1 : Vue générale du central cycle combiné d'AIN ARNAT

## 2. Description Générale :

La centrale en cycle combiné à AIN ARNAT comprend trois (3) Tranches en « single shaft ». Chaque tranche est composée d'une (1) turbine à gaz (SIEMENS SGT5-4000F), une(1) chaudière de récupération et une (1) turbine à vapeur (SIEMENS SST5-3000 H-IL) avec un alternateur commun (SIEMENS SGen5-2000H).

Les turbines à gaz sont conçues pour brûler du gaz naturel en tant que combustible de base et du gazole en tant que combustible de secours.

Le gaz d'échappement de la TG est transmis à la chaudière de récupération (HRSG) qui est conçue comme une chaudière à triple pression horizontale avec resurchauffeur (RH).

La chaudière de récupération est horizontale, entièrement vidangeable, à circulation naturelle, avec trois niveaux de pression HP, PI, BP, chacun étant complet avec son propre ballon, et un système de resurchauffe sur la section PI.

Le système de by-pass de vapeur HP transfère l'ensemble de la vapeur HP au système de resurchauffe froid (CRH). Le système de by-pass de vapeur BP et de resurchauffe chaude(HRH) permet la réduction de pression et le refroidissement de la vapeur vive pour transmission vers l'aérocondenseur (ACC) de désaération.

La vapeur produite par la chaudière de récupération est livrée à la turbine à vapeur qui est de type avec resurchauffeur et à échappement axial. La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur est condensée dans l'aérocondenseur.

La TG et la TV partagent un alternateur en commun qui est de type refroidi par hydrogène. La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur est condensée dans l'aérocondenseur. La vapeur de la turbine à vapeur est condensée par l'air ambiant environnant aspiré par des ventilateurs installés dans l'aérocondenseur. Ce condensat collecté dans le collecteur d'aérocondenseur est stocké dans le réservoir de récupération de condensat, qui est à la température de saturation correspondant à la pression du condenseur.

Deux (2) x 100% pompes d'extraction de condensat vont conduire le condensat depuis le réservoir de récupération du condensat vers le préchauffeur de condensat de la chaudière de récupération.

Deux (2) x 100% pompes d'alimentation d'eau en chaudière HP/PI vont livrer l'eau d'alimentation du dégazeur by-pass ou de la sortie du préchauffeur de condensat à la section d'économiseur HP et PI de la chaudière de récupération.

La quantité des pertes d'eau du système causées par la purge de la chaudière de récupération sera compensée avec de l'eau déminéralisée provenant du système de traitement des eaux. L'eau d'appoint sera alimentée vers le réservoir de récupération du condensat à partir du réservoir de stockage d'eau déminéralisée via une pompe.

Le système d'eau de refroidissement en circuit fermé comprend des aéroréfrigérants, des pompes d'eau de refroidissement en circuit fermé et un vase d'expansion.

Le milieu de refroidissement est l'air transmis par un (1) x 120% aéroréfrigérant pour chaque TG & TV, et un (1) x 120% aéroréfrigérant pour le côté BOP de la centrale.

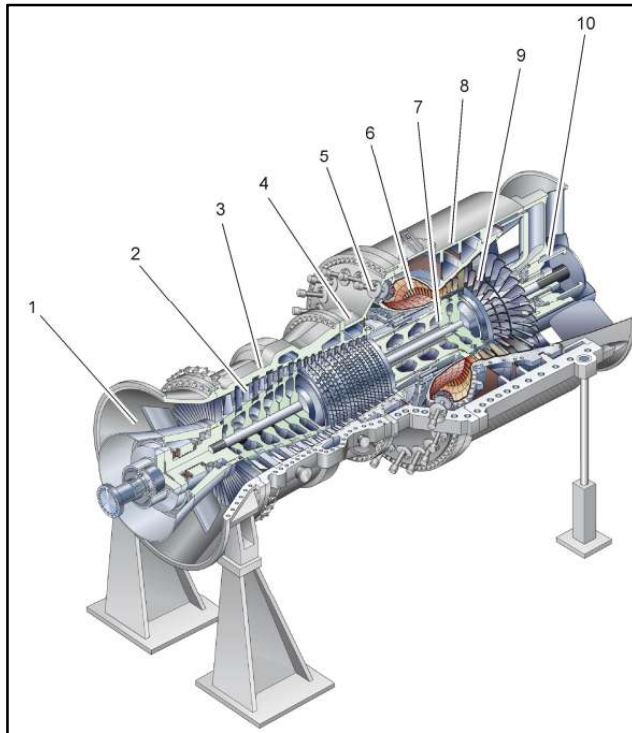
Le système d'eau de refroidissement en circuit fermé élimine la chaleur de plusieurs composants dans le périmètre de la centrale (refroidisseurs d'alternateur, refroidisseurs d'huile d'étanchéité et de graissage, pompes, refroidisseurs d'échantillonnage, etc.).

### **3. Description des principaux équipements :**

#### **3.1 Turbine à gaz**

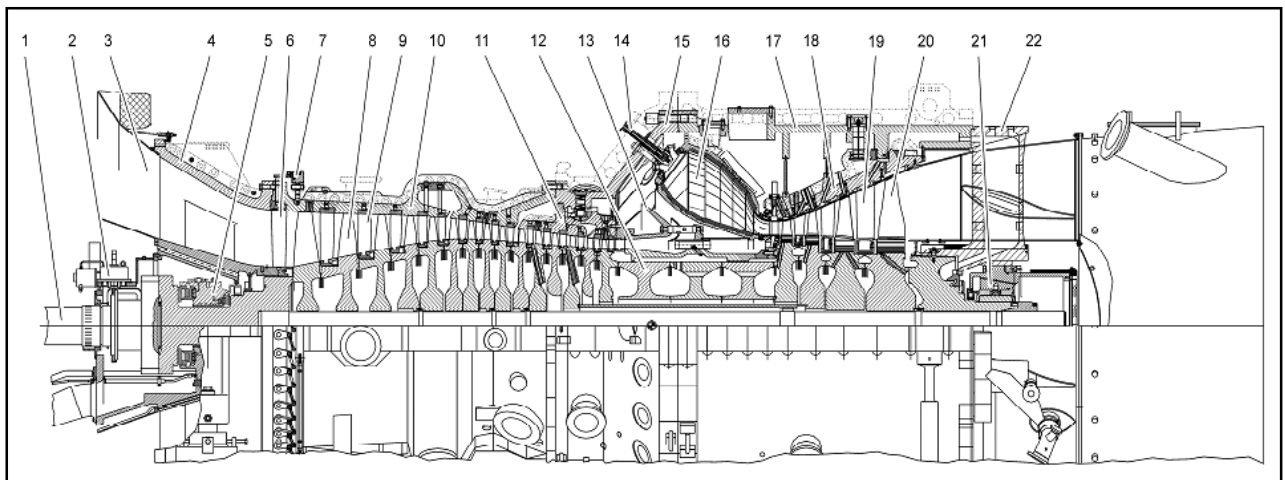
La centrale d'Ain Arnat est dotée d'une turbine à gaz SGT5-4000F qui consiste essentiellement à un compresseur axial multi-étage, un système de combustion pour le brûlage du gaz et une turbine axiale multi-étage.

- Le rotor porte les 15 étages d'aubage du compresseur et les 4 étages d'aubage de la turbine. L'aubage du compresseur transforme le couple de rotation en énergie cinétique, celui de la turbine l'énergie cinétique en couple de rotation
- Les aubes d'entrée du compresseur sont équipées par un système d'orientation permet de régler le débit d'air de la turbine à gaz. Lorsque les aubes sont « ouvertes », le débit augmente, lorsqu'elles sont « fermées », il diminue.
- Le groupe turbocompresseur est supporté par deux paliers à ses extrémités, un palier porteur, côté turbine et un et un palier porteur et de butée coté compresseur pour le bute d'absorber la poussée axiale et détermine la position axiale du rotor.
- Le système de combustion est constitué d'une chambre de combustion annulaire dotée de 24 brûleurs hybrides. La chambre de combustion annulaire est située entre le compresseur et la turbine, elle comporte 24 brûleurs hybrides répartis uniformément sur le pourtour. L'air y est mélangé au combustible de manière à permettre la formation d'une flamme stable dans le foyer.
- Le brûleur hybride pour les turbines à gaz de SIEMENS a été développé pour les combustibles gazeux et liquides. Le brûleur est constitué de plusieurs composants et possède différents systèmes de buses pour les différents combustibles et modes de fonctionnement. Le brûleur hybride réunit les avantages de la combustion en diffusion et de la combustion en pré mélange
- Le groupe turbocompresseur est équipé par un vireur hydraulique pour le but de virer le rotor après la mise à l'arrêt du groupe turboalternateur. Ceci permet d'obtenir un refroidissement uniforme et d'éviter par conséquent la distorsion du rotor.



- 1. Corps de palier du compresseur
- 2. Compresseur
- 3. Porte-directrices 1 du compresseur
- 4. Enveloppe externe de la chambre de combustion
- 5. Brûleurs
- 6. Chambre de combustion
- 7. Rotor
- 8. Enveloppe de la turbine
- 9. Turbine
- 10. Corps de palier de la turbine

Figure 2.2 : Schéma de principe des turbines à gaz à chambre de combustion annulaireSGT5-4000F



N°	Composant	N°	Composant	N°	Composant	N°	Composant
1	- Arbre intermédiaire	7	- Dispositif d'orientation des aubes	13	- Diffuseur d'échappement du compresseur	17	- Enveloppe externe – section 3
2	- Vireur hydraulique	8	- Aubes mobiles du compresseur	14	- Combinaison de brûleurs	18	- Stator turbine
3	- Gaine d'aspiration	9	- Aubes fixes du compresseur	15	- Enveloppe externe – section 2	19	- Aubes fixes de la turbine
4	- Corps de palier compresseur	10	- Porte-directrices I	16	- Chambre de combustion	20	- Aubes mobiles de la turbine
5	- Palier porteur et de butée	11	- Porte-directrices II			21	- Palier porteur
6	- Aubes fixes à orientation variable	12	- Rotor			22	- Corps d'échappement

Figure 2.3 : Coupe longitudinale du groupe turbo-compresseur SGT5-4000F

### **3.1.1 Auxiliaires de la turbine à gaz :**

#### **3.1.1.1 Le système d'huile de lubrification (MAV) :**

Le système d'huile de lubrification a les fonctions suivantes au niveau du process :

- Lubrification et refroidissement des paliers de la turbine et de l'alternateur à l'aide de l'huile de turbine aspirée du réservoir d'huile principal par les pompes à huile et envoyée aux paliers via le réfrigérant et le filtre ; les pressions et le débit sont réglés à l'aide de robinetteries d'étranglement
- Alimentation du vireur et de l'embrayage à roue libre en huile de lubrification
- Retour de l'huile de turbine vers le réservoir d'huile principal

Les principaux composants du système d'huile de lubrification sont les tuyauteries, les robinetteries manuelles et de l'équipement de surveillance, les réservoirs, pompes, moteurs, réfrigérants, filtres.

#### **3.1.1.2 Le système d'huile de soulèvement (MAV) :**

Le système d'huile de soulèvement assure les fonctions suivantes :

Alimenter les paliers en huile de soulèvement : durant l'arrêt de la ligne d'arbres ou à faible vitesse du groupe turboalternateur, un film de lubrification hydrostatique est formé entre chaque portée d'arbre et son palier par la pompe à huile de soulèvement en service. Ce film évite le contact métal-métal entre la portée de l'arbre et le palier et réduit la friction jusqu'à ce qu'un film de lubrification hydrodynamique prenne en charge cette fonction lorsque l'arbre tourne à une vitesse plus élevée.

Le circuit d'huile de soulèvement n'est plus en service aux vitesses supérieures à env. 26 s-1 (1560 tr/mn).

#### **3.1.1.3 Le système d'huile de commande TG (MBX) :**

Le circuit d'alimentation hydraulique fournit de l'huile hydraulique sous pression pour le fonctionnement des entraînements des systèmes auxiliaires suivant :

- Les vannes d'alimentation en gaz naturel,
- Les vannes d'alimentation en gaz liquide,
- L'actuateur des aubes à orientation variable (IGV).

Tous les composants de ce circuit sont regroupés dans le poste d'alimentation en huile hydraulique qui comporte : 02 pompes de fluide de commande redondantes, 02 filtres en aval des pompes de fluide de commande, 02 ventilateurs pour la refroidissement d'huile, dispositif de chauffage huile, un réservoir pour l'huile, en plus les tuyauteries, les instruments nécessaire aux fonctions de signalisation d'état et de protection et les robinetteries

#### **3.1.1.4 Le système d'admission d'air (MBL) :**

Le système d'admission d'air MBL est conçu pour fournir au compresseur de la turbine à gaz l'air comburant requis et protège les aubages du compresseur contre une usure prématurée due à l'encrassement. L'air comburant aspiré par le compresseur est épuré dans une combinaison des filtres.

- Un filtre coalesceur
- Des filtres autonettoyants
- Un filtre fin
- Un préchauffeur de l'air d'admission (APH).

### 3.1.1.5 Système d'eau de refroidissement d'huile :

Les systèmes d'eau de refroidissement d'huile des turbines à gaz et à vapeur comprennent le système d'eau de refroidissement en circuit fermé et les aéro-réfrigérants.

Les aéro-réfrigérants évacuent la chaleur du système d'eau de refroidissement en circuit fermé.

Le système d'eau de refroidissement en circuit fermé évacue la chaleur du réfrigérant d'alternateur (gaz H<sub>2</sub>), réfrigérant d'huile d'étanchéité et de graissage dans l'atmosphère via le Aéro-réfrigérants.

Le système de refroidissement en circuit fermé comporte deux pompes de circulation d'eau en redondance (2x100%) et 09 ventilateurs avec sont moteur

### 3.2. Turbine à vapeur :

La centrale d'Ain Arnat est dotée d'une turbine à vapeur SST5-3000 qui comprend un cylindre HP de type à barillet et un cylindre PI/BP à écoulement direct et à échappement axial dans le condenseur.

Le corps HP est une turbine à simple flux et à double enveloppe comprenant une porte aube fixe avec 27 étages à réaction (27 étages tambour de type torse) et une enveloppe externe. Il est fourni avec une robinetterie d'arrêt et de réglage rapportée latéralement par soudage, et supportée par des supports supplémentaires.

- Le corps HP est équipé de deux boîtes étanches. Celles-ci garantissent l'étanchéité de l'intérieur de l'enveloppe par rapport à l'atmosphère au niveau des traversées d'arbre côté admission et côté échappement.

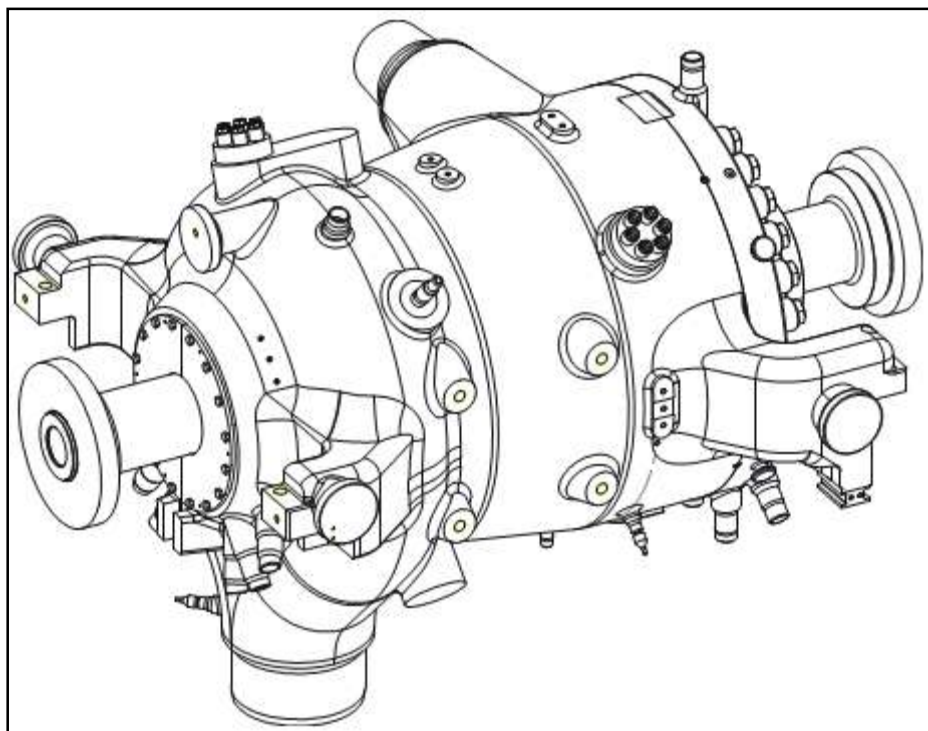


Figure 2.4 : Corps H \_ disposition type

- Le corps combiné moyenne et basse pression (MP et BP) étant logé sur le même arbre dans une seule enveloppe.

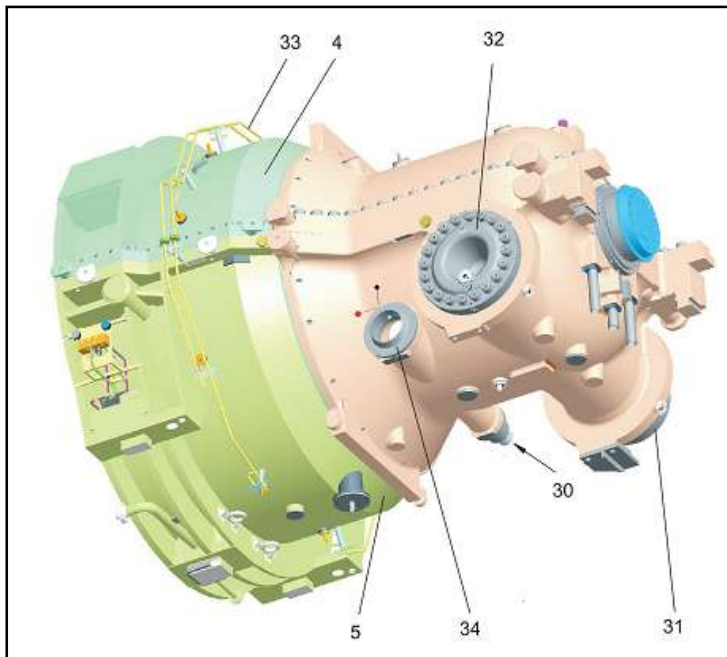
Le flux MP comporte 16 étages à réaction (16 étages tambour de type torse).

Le flux BP comporte 7 étages à réaction (4 étages tambour de type torse et 3 étages standard).

Le flux de vapeur traverse la robinetterie d'arrêt et de réglage de vapeur resurchauffée, l'enveloppe interne moyenne pression (MP) avec les aubages MP puis circule le long des aubes de la porte aube fixe basse pression (BP) et des couronnes d'aubes fixes BP.

Avant d'entrer dans les aubages BP, la vapeur traverse une robinetterie d'arrêt et de réglage BP. Le diffuseur et l'échappement sont disposés axialement et reliés au condenseur.

Le corps MP-BP est doté de deux boîtes étanches externes (X, Z) et des garnitures d'étanchéité du piston MP (Y). Les boîtes étanches externes ont pour fonction d'isoler l'intérieur de l'enveloppe de la turbine et le compartiment d'huile (côté échappement) par rapport à l'atmosphère au niveau des traversées. L'étanchéité entre l'arbre et l'enveloppe est réalisée à l'aide de garnitures effaçables à écoulement axial.

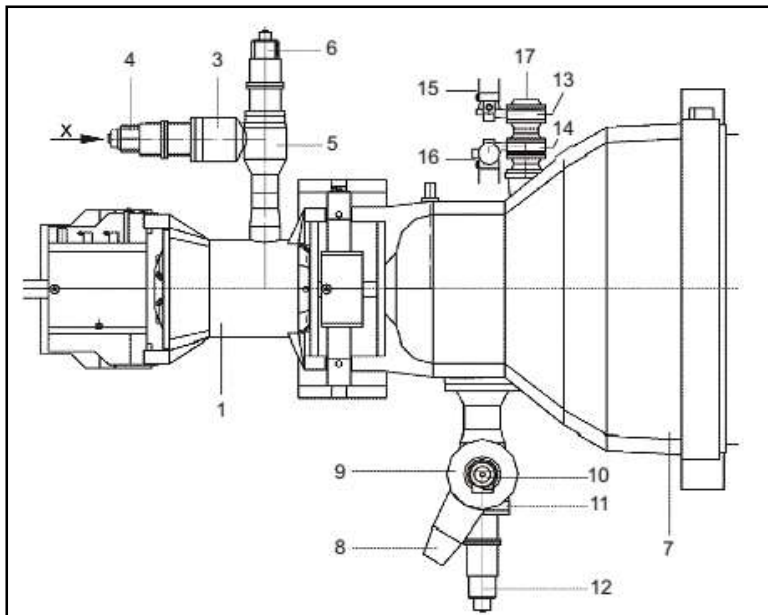


- 4** Section d'échappement - partie supérieure
- 5** Section d'échappement - partie inférieure
- 30** Vapeur de fuite venant du corps HP
- 31** Raccordement de la robinetterie de sectionnement et de réglage de la vapeur resurchauffée
- 32** Couvercle (compensation des forces de la vapeur)
- 33** Tuyauterie de refroidissement
- 34** Admission de vapeur BP

**Figure 2.5 : Corps MP-BP \_ Vue d'ensemble**

- La turbine à vapeur dispose d'une robinetterie combinée de sectionnement et de réglage de la vapeur principale et d'une robinetterie combinée de sectionnement et de réglage de la vapeur resurchauffée.

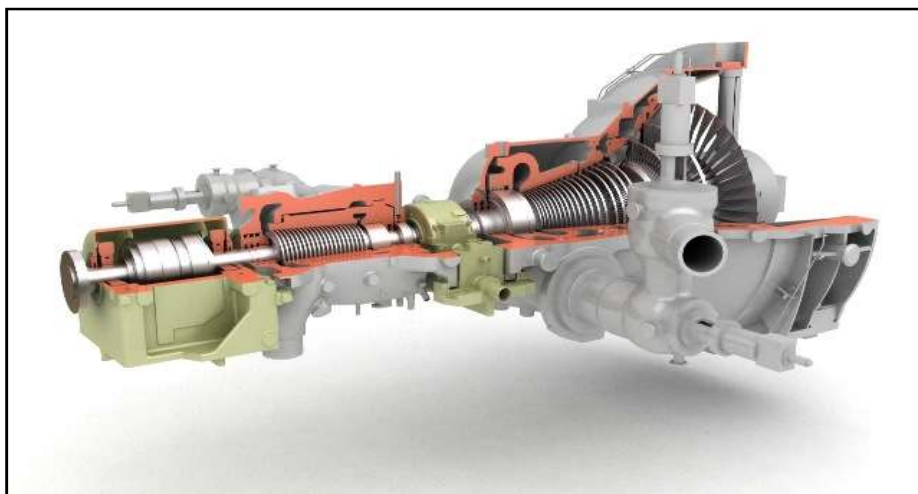
La vapeur principale amenée par les tuyauteries de vapeur traverse d'abord la vanne d'arrêt, puis la soupape de réglage.



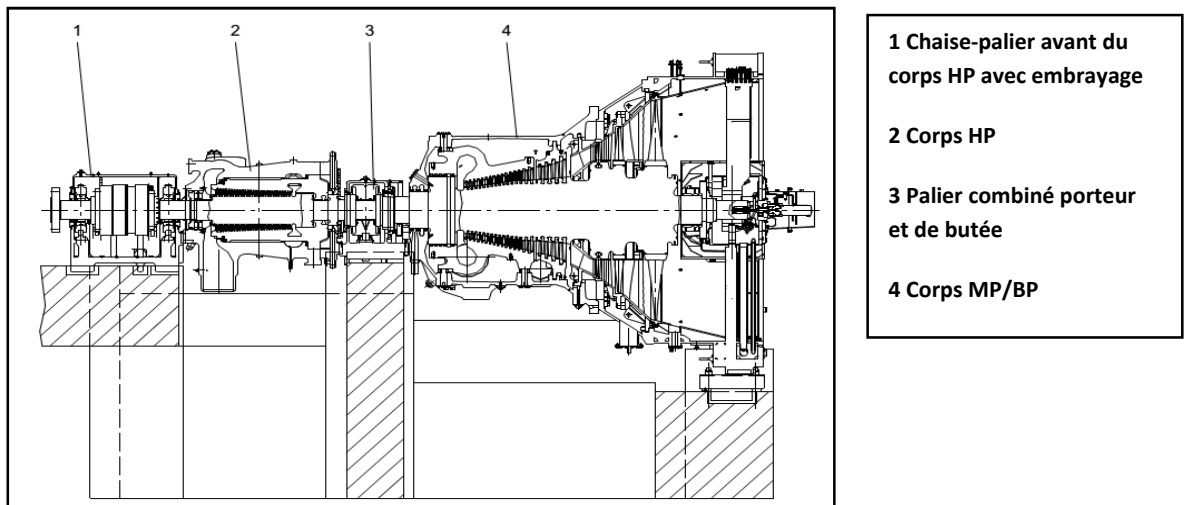
- 1 Corps H
- 2 Admission de vapeur principale
- 3 Vanne d'arrêt de la vapeur principale
- 4 Servomoteur de la vanne d'arrêt
- 5 Vanne de contrôle de la vapeur principale
- 6 Servomoteur de la Vanne de contrôle
- 7 Corps MP-BP
- 8 Admission de vapeur resurchauffée
- 9 Vanne d'arrêt de la vapeur resurchauffée
- 10 Servomoteur de la vanne d'arrêt
- 11 Vanne de contrôle de la vapeur resurchauffée
- 12 Servomoteur de la Vanne de contrôle
- 13 Vanne d'arrêt BP à papillon
- 14 Vanne de contrôle de vapeur BP à papillon
- 15 Servomoteur de la vanne d'arrêt BP à papillon
- 16 Servomoteur de la Vanne de contrôle de vapeur BP
- 17 Admission de vapeur BP

**Figure 2.6 : Disposition des robinetteries de la turbine a vapeur**

- Les paliers sont des paliers lisses lubrifiés à l'huile avec arrivée de l'huile d'un seul côté. Le corps HP est supporté par un palier porteur côté alternateur et un palier combiné porteur et de butée côté vapeur. Des paliers citron modifiés sont utilisés pour le corps BP ; ils sont caractérisés par un bon amortissement du système, de faibles besoins en lubrifiant et de faibles pertes par frottement. Le palier de butée est situé entre le corps HP et le corps MP/BP.
- La ligne d'arbres de la turbine à vapeur peut être virée dans les deux sens à l'aide du dispositif de virage a moteur électrique situé dans le fond d'échappement du corps MP/ BP de la turbine est relié à la chaise palier. Le moteur électrique est en mesure de régler la vitesse de rotation en sens direct et inverse, et de décélérer et accélérer la ligne d'arbres en fonction de la position d'un embrayage commutable entre le moteur et le rotor.



**Figure 2.7 : Turbine a vapeur SST5-3000**



**Figure 2.8 : Turbine a vapeur SST5-3000 / schéma de principe**

### **3.2.1 Auxiliaires de la turbine à vapeur :**

La turbine à vapeur partage quelques auxiliaires avec la turbine a gaz tel que Le système d'huile de lubrification (MAV), Le système d'huile de soulèvement (MAV), Le système d'eau de refroidissement d'huile.

En plus les auxiliaires cité en dessus, la turbine a vapeur a leur propre système d'huile de commande TV (MAX) :

#### **3.2.1.1 Le système d'huile de commande TV (MAX) :**

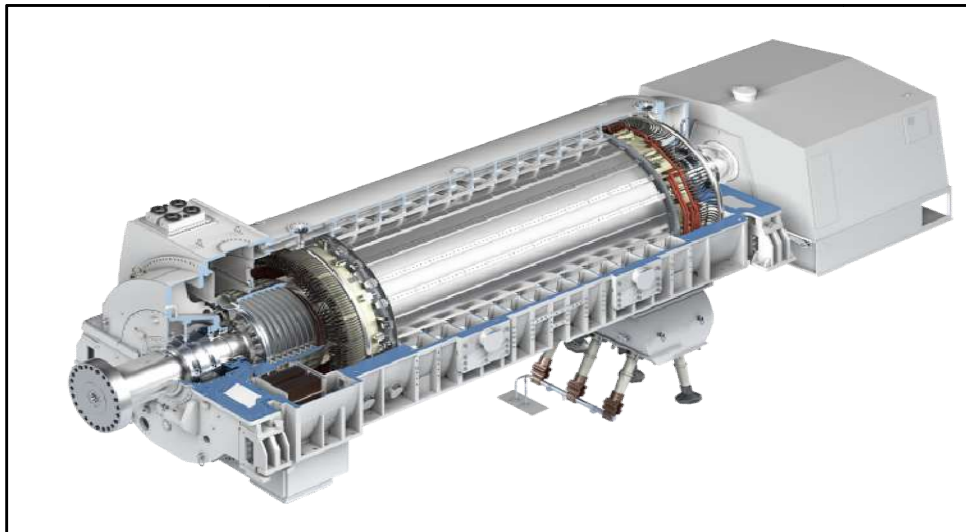
Le groupe d'alimentation en fluide de commande alimente les actionneurs des robinetteries de la turbine en fluide de commande et régulation. Ce groupe alimente les robinetteries suivantes :

- Vanne d'arrêt et vanne de contrôle HP
- Vanne d'arrêt et vanne de contrôle MP

Le système de fluide de commande et régulation est conçue principalement par : 02 pompes de fluide de commande, 02 accumulateurs hydrauliques, 02 filtres en aval des pompes de fluide de commande, dispositif de chauffage huile, un réservoir pour l'huile, en plus les tuyauteries, les instruments de surveillance et les robinetteries.

### 3.3 Alternateur (Générateur) :

La TG et la TV de la centrale d'Ain Arnat partagent un alternateur commun. L'alternateur est un SGen5-2000H bipolaire refroidi à l'hydrogène.



**Figure 2.9 : Alternateur SGen5-2000H**

- L'alternateur est caractérisé par les données techniques suivant :

Puissance apparente	386 MVA
Puissance active	347 MVA
Courant	10130 A
Tension	22,00 kV $\pm$ 5%
Vitesse	3 000 tr/min
Fréquence	50 Hz
Pression de H2	5 bar (g)

- L'alternateur est à refroidissement direct de l'enroulement du rotor et à refroidissement indirect de l'enroulement du stator par hydrogène. Il est doté d'une carcasse résistante à la pression et étanche au gaz ainsi que de paliers flasques à chacune de ses extrémités. Les réfrigérants d'hydrogène sont logés à l'intérieur de la carcasse aux deux extrémités de la machine.
- L'alternateur comprend les éléments suivants :
  - A/ Le stator** : il est constitué par carcasse, circuit magnétique (empilage de tôles et enroulement), déflecteur et garniture à labyrinthe, bornes de sortie et du réfrigérants d'hydrogène.
  - B/ Le rotor** : il est constitué par arbre, enroulement du rotor, frettes, connecteur de courant d'excitation, bagues collectrices et porte balais.



Figure 2.10 : Rotor de l'alternateur

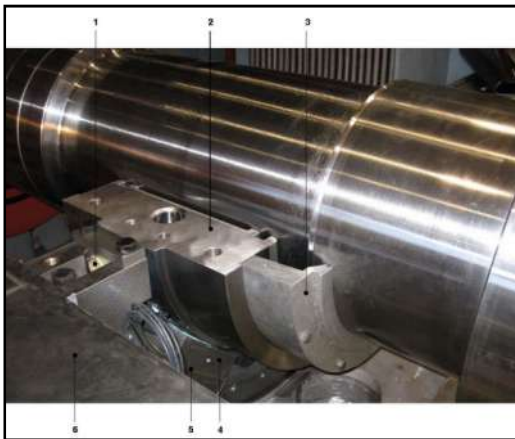


Figure 2.11 : Ventilateur de rotor

**C/ Les paliers :** L'arbre du rotor est logé dans deux paliers lisses constitués d'un demi coussinet supérieur et d'un demi-coussinet inférieur à revêtement antifriction. Les paliers sont logés dans les flasques du stator.

Les paliers flasques sont boulonnés aux extrémités de la carcasse. Ils contiennent les coussinets et les sièges de coussinet, les étanchéités d'arbre et les boîtes étanches ainsi que les joints Performance. Les flasques supportent le poids du rotor.

Tous les paliers sont isolés électriquement du couvercle de palier pour empêcher la circulation des courants d'arbre. La température des paliers est contrôlée par des thermocouples disposés dans les demi-coussinets inférieurs de façon que les points de mesure se trouvent juste sous la garniture du métal antifriction.



- 1 - Fixation tangentielle (blocage du palier en rotation)
- 2 - Demi-coussinet inférieur
- 3 - Racleur d'huile
- 4 - Selle de palier
- 5 - Isolation du palier
- 6 - Demi-flasque inférieur du stator

Figure 2.12 : Palier de l'alternateur côté excitatrice



Figure 2.13 : Demi-palier flasque supérieur

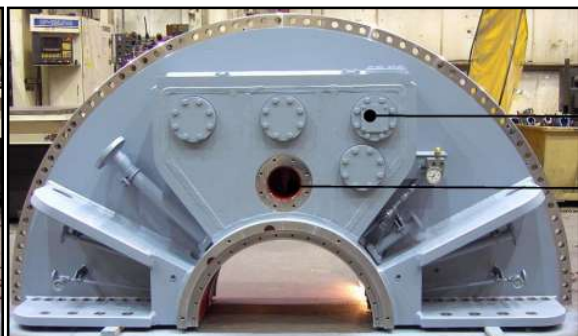


Figure 2.14 : Demi-palier flasque inférieur

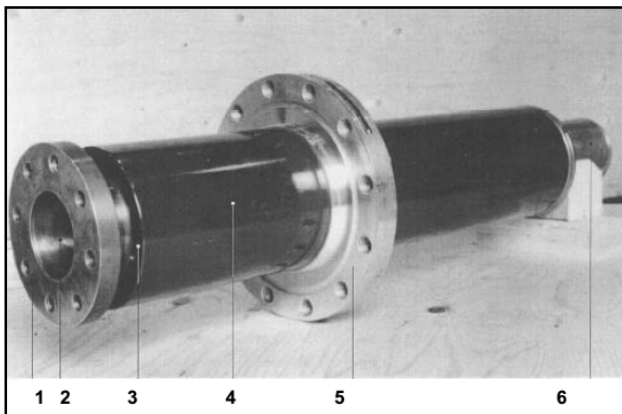
**D/ L'étanchéités de l'arbre :** Pour éviter que l'hydrogène gazeux ne s'échappe de la carcasse de l'alternateur, l'arbre est équipé de joints. La dénomination officielle de ces joints est Performance Plus™Seals (PPS). Leur principe de fonctionnement consiste à les utiliser avec de l'huile sous haute pression pour créer un barrage à l'endroit où l'arbre traverse la carcasse. Ces joints en carbone sont maintenus par des supports directement fixés aux paliers flasques côté hydrogène. Ils sont placés sur la face intérieure des paliers côté turbine et côté excitatrice et assurent l'étanchéité au contact des soies des paliers.

Le système d'alimentation en huile d'étanchéité fournit en huile de turbine les joints de l'arbre de l'alternateur à une pression supérieure à celle de l'hydrogène gazeux à l'intérieur de la carcasse. La pression des joints compensant celle de l'hydrogène gazeux, ce dernier ne peut s'échapper de la carcasse par les joints.

**E/ Les bornes de sortie :** Les connexions qui forment le début et la fin des trois phases de l'enroulement sortent de l'enveloppe du stator par des bornes étanches à l'hydrogène.

La borne de sortie est une traversée tubulaire refroidie directement par hydrogène. Elle se compose d'un conducteur creux en cuivre doté d'une bride de raccordement côté hydrogène et d'un embout cylindrique côté air.

Des transformateurs d'intensité peuvent être montés sur ces bornes à l'extérieur de la carcasse aux fins de mesure et de protection.



- 1-Bride de raccordement côté hydrogène
- 2- Entrée de l'hydrogène
- 3 - Sortie de l'hydrogène
- 4 - Cylindre isolant
- 5 - Bride de fixation
- 6 - Bride de raccordement côté air

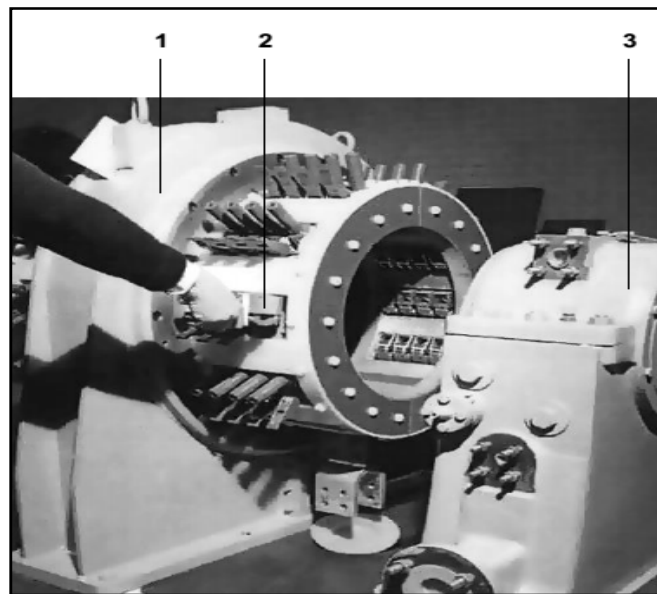
**Figure 2.15 : Borne de sortie**

**F/ Le réfrigérant d'hydrogène :** c'est un échangeur thermique doté de tubes à ailettes Il soustrait à l'hydrogène sa chaleur pour la transmettre à l'eau de refroidissement parcourant les tubes. L'hydrogène passe au dessus des ailettes.

L'alternateur est doté de deux réfrigérants, un à chaque extrémité de l'alternateur. Chaque réfrigérant comprend deux parcours disposés tangentiellement dans la carcasse du stator. Cette construction permet d'intégrer les réfrigérants dans le système de refroidissement par hydrogène sans devoir accroître la longueur totale de l'alternateur.

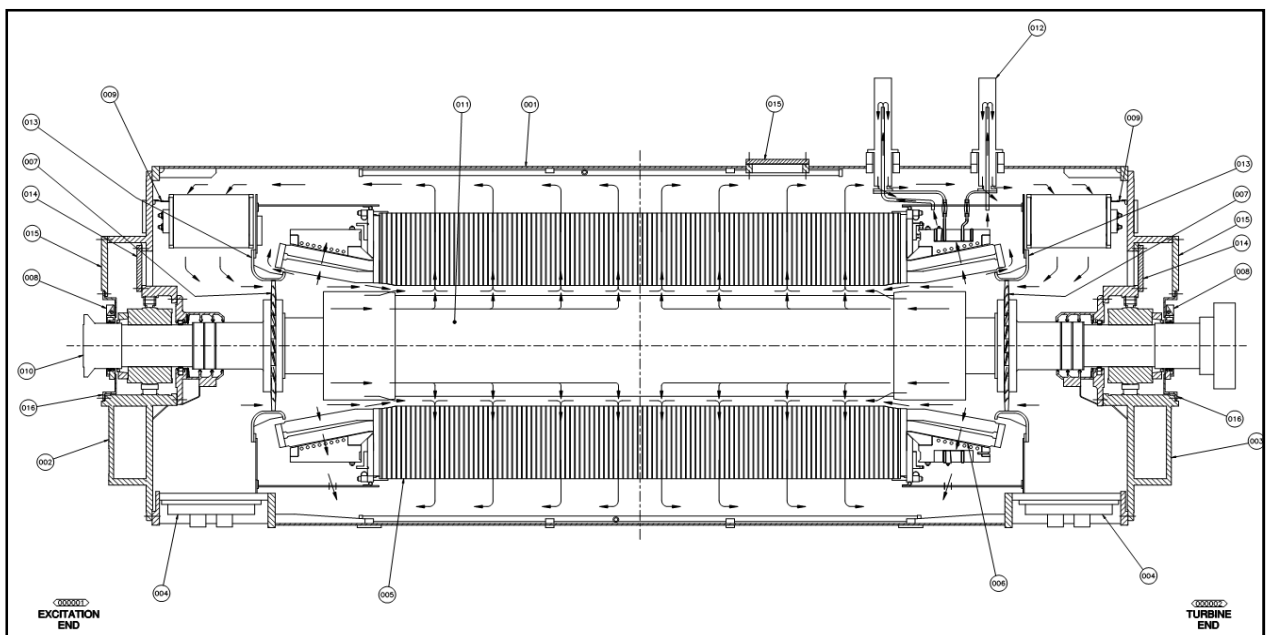
L'hydrogène s'écoule dans le réfrigérant radialement alors que l'eau de refroidissement parcourt le réfrigérant horizontalement. L'eau arrive par la tubulure d'entrée puis change de direction dans la boîte à eau opposée à la boîte d'entrée avant de retourner à la tubulure de sortie.

**G/ Le système d'excitation :** Le courant d'excitation pour l'enroulement du rotor est fourni par le dispositif d'excitation statique. Des bagues collectrices et des balais en carbone sont utilisés pour transmettre le courant d'excitation au rotor de l'alternateur qui est en rotation. L'équipement des balais comprend des porte-balais enfichables permettant un remplacement des balais usés lors du fonctionnement à pleine vitesse et pleine charge. Un ventilateur hélicoïde double flux assure le refroidissement symétrique intensif des bagues collectrices entre lesquelles il est logé.



- 1- Equipement des balais
- 2 - Porte-balais
- 3 - Chaise de palier

**Figure 2.16 : Équipement des balais avec portebalais**



001	CARCASSE
002	JOINT ÉTANCHE À L'HUILE, PALIER ET FLASQUE DE PALIER CÔTÉ TURBINE À VAPEUR
003	JOINT ÉTANCHE À L'HUILE, PALIER ET FLASQUE DE PALIER CÔTÉ TURBINE À GAZ
004	REFRIGÉRANT D'HYDROGÈNE
005	CIRCUIT MAGNÉTIQUE DU STATOR
006	ENROULEMENT DU STATOR
007	VENTILATEUR
008	CAPTEUR DU VIBROMÈTRE
009	PAROIS DE DÉFLEXION DU RÉFRIGÉRANT
010	ARBRE DU ROTOR
011	ENROULEMENT DU ROTOR
012	TRAVERSÉES DES BORNES DES CONDUCTEURS DE PHASES
013	TÔLES DE PROTECTION DU VENTILATEUR
014	COUVERCLE DE TROU D'HOMME
015	AMOVIBLE

**Figure 2.17 : Coupe longitudinale d'alternateur SGen5-2000H**

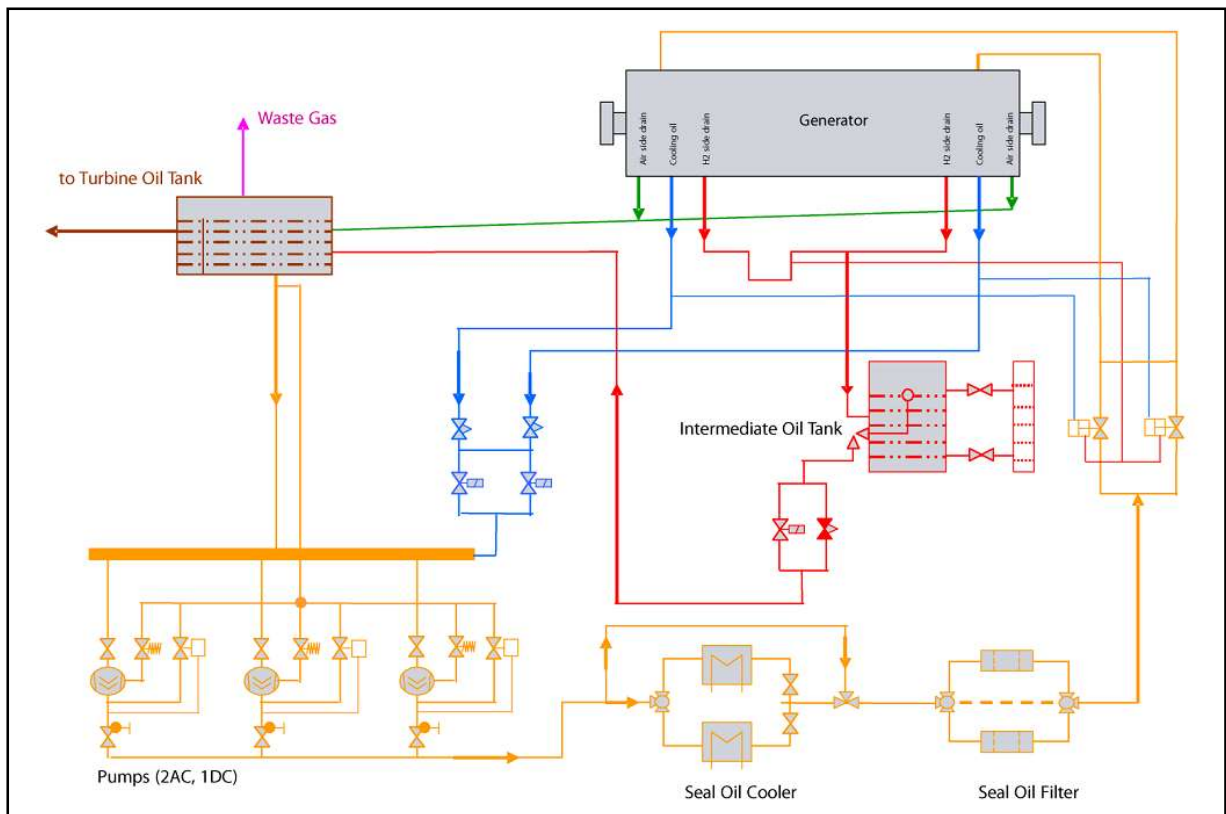
### **3.3.1 Auxiliaires d'alternateur :**

En plus les auxiliaires commun avec la turbine a gaz et la turbine a vapeur (Le système d'huile de lubrification (MAV), Le système d'huile de soulèvement (MAV), Le système d'eau de refroidissement d'huile), l'alternateur a les auxiliaire suivants :

#### **3.3.1.1 Système d'huile d'étanchéité (MAW) :**

Les joints d'étanchéité de l'arbre sont alimentés en huile par un circuit dont les principaux éléments sont les suivants :

Réservoir de stockage de l'huile d'étanchéité (sur la conduite d'évacuation de l'huile de lubrification), réservoir tampon, 02 pompes à huile d'étanchéité (2x100%), pompe à huile d'étanchéité de secours(CC),réfrigérants, 02 filtres (2x100%), en plus les tuyauteries, les instruments de surveillance et les robinetteries.



**Figure 2.18 : Schéma simplifié du système d'huile d'étanchéité d'alternateur**

### 3.3.1.2 Système de gaz d'alternateur :

Le circuit des gaz regroupe tous les équipements nécessaires pour remplir et vidanger l'alternateur avec du CO<sub>2</sub>, de l'argon, de l'hydrogène ou de l'air et pour faire fonctionner l'alternateur dans l'hydrogène.

L'air et l'hydrogène formant un mélange facilement explosif, l'alternateur doit être rempli avec un gaz inerte (CO<sub>2</sub> ou Ar) avant de procéder à son remplissage avec de l'H<sub>2</sub> ou à sa vidange. Il faut introduire dans l'alternateur une quantité de CO<sub>2</sub> ou d'argon suffisante pour exclure toute possibilité de mélange explosif lors des phases ultérieures de remplissage ou de vidange. Le circuit des gaz englobe : l'alimentation en hydrogène (bouteilles H<sub>2</sub>), l'alimentation en CO<sub>2</sub> ou en argon (bouteilles CO<sub>2</sub> ou en argon), l'alimentation en air comprimé, les détendeurs, les manomètres, divers organes d'arrêt, les appareils de mesure de la concentration, le sécheur de gaz, les débitmètres.

### 3.4 Chaudière de récupération (HRSG) :

La centrale d'Ain Arnat est composée de trois chaudières de récupération (une chaudière par tranche).

La chaudière est située en aval de la turbine à gaz. La turbine à combustion décharge un volume important de gaz d'échappement de turbine (TEG) contenant une quantité considérable d'énergie thermique.

La chaudière de récupération récupère la majeure quantité d'énergie thermique déchargée par les gaz d'échappement de turbine à gaz, cette énergie est utilisée dans le processus de génération de vapeur.

La chaudière de récupération est constituée principalement par:

- ✓ Trois ballons de vapeur HP, MP, BP
- ✓ Surchauffeur
- ✓ Réchauffeur
- ✓ Evaporateur
- ✓ Economiseur
- ✓ Préchauffeur du Condensat
- ✓ Dégazeur de By-pass
- ✓ Réservoir de Purge

Les éléments de la chaudière sont disposés selon leurs positions relatives au débit de Turbine à Gaz comme Suits:

Ordre	Nom de l'élément
1	Réchauffeur (RH) 2
2	Surchauffeur (SH)2-HP
3	Réchauffeur (RH) 1
4	Surchauffeur (SH)1-HP
5	Evaporateur (EV)-HP
6	Surchauffeur (SH)2-MP
7	Economiseur (EC)2-HP
8	Surchauffeur (SH)1-MP
9	Evaporateur (EV)-MP
10	Surchauffeur (SH)-BP
11	Economiseur (EC)1-HP
12	Economiseur (EC)-MP
13	Evaporateur (EVA) BP
14	Préchauffeur du Condensat (CPH)

La chaudière de récupération peut diviser en trois sections : La section de génération de vapeur à basse pression, La section de génération de vapeur à moyenne pression et la section de génération de vapeur à haute pression.

#### **3.4.1 La section de génération de vapeur à basse pression :**

La section de génération de vapeur BP délivre de l'eau d'alimentation préchauffée, désaérée, aux pompes d'alimentation de chaudière pour être utilisée dans les sections de vapeur BP et HP. La section BP tire parti de l'énergie thermique restante du gaz d'échappement avant de pénétrer dans la cheminée d'échappement, la section comporte :

##### **3.4.1.1 Ballon de vapeur BP :**

Le ballon de vapeur BP se trouve en haut de la section BP du HRSG et typiquement il s'agit d'un récipient horizontal, soudé.

Le ballon de vapeur BP est équipé les connexions suivantes: Deux indicateurs de niveau à voyant, Transmetteurs de niveau, Vannes de sécurité, Indicateurs de pression locale, Transmetteurs de pression, Délestage de surpression de vapeur vers le condenseur, Colonnes montantes de vapeur à partir de l'évaporateur BP, Colonnes descendantes vers les collecteurs inférieurs de l'évaporateur BP, Évacuation de vapeur BP vers le dégazeur.

### 3.4.1.2 Évaporateurs BP :

L'évaporateur BP offre une surface de transfert de chaleur pour la production de vapeur BP à utiliser dans le dégazeur, il se trouve dans la section BP du HRSG. L'évaporateur BP est en général construit avec des tubes à ailettes et se compose de différentes rangées de tubes d'échangeurs thermiques.

### 3.4.1.3 Économiseur/chauffeur d'eau d'alimentation BP :

L'économiseur offre une surface de transfert de chaleur pour le préchauffage de l'eau d'alimentation BP avant de pénétrer dans le dégazeur, il se trouve dans la section la plus éloignée de la chaudière et il est construit avec des tubes à ailettes.

### 3.4.1.4 Dégazeur :

Il utilise la vapeur pour retirer les gaz non condensables de l'eau d'alimentation avant de pénétrer dans le ballon de vapeur BP, il est monté en haut de la chaudière.

Les principaux composants du dégazeur sont les buses de pulvérisation et les bacs de désaération.

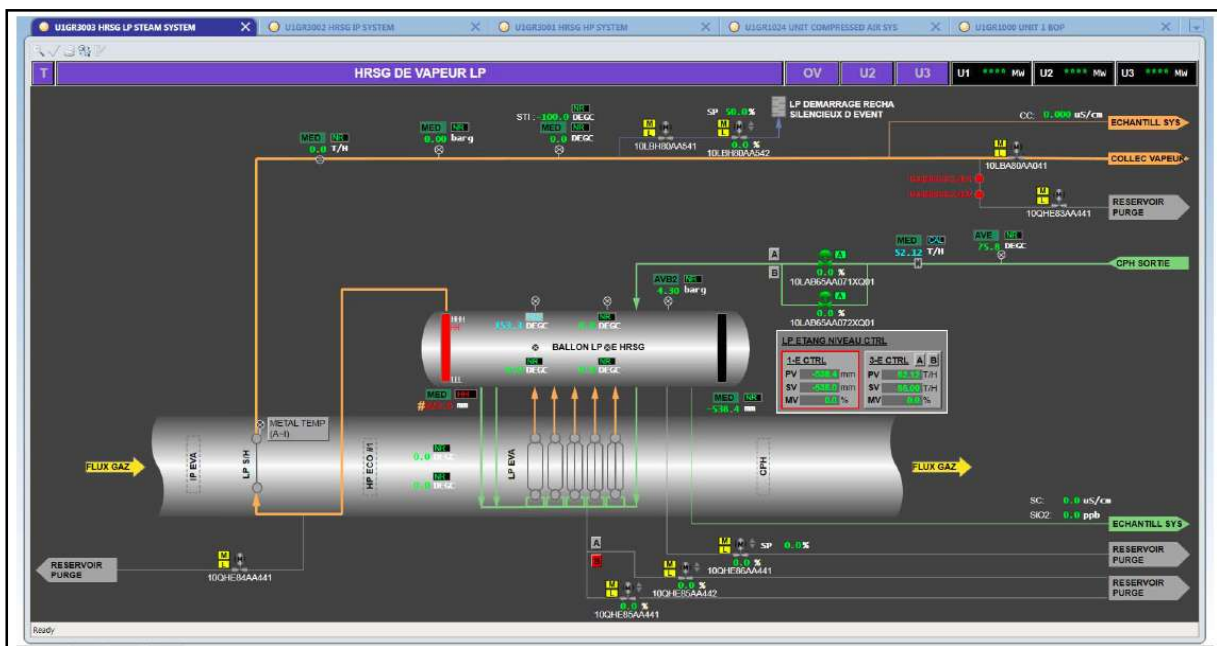


Figure 2.19 : Schéma simplifié de la section de génération de vapeur basse pression

## 3.4.2 Section de génération de vapeur à moyenne pression :

La section de génération de vapeur MP délivre de la vapeur surchauffée sèche à la turbine à vapeur et aux circuits de vapeur auxiliaire ou procédé. La section est composée par :

### 3.4.2.1 Ballon de vapeur MP :

Le ballon de vapeur MP se trouve en haut de la section MP de la chaudière, c'est un récipient horizontal équipé de deux couvercles de trous d'homme sur charnières. Il sert de réservoir de l'eau d'alimentation MP préchauffée et en tant que point de séparation de vapeur MP.

Le ballon de vapeur MP est équipé par les connexions suivantes: Deux indicateurs de niveau à voyant, Transmetteurs de niveau, Vannes de sécurité, Indicateurs de pression locale, Transmetteurs de pression, Un refoulement de vapeur MP vers le surchauffeur MP, Des colonnes montantes de vapeur à partir des évaporateurs MP, Colonnes descendantes vers les collecteurs inférieurs de l'évaporateur MP, Une tuyauterie d'entrée d'eau d'alimentation à partir de l'économiseur MP, Une conduite d'ajout de produit chimique, Une conduite d'échantillonnage de vapeur.

### 3.4.2.2 Évaporateur MP :

L'évaporateur MP se trouve dans la section MP de la chaudière et est en général construit en tubes à ailettes, tous les tubes sont connectés avec le ballon MP.

L'évaporateur MP se compose de rangées de tubes, chaque rangée faisant un seul passage vers le haut à travers la voie d'échappement du gaz de turbine de combustion.

### 3.4.2.3 Économiseur MP :

L'économiseur MP se trouve dans la section MP de la chaudière, il est en général construite en tubes à ailettes, il a la fonction de préchauffer l'eau d'alimentation MP avant de pénétrer dans le ballon de vapeur.

### 3.4.2.4 Surchauffeur MP :

Le surchauffeur MP est un tube à ailettes et se compose d'une seule rangée de tubes d'échangeurs de chaleur situés dans la section MP de la chaudière. La rangée simple de tubes fait un passage vers le haut à travers le chemin d'échappement de gaz de turbine de combustion.

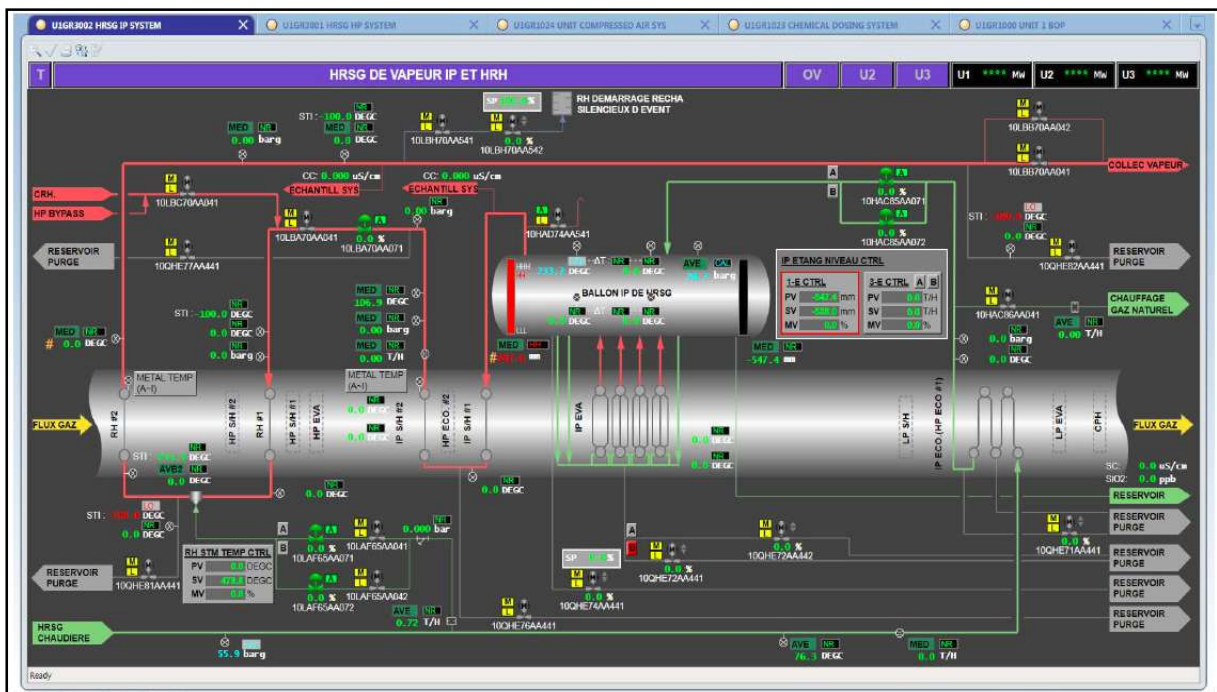


Figure 2.20 : Schéma simplifié de la section de génération de vapeur moyenne pression

### 3.4.3 Section de génération de vapeur haute pression :

La section de génération de vapeur HP délivre à la turbine à vapeur de la vapeur sèche, surchauffée, à haute pression, cette section comporte :

#### 3.4.3.1 Ballon de vapeur HP :

Le ballon de vapeur HP se trouve en haut de la section HP de la chaudière, c'est un récipient horizontal équipé de deux couvercles de trous d'homme sur charnières. Il sert de réservoir l'eau d'alimentation MP préchauffée et en tant que point de séparation de vapeur HP.

Le ballon de vapeur HP équipé par les connexions suivantes: Deux indicateurs de niveau à voyant, Transmetteurs de niveau, Vannes de sécurité, Indicateurs de pression locale, Transmetteurs de pression, Un refoulement de vapeur HP vers le surchauffeur HP, Des colonnes montantes de vapeur à partir des évaporateurs HP, Colonnes descendantes vers les collecteurs inférieurs de l'évaporateur MP, Une tuyauterie d'entrée d'eau d'alimentation à partir de l'économiseur HP, Une Ligne

d'extraction continue, Une conduite d'ajout de produit chimique, Une conduite d'échantillonnage de vapeur.

### 3.4.3.2 Évaporateur HP :

L'évaporateur HP se trouve dans la section HP de la chaudière et est en général construit en tubes à ailettes, tous les tubes sont connectés avec le ballon HP.

L'évaporateur HP se compose de rangées de tubes, chaque rangée faisant un seul passage vers le haut à travers la voie d'échappement du gaz de turbine de combustion.

### 3.4.3.3 Économiseur HP :

La chaudière es équipée de deux économiseurs HP, ils se trouvent dans la section HP de la chaudière, ils sont en général construite en tubes à ailettes, ils ont la fonction de préchauffer l'eau d'alimentation HP avant de pénétrer dans le ballon de vapeur.

### 3.4.3.4 Surchauffeur HP basse température :

Le surchauffeur HP est en général en tubes à ailettes et se compose de rangées de tubes d'échangeurs de chaleur situés dans la section génération de vapeur haute pression du HRSG.

Il a le but de surchauffage préliminaire de la vapeur HP.

### 3.4.3.5 Surchauffeur HP à température élevée :

Il offre une surface de transfert de chaleur pour l'étage final de surchauffe de la vapeur HP.

### 3.4.3.6 Dé-surchauffeur HP :

Il offre un moyen de contrôler la température de la vapeur HP qui sort de la surchauffeur HP à température élevée.

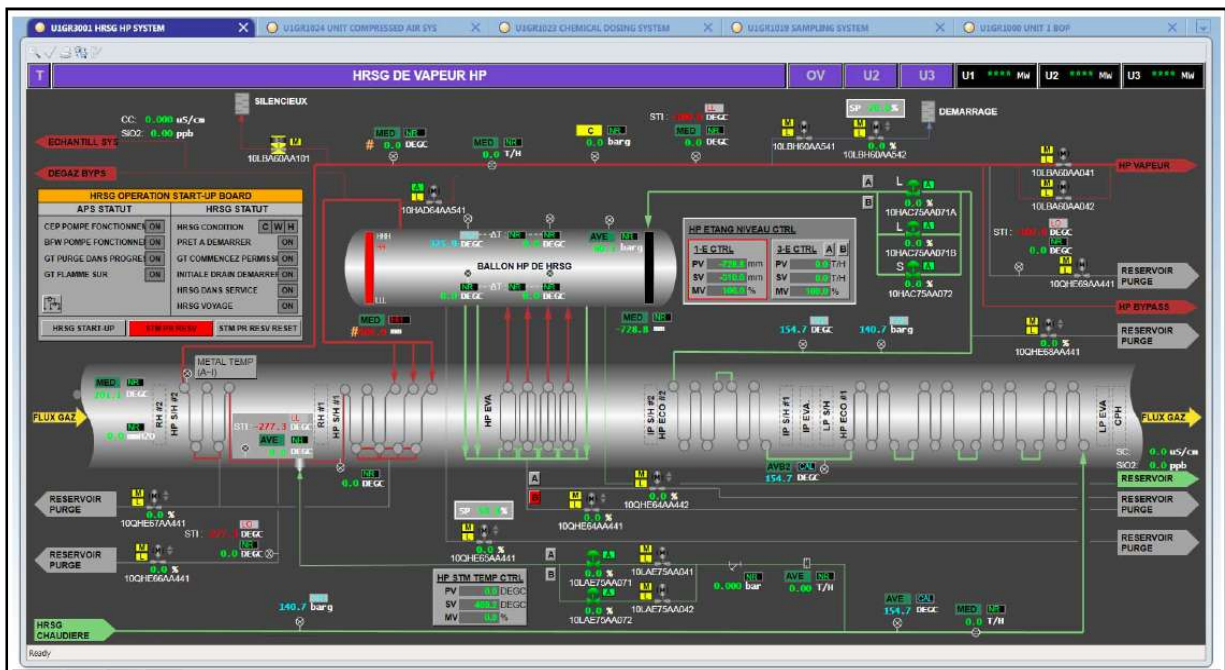


Figure 2.21 : Schéma simplifié de la section de génération de vapeur haute pression



**Figure 2.22 : Photo de la chaudière de récupération de la centrale de Ain Arnat**

#### **3.4.4 Système d'eau d'alimentation de la chaudière de récupération :**

Le système d'alimentation en eau se compose de deux (2) pompes alimentaire (2X100%) haute pression / pression intermédiaire pour délivrer l'eau à haute pression et pression intermédiaire aux ballons de vapeur concernés (HP, MP), chaque pompe est équipée d'une crépine d'aspiration et d'une vanne de recirculation automatique (ARC, NRV / recirculation combinée).

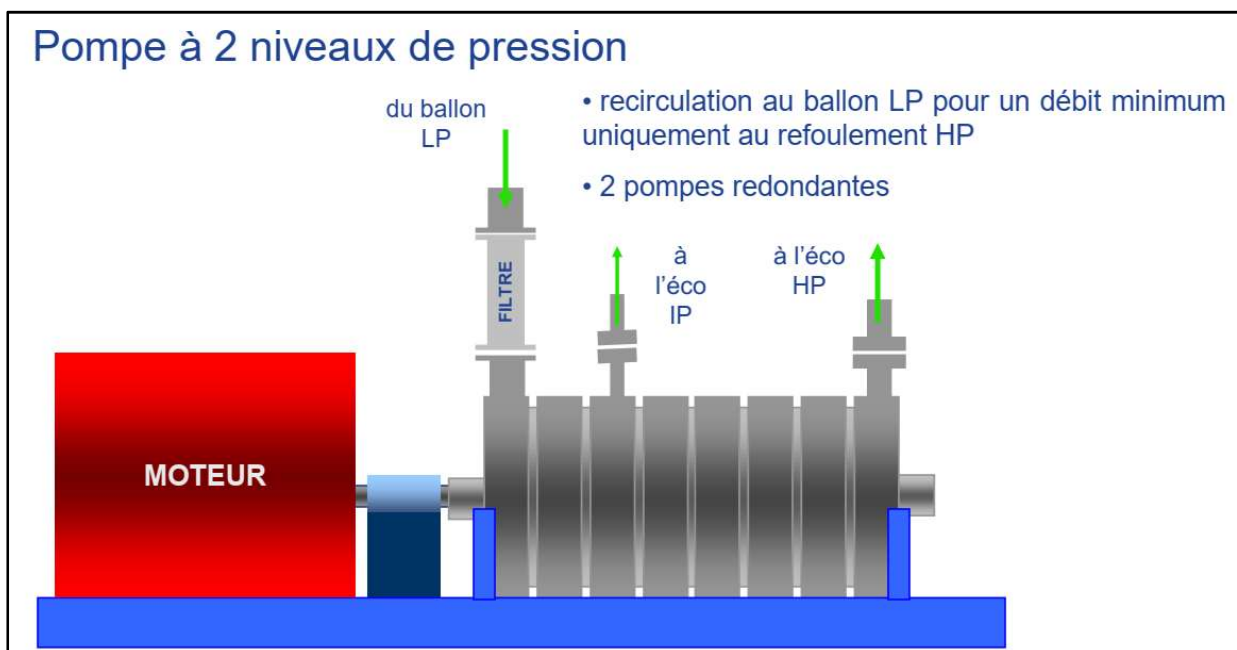
Les pompes sont de type : Horizontal, Multi-étage, centrifuge, multicellulaires, Type de purge, Capacité : 450 m<sup>3</sup>/h (HP : 310+ IP : 140) x 1450m, avec prélèvement intermédiaire pour l'alimentation du système de vapeur MP.

La pompe est entraînée par un moteur électrique de 2000 kW, 2P, 6600V, 50Hz.

L'eau d'alimentation est acheminée du collecteur commun en aval des préchauffeurs de condensat dans des conduites d'aspiration séparées vers les pompes d'eau d'alimentation via une crépine située en amont de chaque pompe. La soupape ARC permettant de réguler le débit de la pompe est située en aval de la décharge HP de la pompe. Si la vanne de refoulement de la pompe est fermée ou que le volume d'eau d'alimentation est insuffisant, le débit minimum est renvoyé vers le système de préchauffage du condensat, via la vanne ARC.

Les lignes de refoulement de la pompe HP sont connectées au collecteur commun qui alimente la partie HP de la chaudière.

L'eau d'alimentation MP est prélevée à partir d'un étage de pompe intermédiaire, les lignes de dérivation sont connectées au collecteur commun qui fournit l'eau d'alimentation à la partie MP des générateurs de gaz à haute température.



**Figure 2.23 : Schéma simplifié de la pompe alimentaire de la chaudière de récupération**

### 3.4.5 Principe de fonctionnement de la chaudière de récupération dans la centrale :

La récupération d'énergie de la TG permet de produire de la vapeur dans une chaudière de récupération à triple pression. Un préchauffeur de condensat chauffe le condensat approximativement à la température d'ébullition du système BP. En aval du préchauffeur de condensat, le flux de condensat est réparti dans les étages BP et HP/PI. L'eau d'alimentation BP est dirigée directement depuis la sortie du préchauffeur de condensat vers le ballon BP. Depuis le ballon, l'eau circule vers l'évaporateur BP à circulation naturelle, où une partie s'évapore. Le mélange eau vapeur résultant retourne vers le ballon BP, où il est séparé par des séparateurs internes au ballon. La vapeur saturée séparée circule vers la surchauffeur et est chauffée jusqu'à atteindre la température de vapeur BP. L'eau d'alimentation PI et HP s'écoule de la sortie du préchauffeur de condensat vers les pompes d'eau d'alimentation (2x100%). Depuis les pompes d'eau

d'alimentation, l'eau d'alimentation PI extraite est envoyée vers l'économiseur PI et le ballon PI. Une partie est également dirigée vers le réchauffeur de gaz naturel. Cette partie est extraite en aval de l'économiseur PI, circule à travers le réchauffeur de gaz naturel et retourne ensuite en amont du préchauffeur de condensat. Depuis le ballon PI, l'eau circule vers l'évaporateur à circulation naturelle, où une partie s'évapore. Le mélange eau vapeur résultant retourne vers le ballon PI, où il est séparé par des séparateurs internes au ballon. La vapeur PI saturée séparée circule vers le surchauffeur PI et est chauffée jusqu'à atteindre la température de vapeur PI. La vapeur PI surchauffée est mélangée avec la vapeur entrante pour réchauffage et surchauffée davantage dans le réchauffeur et envoyée vers la section PI de la turbine à vapeur. Depuis les pompes d'eau d'alimentation, l'eau d'alimentation HP fournie est envoyée vers l'économiseur HP et le ballon HP. Depuis le ballon HP, l'eau circule vers l'évaporateur à circulation naturelle, où une partie s'évapore. Le mélange eau vapeur résultant retourne dans le ballon HP, où il est séparé par des séparateurs internes au ballon. La vapeur HP saturée séparée est envoyée vers le surchauffeur HP et est chauffée jusqu'à atteindre la température de vapeur HP.

La vapeur HP circule à travers le système de tuyauterie de vapeur HP vers la turbine à vapeur HP.

La vapeur se dilate puis est renvoyée vers le système de vapeur entrante pour réchauffage où elle est mélangée avec la vapeur PI, surchauffée davantage dans le réchauffeur et circule à travers le système de vapeur sortante pour réchauffage vers la section PI de turbine à vapeur. La vapeur BP produite est envoyée vers la connexion depuis la sortie de la section PI de la TV vers la section BP où le flux de vapeur complet se dilate entièrement à la pression réelle du condenseur. Au cours du fonctionnement au gaz naturel, la température d'entrée du préchauffeur de condensat est maintenue au-dessus de 55°C par le condensat provenant du réchauffeur de gaz naturel et de l'aérocondenseur. Au cours du fonctionnement au fuel, la température d'entrée du préchauffeur de condensat est maintenue au-dessus de 110°C approximativement à l'aide des pompes de recirculation du préchauffeur de condensat et du bypass partiel de préchauffeur de condensat.

### **3.5 Aérocondenseur**

#### **3.5.1 Philosophie du système**

L'aérocondenseur (ACC) condense la vapeur s'échappant de la turbine ou la vapeur désurchauffée du contournement turbine, en évacuant l'énergie à l'atmosphère.

L'aérocondenseur est constitué de faisceaux d'échange arrangés en rues ayant la forme d'un toit (A frame). Chaque rue est composée de plusieurs modules (primaires ou mixtes).

Chaque module est composé de tubes à ailettes, appelés faisceaux tubulaires. Ces faisceaux tubulaires constituent le cœur du condenseur. C'est dans ceux-ci que s'opère la condensation.

Un ventilateur à flux axial situé en-dessous des faisceaux pousse le flux d'air réfrigérant à travers les tubes à ailettes.

La vapeur est admise jusqu'aux faisceaux tubulaires au travers de la gaine vapeur principale, puis est répartie de manière homogène par les répartiteurs de vapeur dans les différentes rues. La vapeur alimente premièrement le haut des tubes primaires.

La vapeur se condense partiellement lors de son écoulement vers le bas dans ces tubes primaires. Le condensat ainsi formé et la vapeur non condensée s'écoulent par gravité dans les collecteurs biphasiques, situés en-dessous des faisceaux.

Environ 90% de la vapeur est condensée dans les faisceaux primaires (la vapeur se condense à courant du haut vers le bas).

La vapeur restante (de l'ordre de 10 - 15 %) et les incondensables passant dans les collecteurs biphasiques remontent alors dans les tubes secondaires (déflegmateurs). La vapeur se condense à contre-courant, c'est-à-dire que la vapeur restante et les incondensables circulent vers le haut alors que les condensats s'écoulent vers le bas être tournent aux collecteurs biphasiques. Dans les tubes déflegmateurs, les condensats sont toujours chauffés par la vapeur, et le sous-refroidissement des condensats est ainsi limité.

Les incondensables s'accumulant en haut des tubes secondaires sont extraits par le groupe de vide à travers un collecteur reliant les sommets des tubes de ces faisceaux secondaires.

Les condensats récupérés dans les collecteurs bi-phasiques sont évacués par gravité vers la bache à condensats. De là, les condensats sont pompés vers le système de la chaudière via les pompes à condensats. Le niveau est maintenu constant dans la bache à condensats par l'intermédiaire d'une boucle de régulation.

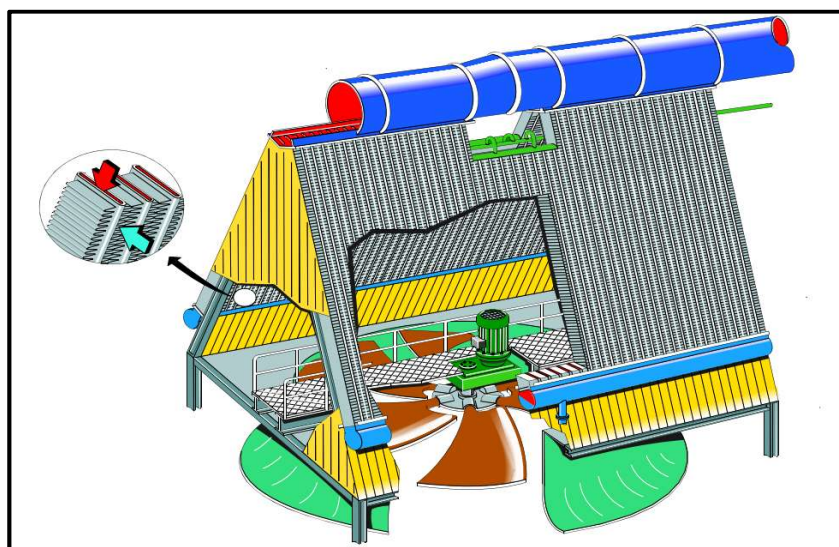


Figure 2.24 : Schéma simplifié d'une cellule de l'aérocondenseur



Figure 2.25 : Photo de l'aérocondenseur de la centrale d'Ain Arnat

### 3.5.2 Système d'extraction d'air

L'élimination de l'air d'un condenseur est d'une importance capitale pour un fonctionnement efficace de la centrale. Toute accumulation d'air dans un condenseur réduira sa capacité de transfert thermique en ayant un impact négatif sur le flux de vapeur à travers les batteries de tubes et en réduisant les taux de transfert thermique le long des tubes.

Un système d'élimination d'air a pour fonction de retirer l'air et les gaz non condensables du condenseur, et de les évacuer à l'atmosphère. Ceci peut se faire avec un système d'éjecteur d'air.

Les éjecteurs d'air utilisent la vapeur haute pression comme fluide de fonctionnement. La vapeur passe à travers une tuyère dans laquelle l'énergie est convertie d'énergie haute pression en vitesse. Cette vapeur à grande vitesse attire ensuite l'air et les gaz non condensables à partir du condenseur dans une chambre de mélange.

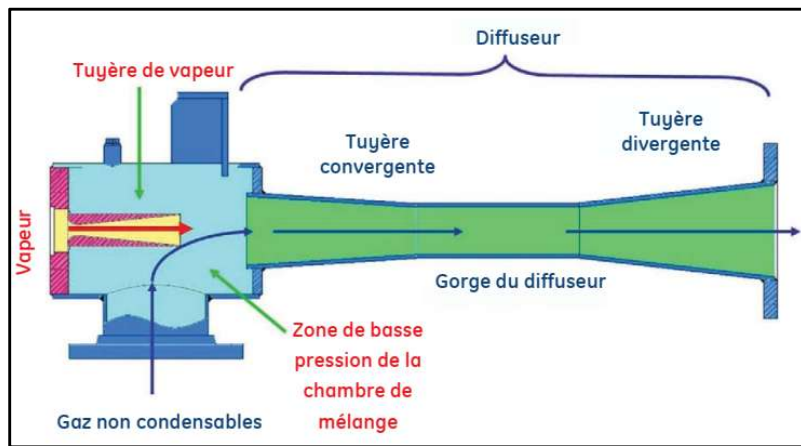


Figure 2.26 : Vue d'ensemble de l'éjecteur d'air

La centrale d'Ain arnat est équipée d'un système d'éjecteur d'air pour chaque condenseur qui comporte :

- Un éjecteur de démarrage avec silencieux utilisant de la vapeur auxiliaire à une pression de 10 bars (a) (280°C).  
L'air et la vapeur motrice sont expulsés à travers le silencieux à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.
- Unité de maintien est constituée de 2 jeux d'éjecteurs de maintien chacun à 2 étages.  
La pression de la vapeur motrice est de 10 bar(a) (280°C).  
Un groupe d'éjecteur est en opération et le second est en stand-by.  
Les condenseurs 1ers et 2ème étages sont refroidis par le passage des condensats provenant des pompes à condensats.

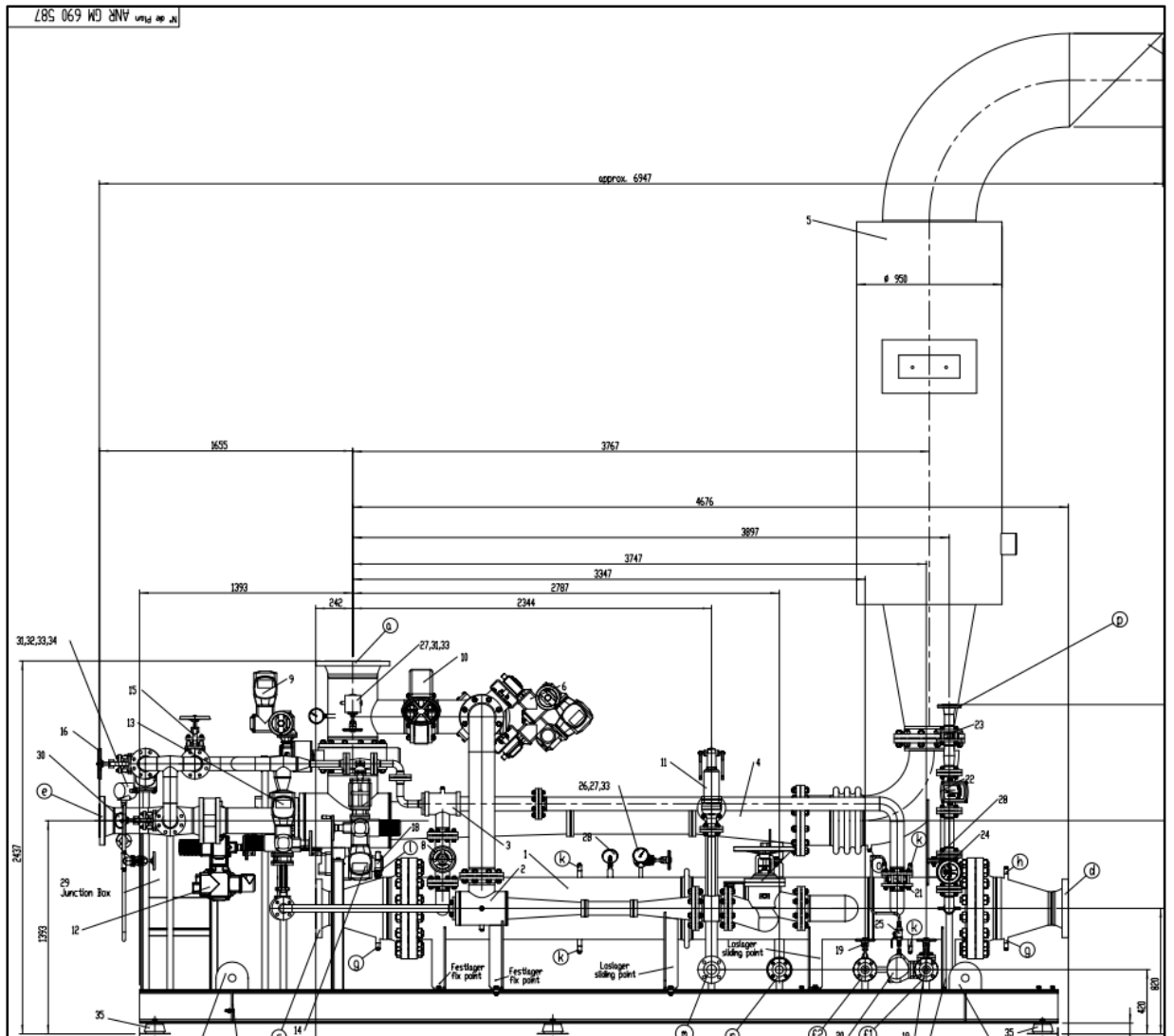


Figure 2.27 : Ejecteur d'air de la centrale d'Ain arnat

### 3.5.3 Système des condensats :

La bêche à condensats collecte les condensats de l'aérocondenseur et l'eau d'appoint (l'eau d'appoint normale et l'eau d'appoint d'urgence). De plus, les pompes de vidanges, les pompes de vidange de nettoyage et les pompes de drain à vide déchargent aussi dans la bêche.

Les pompes d'extraction de condensats transfèrent les condensats de la bêche vers l'entrée de l'économiseur BP pour alimenter le ballon BP. Le débit minimum est assuré par la ligne de recirculation.

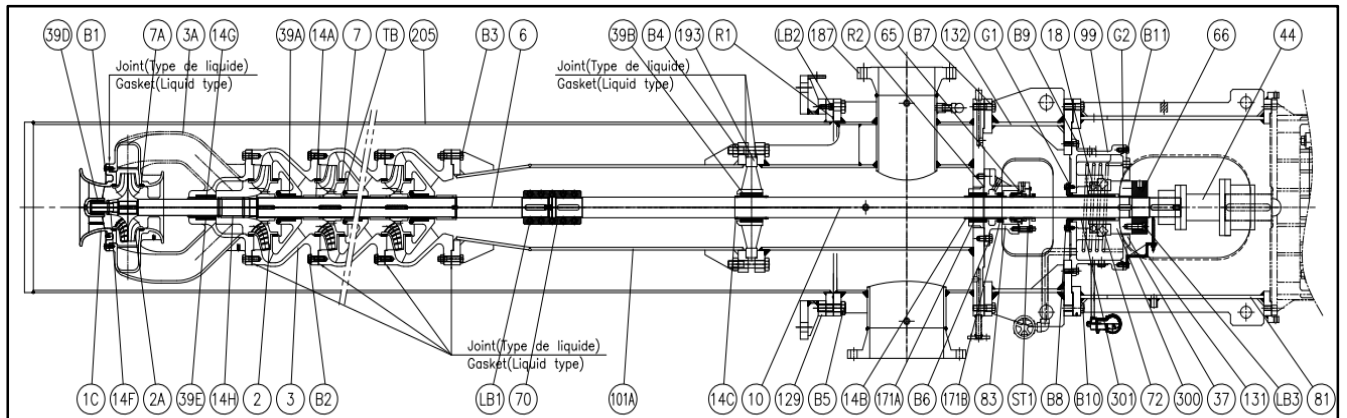
La pompe utilisée dans la centrale d'Ain arnat est une pompe verticale multicellulaire de type cylindrique de CW-Hydro, Inc.

La pompe test entraînée par un moteur électrique de 450 kW, 4P, 6000V, 1488 RPM.

La pompe est constituée essentiellement par :

- La roue à double aspiration ayant 2 voies d'eau
- La tête de décharge : elle est équipée de la buse d'aspiration et d'évacuation en ligne, y compris tous les événements et les raccords nécessaires.

- Les cuvettes : 08 cuvettes bridées pour la précision de l'alignement et la facilité de montage et démontage.
- Cylindre (Baril) : il est soumis à la pression d'aspiration, et il guide le fluide à la roue de premier étage.
- Recirculation minimum au condenseur pour des raisons de refroidissement
- Un système d'étanchéité à l'air.



**Figure 2.28 : Coupe longitudinale de pompe d'extraction des condensats.**

# **Chapitre III**

## **Les protections de la centrale cycle combiné d'AIN ARNAT**

## 1. Introduction

Le monde des centrales de production d'électricité class l'aspect sécurité en premier chapitre et pour garantir la sécurité des êtres humains et ces installations qui entre dans l'exploitation les constructeurs met à la disposition de ces clients des dispositifs de sécurité se forme de protections classés comme suit :

- Protections électrique.
- Protections technologique.

## 2. Les protections technologiques dans la centrale d'Ain Arnat :

### 2.1 Protection de la turbine à gaz :

Le système de sécurité pour la protection de la turbine à gaz combine les signaux issus des différentes chaînes de protection selon une logique de vote configurée. Le résultat du vote de toutes les chaînes de protection de sécurité est utilisé pour commander les robinetteries d'arrêt de combustible.

Dans tous les cas, trois modules de déclenchement des vannes sont associés pour former trois circuits de commande de vanne indépendants en configuration 2 sur 3 grâce à une architecture système interne.

L'architecture du système de sécurité pour la protection de la turbine à gaz ainsi que les composants utilisés est certifiée pour répondre à un niveau de sécurité SIL3 selon CEI 61508.

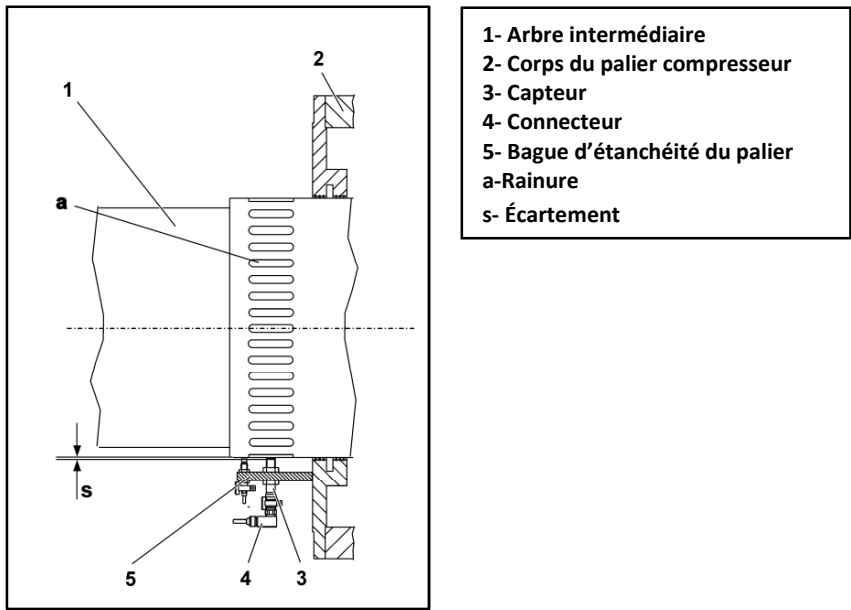
Le système de sécurité pour la protection de la turbine à gaz est localisé dans l'armoire de protection.

#### 2.1.1 Protection contre la survitesse :

Le système de surveillance de la vitesse, qui fait partie intégrante du système d'arrêt d'urgence, déclenche la turbine à gaz via le circuit de protection contre la survitesse avant que la turbine n'atteigne la vitesse maximale admissible. En même temps, une alarme de déclenchement est émise.

##### Acquisition de la vitesse

- Un profil denté est fraisé dans l'arbre de la turbine à gaz.
- À partir de ce profil denté dans l'arbre, 3 détecteurs de proximité à induction (capteurs de vitesse) génèrent un signal de fréquence proportionnel à la vitesse de la turbine à gaz. Ce signal de fréquence est ensuite appliqué au détecteur de seuil du système de surveillance de la vitesse.
- Les signaux de fréquence de 3 autres détecteurs à induction indépendants sont appliqués directement au régulateur de la turbine à gaz, aux fins de régulation.



**Figure 3.1 : Mesure de la vitesse turbine**

**2.1.2 Protection contre la température des paliers :**

Ces chaînes de protection surveillent les températures du métal des paliers de l'alternateur, de la turbine et du compresseur par rapport à des seuils d'alarme et de déclenchement.

Les températures de métal des paliers sont mesurées à l'aide de triples thermocouples NiCr-Ni à chaque point de mesure.

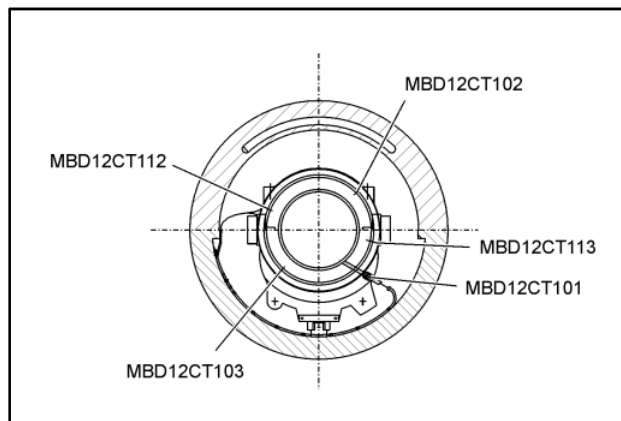
Lorsque les seuils d'alarme ou de déclenchement sont dépassés, le système

- Émet une alarme (HAUT)
- Émet une alarme de déclenchement (TROP HAUT) et active le déclenchement de la turbine à gaz

Le déclenchement de la turbine à gaz a pour but d'éviter un endommagement important des paliers ainsi que des dommages induits sur la turbine et l'alternateur.

L'acquisition des mesures se fait à trois canaux (3 modules d'entrée analogique)

La logique de protection est de type 2 sur 3 avec contrôle de vraisemblance par rapport à une limite inférieure.



**Figure 3.2 : Thermocouples sur palier**

### 2.1.3 Protection contre les vibrations des logements palier (absolue) :

Les chaînes de protection contre les vibrations surveillent la vitesse des vibrations absolues des logements paliers du compresseur et de la turbine par rapport à des seuils d'alarme et de déclenchement. Des vibrations non admissibles peuvent être provoquées par un balourd ou une rupture d'aube, par exemple.

Le système de surveillance des vibrations de la société « VIBRO-METER », composé de capteurs piézoélectriques, d'amplificateurs de charge et de modules processeur numériques, effectue l'acquisition de la vitesse des vibrations.

Lorsque les seuils d'alarme ou de déclenchement sont dépassés, le système

- Émet une alarme (HAUT)
- Émet une alarme de déclenchement (TROP HAUT) et active le déclenchement de la turbine à gaz

Le déclenchement de la turbine à gaz a pour but d'éviter un endommagement important des paliers ainsi que des dommages induits sur la turbine et l'alternateur.

L'acquisition des mesures à deux canaux (2 modules d'entrée analogique)

La logique de protection est de type 2 sur 2 avec contrôle de vraisemblance par rapport à une limite inférieure MIN.

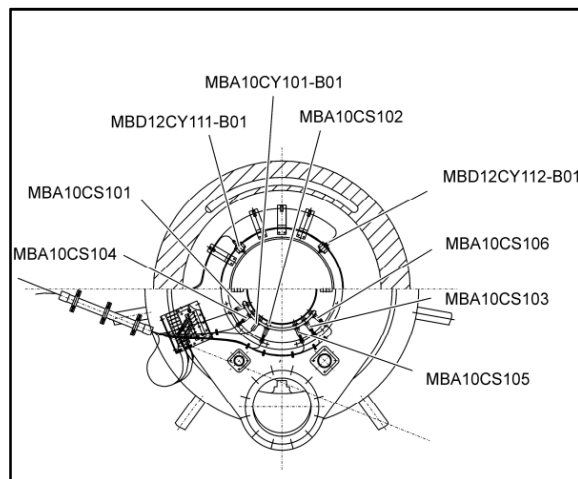


Figure 3.3 : Capteurs de vibrations d'arbre et de vitesse

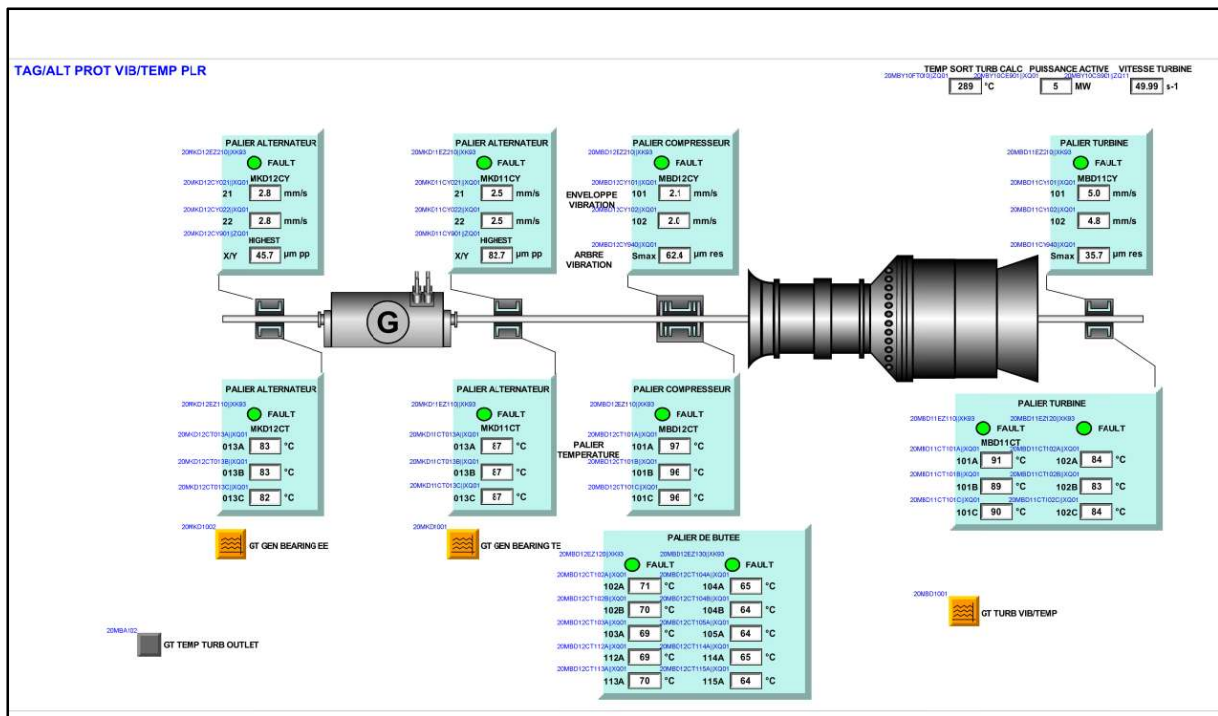


Figure 3.4 : Vue opérateur des protections de vibration et températures des paliers de turboalternateur

### 2.1.4 Protection contre la température turbine :

Durant le fonctionnement de la turbine à gaz, il importe de ne pas dépasser certaines températures et gradients de température dans la chambre de combustion, dans la turbine et dans les circuits de gaz d'échappement, afin de ne pas réduire la résistance et la tenue à la corrosion des pièces.

Le système de protection température turbine réalise les surveillances suivantes :

- Défaillance des éléments de mesure à l'entrée du compresseur (surveillance de la température à l'entrée du compresseur).
- Dépassement de température dans l'ensemble de la chambre de combustion et dans la turbine (protection contre la température d'échappement turbine).
- Gradients de température non autorisés sur les aubages de la turbine, pouvant se produire en cas de défaillance de brûleurs (surveillance d'extinction de brûleurs).
- Surchauffe locale des brûleurs, pouvant se produire en cas d'alimentation irrégulière en combustible (surveillance HOT-SPOT).
- Défaillance des éléments de mesure au diffuseur (surveillance de la température des gaz d'échappement au diffuseur).

#### Traitement de la mesure de la température d'échappement turbine :

- La chaîne de protection température turbine traite les mesures des thermocouples B et C des thermocouples des 24 points de mesure.
- La répartition des thermocouples B et C sur les modules d'entrée analogique est choisie de manière à ce qu'en cas de défaillance d'un module, le signal de température du thermocouple redondant reste disponible.

- Le système calcule la moyenne arithmétique des signaux de température des 24 points de mesure B et des 24 points de mesure C. Cette moyenne est exploitée dans la « surveillance d'extinction de brûleurs », dans la « surveillance HOT-SPOT » et dans le « calcul de correction de la température d'échappement turbine ».
- En cas de défaillance d'un thermocouple (par ex. rupture de fil), celui-ci est exclu du calcul de la moyenne. Il en va de même lorsqu'une mesure s'écarte trop de la moyenne, ce qui peut se produire en cas de défaut d'un thermocouple. Une alarme est signalée lorsque plus de trois thermocouples sont exclus du calcul de la moyenne.
- Si les deux thermocouples (B et C) d'un point de mesure sont défectueux, la turbine à gaz est mise à l'arrêt via le programme de mise à l'arrêt de la SGC Turbine à gaz.

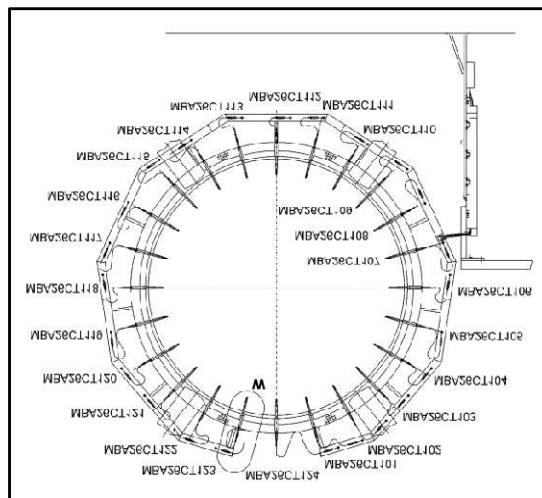


Figure 3.5 : Thermocouples de mesure de la température d'échappement de turbine à gaz

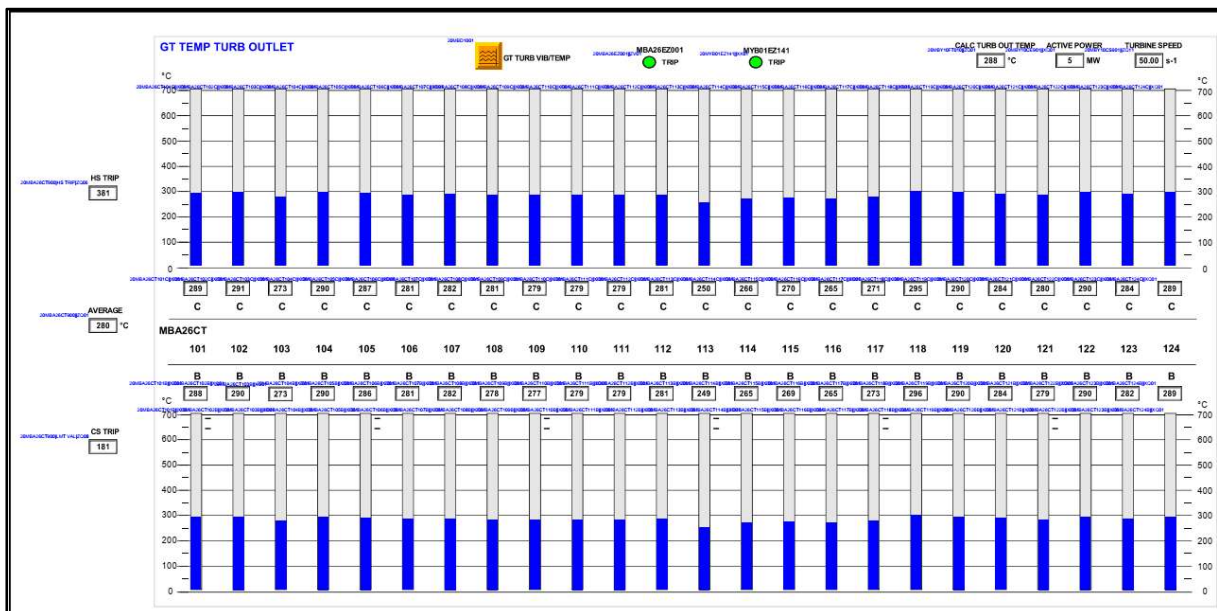


Figure 3.6 : Vue opérateur de la mesure de la température d'échappement de turbine à gaz

### **2.1.5 Protection anti-pompage du compresseur**

La protection anti-pompage du compresseur surveille le débit-masse du compresseur pendant le fonctionnement de la turbine à gaz pour détecter des à-coups de pompage qui représentent une importante contrainte pour les aubages du compresseur. Pour éviter d'autres événements de pompage, la turbine à gaz doit être déclenchée immédiatement.

Etant donné que les à-coups de pompage sont des phénomènes très brefs, la vitesse de réponse des capteurs et de la logique de protection doit être très rapide.

La chaîne de protection est libérée seulement à partir d'une vitesse minimale de la turbine, à partir de laquelle les à-coups de pompage sont réellement mesurables.

- Trois signaux de détection de seuil de pression différentielle sont envoyés au système d'arrêt d'urgence de sécurité avec un circuit à courant de repos. La turbine est déclenchée lorsque 2 sur 3 de ces signaux de détection de seuil indiquent l'apparition d'un à-coup de pompage.
- Les signaux de détection de seuil de pression différentielle font l'objet d'une surveillance de discordance.
- À faible vitesse de la turbine à gaz, l'état des signaux de détection de seuil de pression différentielle fait également l'objet d'une surveillance de plausibilité par le contrôle-commande général de la turbine. Si au moins deux des trois signaux de détection de seuil détectent déjà une pression différentielle élevée au-dessous de la vitesse d'allumage, le démarrage de la turbine à gaz sera verrouillé.

### **2.1.6 Protection anti-implosion du caisson de d'admission d'air TG :**

Le caisson de prise d'air doit être protégé contre une pression sub-atmosphérique intérieure excessive, en vue d'éviter les dommages causés par les forces mécaniques élevées associées. A cet effet, des volets anti-implosion installés dans le caisson de prise d'air s'ouvrent spontanément par action mécanique lorsque la pression sub-atmosphérique dépasse un seuil défini. Dans ce cas, de l'air ambiant non filtré est aspiré par le compresseur de la turbine à gaz, ce qui n'est pas autorisé durant une période prolongée.

La position des volets anti-implosion est donc acquise par trois capteurs redondants qui déclenchent la turbine à gaz selon un vote de type 2 sur 3.

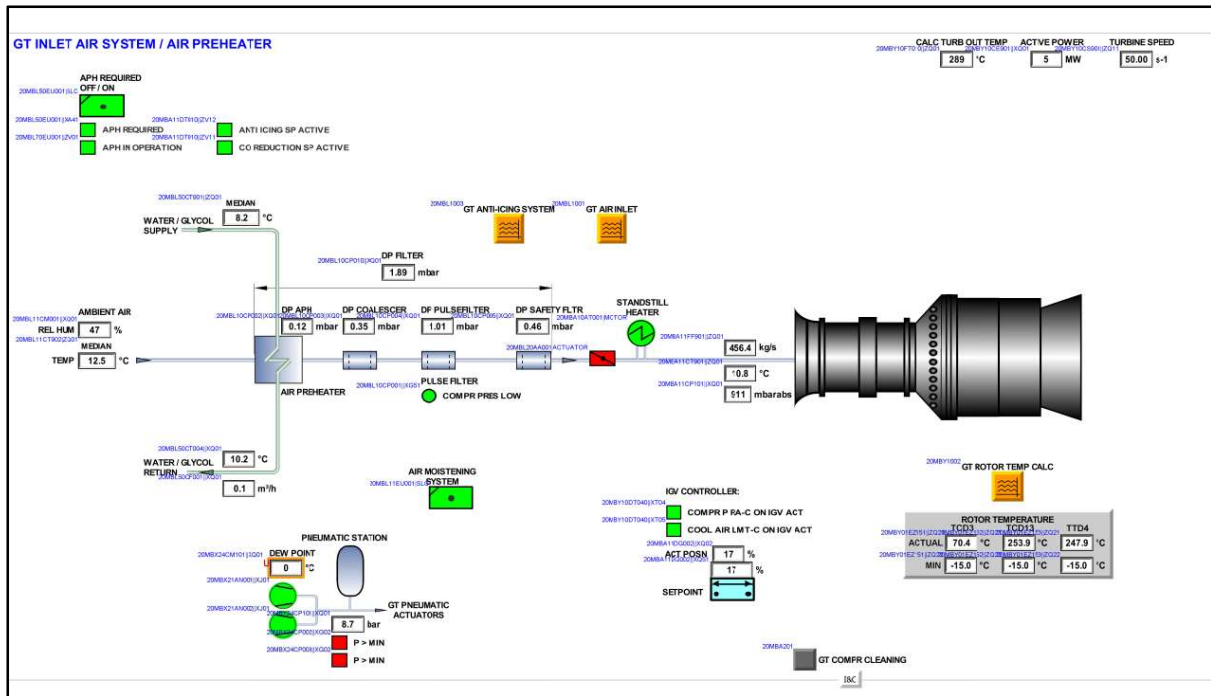


Figure 3.7 : Vue opérateur du système d'admission d'air de la turbine à gaz

### 2.1.7 Surveillance du niveau de la station hydraulique :

Différentes robinetteries de la turbine à gaz sont actionnées avec de l'huile hydraulique fournie par une station hydraulique centrale. Cette station hydraulique a besoin d'une quantité minimale d'huile hydraulique afin d'assurer le bon fonctionnement des robinetteries concernées et, partant, de la turbine à gaz. Le niveau d'huile de la station hydraulique est mesuré à l'aide de 3 capteurs TOR. Si 2 des 3 capteurs de niveau signalent un dépassement bas du niveau minimum, la turbine à gaz est déclenchée à travers une logique de type 2 sur 3.

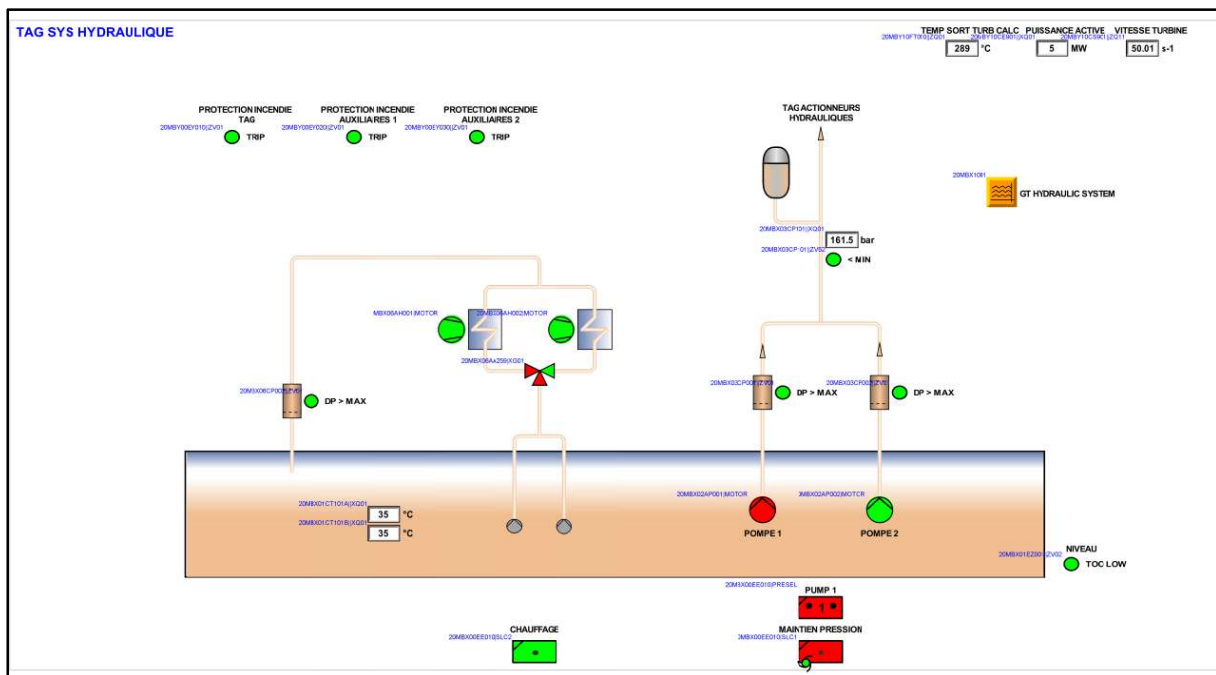


Figure 3.8 : Vue opérateur du système hydraulique de la turbine à gaz

### 2.1.8 Protection incendie :

La protection incendie peut-être activée par un dispositif automatique d'alarme incendie ou manuellement via un des poussoirs de protection incendie de la centrale. La turbine à gaz est déclenchée lorsque le dispositif automatique d'alarme incendie répond à travers une logique de vote en 2 sur 3 ou lorsque le poussoir (contact de signalisation en 2 sur 3) est activé. La protection a pour objet d'éviter les risques potentiels pour les personnes et les machines en cas de poursuite du fonctionnement de la turbine en cas d'incendie.

### 2.1.9 Déclenchement par la protection de la turbine à vapeur :

Lorsque la protection de la turbine à vapeur détecte un défaut qui exige la mise à l'arrêt immédiate de la turbine à gaz, cette situation est signalée au système de protection de la turbine à vapeur via une liaison câblée à 3 canaux.

Le déclenchement de la turbine à gaz est alors activé par le système de contrôle-commande général via une logique de vote de type 2 sur 3. Ceci permet d'éviter des risques supplémentaires pour la turbine à vapeur ou la turbine à gaz.

Le transfert des trois signaux sur le circuit à courant de repos entre le contrôle-commande de la turbine à vapeur et de la turbine à gaz fait l'objet de contrôles cycliques. En cas de détection d'un défaut, le canal concerné est interprété comme ayant répondu.

### 2.1.10 Déclenchement par la protection de la chaudière de récupération :

Dans les centrales à cycle combiné, les turbines à gaz et à vapeur sont couplées, côté processus, par la chaudière de récupération (HRSG). Dans cette configuration, les gaz d'échappement du groupe turboalternateur à gaz produisent de la vapeur dans la chaudière de récupération. Lorsque des conditions critiques exigeant la mise à l'arrêt immédiate de la turbine à gaz apparaissent dans la zone de la chaudière de récupération, le déclenchement de la turbine à gaz est activé. Ceci permet d'arrêter l'admission de gaz chauds dans la chaudière de récupération en aval, et d'éviter des dommages potentiels.

3 signaux sont transmis par câble, à manque de tension, de la protection chaudière au système de protection de sécurité de la TAG (FS-AP) où ils activent le déclenchement turbine avec un vote de type 2 sur 3.

### 2.1.11 Valeurs limites des protections de la turbine a gaz :

Protection de Turbine a Gaz	Condition d'activation de protection
Protection anti-pompage du compresseur	<ul style="list-style-type: none"><li>• La vanne MBA41AA053 pas ouvert en 4 &lt; VITESSE TBN &lt; 46.5 rpm</li><li>• La vanne MBA41AA052 pas ouvert en 4 &lt; VITESSE TBN &lt; 46.5 rpm</li><li>• La vanne MBA43AA051 pas ouvert en 4 &lt; VITESSE TBN &lt; 39.8 rpm</li><li>• La vanne MBA41AA051 pas ouvert en 4 &lt; VITESSE TBN &lt; 46.5 rpm</li></ul>
Protection anti-implosion du caisson de d'admission d'air TG	TG est déclenchée si la porte d'implosion est ouverte en 10 sec.
Protection de la température des paliers turbine	> 110C : Alarme > 120C : Déclenchement de TG

Protection de la température des paliers compresseur	> 110C : Alarme > 120C : Déclenchement de TG
Protection des vibrations des logements palier turbine (absolue)	> 8.9 mm/s : Alarme (Haut) > 9.3 mm/s : Alarme (Très haut) > 14.7 mm/s : Déclenchement de TG
Protection des vibrations des logements palier compresseur (absolue)	> 14.7 mm/s : Déclenchement de TG (Trop haut) > 9.3 mm/s : Alarme (Très haut) > 8.9 mm/s : Alarme (haut)
Protection de température d'échappement turbine	> 635C / 510C : Alarme (VIT TG>46.5 / <46.5 rpm) > 675C / 560C : Déclenchement de TG (VIT TG >46.5 / <46.5 rpm) Défaut de 3 détecteurs parmi (3 parmi 6) : Déclenchement de TG
Protection Anti Incendie TG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feu dans la TG ou à l'intérieur d'enceinte TG.</li> <li>• Feu au système de fuel sans huile de graissage.</li> <li>• Feu à la zone de l'huile de graissage.</li> </ul> Implique le déclenchement de TG et arrêt de HCO, arrêt de Système fuel, arrêt de vireur, Arrêt du système hydraulique, Arrêt d'évent d'enceinte de TG

## 2.2 Protection de l'alternateur :

### 2.2.1 Protection contre les vibrations relatives de l'arbre de l'alternateur :

Les chaînes de surveillance des vibrations surveillent la vibration relative de l'arbre de l'alternateur par rapport à deux seuils d'alarme. Des vibrations non admissibles peuvent être provoquées par un balourd, par exemple.

La vibration relative de l'arbre est mesurée sous forme de déplacement de vibration par le système de surveillance des vibrations de la société « VIBRO-METER », composé de capteurs de proximité, de conditionneurs de signal et de modules processeur numériques.

Un déclenchement automatique de la turbine à gaz n'est pas nécessaire. Tant que la protection contre les vibrations des logements palier (absolue) ne réagit pas, c'est à l'opérateur de décider s'il convient de mettre manuellement le groupe turboalternateur à l'arrêt à cause des vibrations excessives de l'arbre de l'alternateur.

### 2.2.2 Protection contre les vibrations des logements palier (absolue) :

Les chaînes de protection contre les vibrations surveillent la vitesse des vibrations absolues des logements paliers de l'alternateur par rapport à des seuils d'alarme et de déclenchement.

Des vibrations non admissibles peuvent être provoquées par un balourd, par exemple.

Le système de surveillance des vibrations de la société « VIBRO-METER », composé de capteurs piézoélectriques, d'amplificateurs de charge et de modules processeur numériques, effectue l'acquisition de la vitesse des vibrations.

### 2.2.3 Protection contre la température absolue de gaz froid de l'alternateur :

La chaleur dissipée dans l'alternateur est transférée au réfrigérant gazeux (H<sub>2</sub>). Les chaînes de protection contre la température absolue de gaz froid surveillent la température du gaz par rapport à des seuils d'alarme et de déclenchement.

La température de gaz froid est acquise à l'aide de 2 doubles sondes à résistance (PT100) placées côté excitatrice et de 2 doubles sondes à résistance placées côté turbine.

- Deux sur trois valeurs de mesure d'un même côté de l'alternateur dépassent le seuil de déclenchement MAX spécifié.
- Deux sur trois valeurs de mesure d'un même côté de l'alternateur dépassent par le bas le seuil de déclenchement MIN spécifié.
- L'acquisition d'au moins une valeur de mesure d'un même côté de l'alternateur est défectueuse ET un dépassement de seuil de déclenchement MAX ou de seuil de déclenchement MIN est détecté sur une valeur de mesure d'un autre canal.

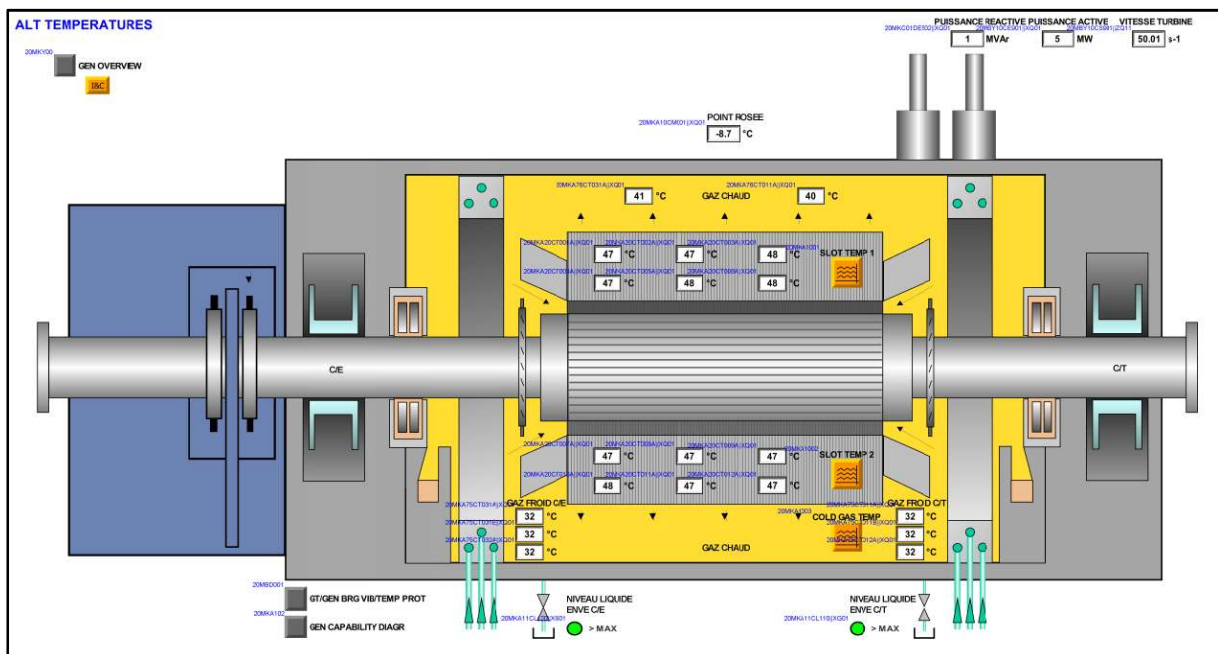


Figure 3.9 : Vue opérateur des températures d'alternateur

### 2.2.4 Protection contre la pression d'hydrogène de l'alternateur :

Une protection est configurée pour surveiller la pression d'hydrogène dans l'enveloppe de l'alternateur en vue de permettre la détection de fuites importantes. Si la pression chute au-dessous d'un niveau spécifié, les vannes de protection incendie sont ouvertes. Cette chaîne de protection est uniquement active lorsque la pression dans l'enveloppe de l'alternateur a dépassé un certain niveau. Le système d'instrumentation de l'hydrogène de l'alternateur surveille la pression d'hydrogène dans l'enveloppe de l'alternateur moyennant 3 capteurs.

L'alternateur est déclenché si :

- Sur 3 valeurs de mesure de pression d'hydrogène sont inférieures au seuil d'alarme.
- 2 sur 3 capteurs de pression fournissent un signal erroné.

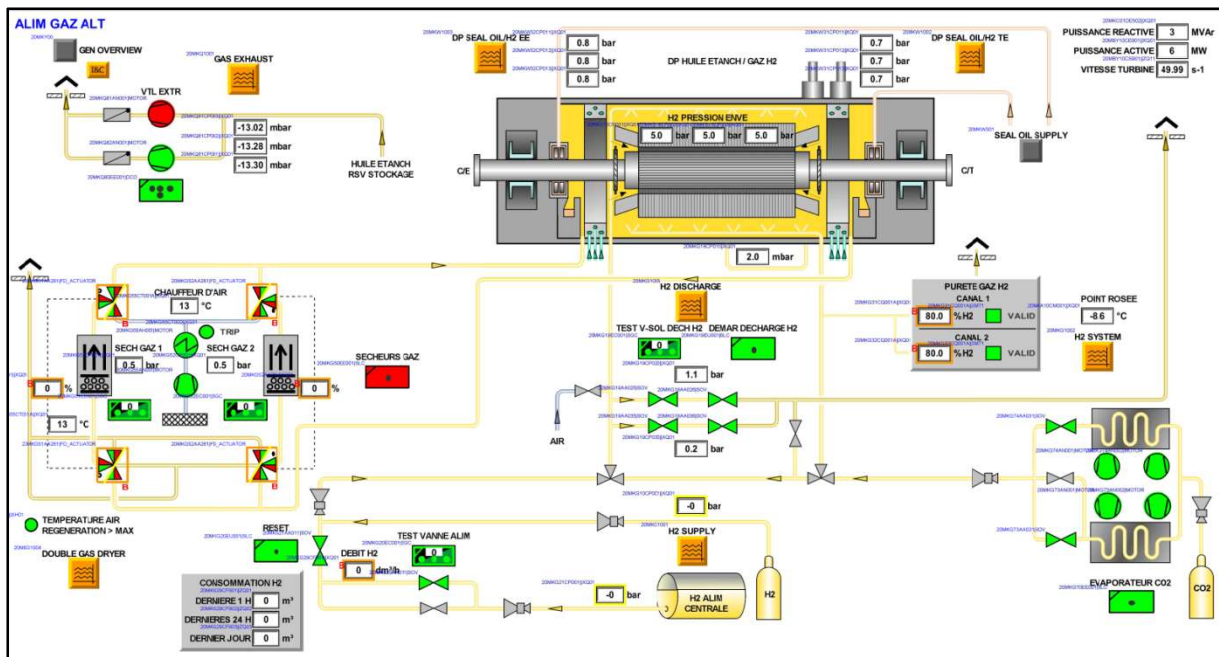


Figure 3.10 : Vue opérateur du système d'alimentation en H2 d'alternateur

### 2.2.5 Pression différentielle huile d'étanchéité / H2 de l'alternateur :

L'instrumentation du système d'huile d'étanchéité surveille les pertes d'hydrogène à travers les étanchéités d'arbre en alimentant les étanchéités en huile à une pression supérieure à la pression de l'hydrogène de l'alternateur. Si la différence de pression entre l'huile d'étanchéité et l'hydrogène de l'enveloppe atteint une valeur inférieure au seuil de déclenchement, les vannes de protection incendie s'ouvrent.

Cette chaîne de protection est uniquement active lorsque la pression dans l'enveloppe de l'alternateur a dépassé le seuil minimum.

La différence de pression entre la sortie d'huile d'étanchéité et l'hydrogène de l'enveloppe est mesurée à l'aide de trois transmetteurs de pression différentielle installés à chaque extrémité de l'alternateur.

Le déclenchement du système d'huile d'étanchéité a lieu si :

- Sur 3 mesures de pression différentielle d'huile d'étanchéité côté turbine de l'alternateur sont inférieures à une pression de fonctionnement minimale admissible ou 2 sur 3 capteurs de pression fournissent un signal incorrect
- Sur 3 mesures de pression différentielle d'huile d'étanchéité côté excitatrice de l'alternateur sont inférieures à une pression de fonctionnement minimale admissible ou 2 sur 3 capteurs de pression fournissent un signal incorrect.

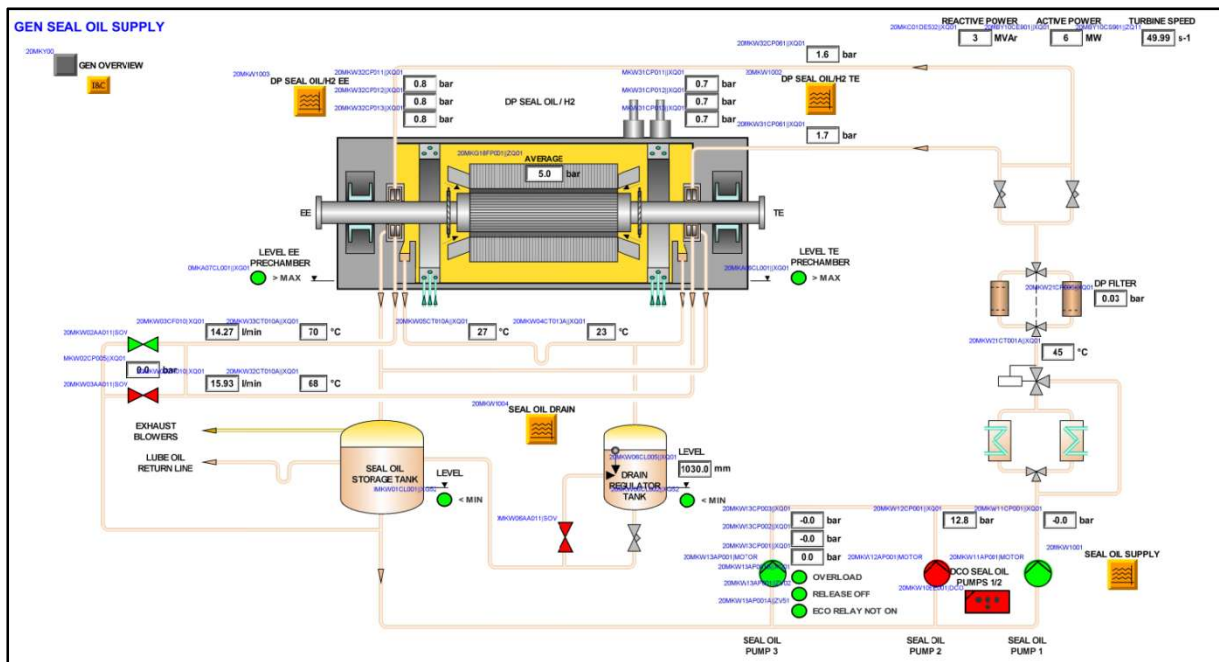


Figure 3.11 : Vue opérateur du système d'huile d'étanchéité

### 2.2.6 Valeurs limites des protections d'Alternateur :

Protection d'Alternateur	Condition d'activation de protection
Protection de la température absolue de gaz froid de l'alternateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;70°C (DECL MAX) : Déclenchement d'alternateur</li> <li>&gt;65°C (MAX) : Décharge d'alternateur</li> <li>&lt;5°C (MIN) : Alarme</li> <li>&lt;0°C (DECL MIN) Déclenchement d'alternateur</li> </ul>
Protection de la température des paliers Alternateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;107°C : Déclenchement d'alternateur</li> <li>&gt;99°C : Alarme (Très haut)</li> <li>&gt;94°C : Alarme (Haut)</li> </ul>
Protection des vibrations des logements palier Alternateur (absolue)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;9.3mm/s (Très haut) : Déclenchement d'alternateur</li> <li>&gt;8.835mm/s (Haut) : Alarme</li> </ul>
Protection de la pression d'hydrogène dans l'alternateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;5.4bar : Alarme Haut</li> <li>&lt;4.7bar : Alarme Bas</li> <li>&lt;4.4bar : Déclenchement Alt, Décharge H2</li> </ul>
Protection de la pression différentielle huile d'étanchéité / H2 de l'alternateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;0.7bar : Alarme, Démarrage de pompe de secours (CC) d'huile étanchéité</li> <li>&lt;0.3bar : Déclenchement d'alternateur</li> </ul>

### **2.3 Protection de la turbine à vapeur :**

La protection de la turbine à vapeur est conçue pour mettre le groupe turboalternateur à l'arrêt, rapidement et en toute fiabilité, en cas de violation des limites de fonctionnement, de manière à exclure tout dommage ou de limiter l'étendue des dommages se produisant. En fonctionnement normal, les automatismes séquentiels et les régulations se chargent de faire fonctionner le groupe turboalternateur et ses auxiliaires dans les limites de fonctionnement définies.

Toutefois, des défauts dans la turbine ou ses auxiliaires peuvent entraîner un dépassement de ces limites de fonctionnement. Dans ce cas, le système de protection turbine à vapeur a pour tâche de mettre le groupe turboalternateur à l'arrêt, rapidement et sûrement, par l'intermédiaire du système de déclenchement turbine à vapeur.

La protection turbine à vapeur est réalisée dans des systèmes d'automatisation redondants avec une partie non de sécurité et une partie de sécurité, dans les processeurs d'automatisation 1 (AP 1) et 2 (AP 2).

#### **2.3.1 Protection contre la survitesse turbine :**

Le système de protection contre la survitesse a pour tâche d'activer le déclenchement de la turbine à vapeur via le système de déclenchement turbine lorsque le seuil de survitesse est atteint, de manière à réduire aussi vite que possible la vitesse de la turbine à vapeur. Le maximum de survitesse, égal à 1,2 fois la vitesse nominale, ne doit pas être dépassé.

Cette protection est la plus importante du groupe turboalternateur, étant donné que la survitesse est la cause potentielle des dommages les plus importants.

La vitesse de la turbine est mesurée à l'aide d'une roue dentée à 60 dents montée sur l'arbre de la turbine et de 6 détecteurs de proximité à induction magnétique (capteurs de vitesse).

Les signaux de vitesse acquis par 3 détecteurs à induction dédiés sont utilisés comme valeur de mesure pour le système 1 et pour le système 2

#### **2.3.2 Protection contre l'usure de la butée :**

Le palier de butée absorbe la poussée axiale du rotor. Selon la direction de la poussée, la charge est appliquée sur la partie avant ou sur la partie arrière du palier de butée. La liberté de mouvement du rotor est conférée par le jeu axial dans le palier de butée.

La protection contre l'usure de la butée a pour tâche de protéger la turbine contre un déplacement axial trop important de l'arbre de la turbine dans la butée. Ceci permet d'éviter le fonctionnement de la turbine avec un palier de butée défectueux.

La position est mesurée relativement au palier fixe à l'aide de trois capteurs à courants de Foucault. Une valeur limite dérivée des mesures réalisées par le dispositif de déclenchement sur usure de la butée représente la valeur de consigne pour le déclenchement de la turbine en cas de dommage au palier de butée, déclenchement qui empêche un endommagement de la turbine.

#### **2.3.3 Protection contre les vibrations absolues des paliers :**

L'équipement de protection en 2 sur 2 contre les vibrations absolues des paliers constitue une partie essentielle du concept de protection contre les vibrations de la turbine à vapeur.

Les capteurs de vibration sont disposés au même endroit sur les corps de palier à l'extérieur des paliers, avec un angle de 45 degrés par rapport à la verticale.

L'instrumentation de surveillance turbine détermine la vitesse des vibrations qui donne la mesure de l'énergie vibratoire.

#### **2.3.4 Protection contre les vibrations relatives d'arbre :**

Le concept de protection contre les vibrations de la turbine à vapeur est complété par une surveillance des vibrations relatives d'arbre. Ce dispositif de surveillance supplémentaire et divers taire peut-être utiliser principalement pour la surveillance d'état de la turbine.

Un dispositif de surveillance est réalisé pour chaque palier.

Deux capteurs de vibrations (à courant de Foucault) assurent sur chaque corps de palier la mesure analogique des vibrations relatives de l'arbre. Les capteurs sont généralement disposés verticalement avec un angle de +45 degrés et -45 degrés. L'angle entre les capteurs est de 90 degrés.

Les valeurs fournies par les capteurs de vibrations de chaque dispositif de surveillance sont lues dans le système de contrôle-commande puis comparées à l'aide d'un sélecteur de MAX.

#### **2.3.5 Protection contre la température des paliers :**

Les paliers lisses dotés d'un revêtement antifriction coulé sont conçus de manière à conserver une température inférieure à la température critique du métal antifriction dans des conditions normales de fonctionnement.

La température des paliers est surveillée par l'intermédiaire de thermocouples, qui sont disposés aux endroits du palier susceptible de livrer, conformément à l'expérience acquise, des températures suffisamment représentatives

#### **2.3.6 Protection sur manque de pression d'huile de lubrification des paliers (protection commun entre TG/TV) :**

L'alimentation en huile de lubrification des paliers de la turbine est garantie par une des deux pompes à huile de pleine charge, tant au démarrage et à la mise à l'arrêt que pendant le fonctionnement du groupe turboalternateur.

Le déclenchement est activé en cas de perte des deux pompes à huile de pleine charge, lorsque la pression d'huile tombe en dessous d'un seuil paramétrable. Le déclenchement de la turbine est retardé à l'aide d'une temporisation paramétrable, afin d'éviter le déclenchement intempestif de la protection pendant la permutation des pompes de pleine charge. Une pompe à huile de secours assure l'alimentation en huile de lubrification en cas de perte des deux pompes de pleine charge, de manière à éviter tout dommage aux paliers au cours du ralentissement du groupe turboalternateur.

Le dispositif de déclenchement sur manque de pression d'huile de lubrification a les fonctions suivantes au niveau de la process :

- Signalisation d'une alarme de pression « BASSE » si la valeur d'alarme est atteinte.
- Activation du déclenchement de la turbine en fonctionnement normal en cas de chute de la pression d'huile de lubrification en dessous du seuil autorisé.

La mesure de la pression d'huile de lubrification est effectuée par trois capteurs de pression disposés dans le circuit d'huile de lubrification, qui activent le déclenchement de la turbine en cas d'alimentation insuffisante en huile de lubrification. L'activation du déclenchement est effectuée via une logique de type 2 sur 3.

### 2.3.7 Protection du niveau du réservoir d'huile principal (TROP BAS/TROP HAUT) (protection commun entre TG/TV) :

Un réservoir d'huile principal fournit le débit d'huile nécessaire à l'alimentation en huile de lubrification et à l'alimentation en huile de soulèvement durant le virage.

Ce réservoir fait l'objet d'une surveillance de niveau trop bas et trop haut moyennant deux chaînes de protection dédiées.

Le niveau du réservoir d'huile est mesuré au moyen de trois transmetteurs de niveau disposés dans Le réservoir d'huile principal. L'activation du déclenchement est effectuée via une logique de type 2 sur 3.

La chaîne de protection contre un niveau TROP BAS a pour tâche d'activer le déclenchement de la turbine en cas de fuite d'huile importante et aussi d'immobiliser le groupe turboalternateur via le ralentissement d'urgence, par activation du fonctionnement de secours de l'alimentation en huile. Ceci démarre la pompe à huile de secours et coupe toutes les pompes à huile principales et les pompes à huile de soulèvement.

Une chaîne de protection contre le niveau TROP HAUT du réservoir d'huile principal est fournie, en vue de limiter le niveau à un seuil autorisé. En cas de réponse, cette protection déclenche la turbine.

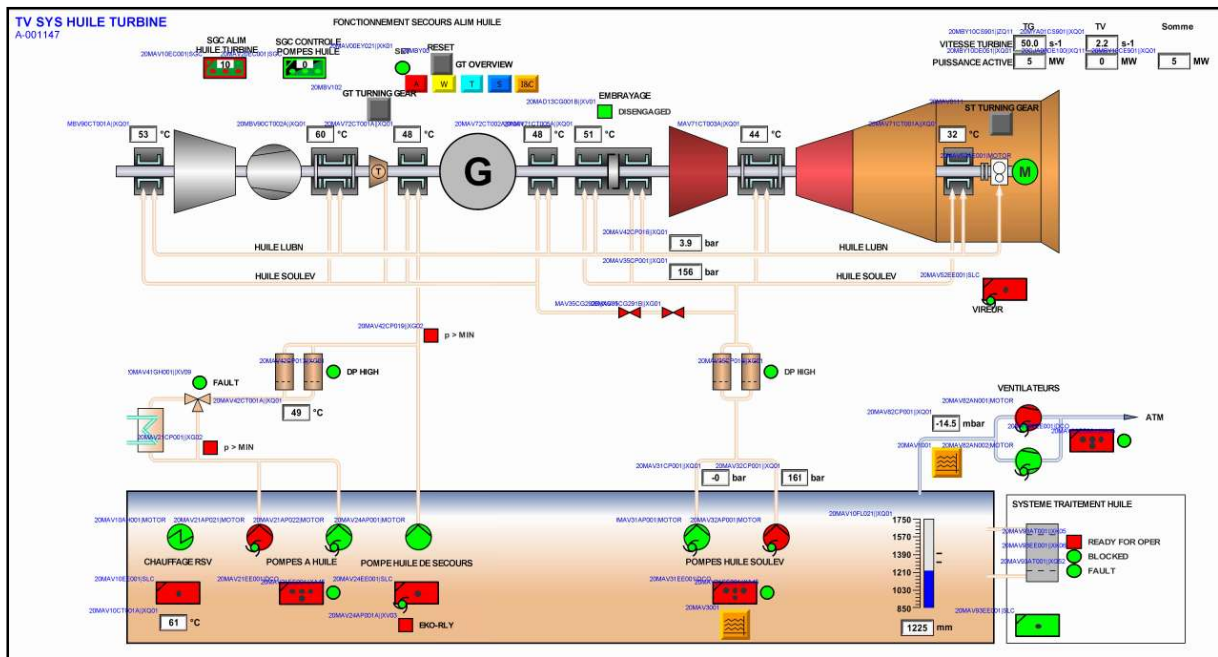


Figure 3.12 : Vue opérateur du système d'huile de lubrification des paliers

### 2.3.8 Protection contre le manque de vide au condenseur :

La protection (turbine) contre le manque de vide au condenseur a pour fonction de protéger les derniers étages d'aubes BP contre un niveau de vibrations et de ventilation non admissible / un vide bas au condenseur. Elle a également pour tâche de protéger l'enveloppe du corps BP et du condenseur contre une pression relative inadmissible.

Une chaîne de protection est prévue pour chaque espace vapeur du condenseur, quel que soit le nombre de corps BP qui lui est relié.

La chaîne de protection déclenche la turbine sur les critères suivants :

- seuil de déclenchement variable avec temporisation à l'activation (formé par le système de protection contre le manque de vide au condenseur en fonction de la pression en amont des aubages BP).
- seuil de déclenchement fixe sans temporisation à l'activation en fonction de la pression au condenseur.

La pression en amont du corps BP est acquise à l'aide de trois capteurs de pression en vue de la formation du seuil.

La pression au condenseur est acquise à l'aide de 3 capteurs de pression absolue.

La protection (turbine) contre le manque de vide au condenseur est réalisée comme circuit de protection en 2 sur 3 de configuration standard.

### 2.3.9 Valeurs limites des protections de la turbine a vapeur :

Protection d'Alternateur	Condition d'activation de protection
Protection de pression d'huile de lubrification des paliers (protection commun)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;2.5 bar : Alarme</li> <li>• &lt;2.3 bar : Déclenchement de TG/TV</li> </ul>
Protection du niveau du réservoir d'huile principal (protection commun)	Niveau TROP HAUT : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; +80mm : Déclenchement de TG/TV</li> <li>• &gt; +40mm : Alarme H</li> </ul> Niveau TROP BAS : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;-40mm : Alarme B</li> <li>• &lt; -80mm : Déclenchement de TG/TV</li> </ul>
Protection déplacement palier axiale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;1.0mm : Déclenchement TV</li> <li>• &gt;0.5mm : Alarme</li> <li>• &lt;-0.5mm : Alarme</li> <li>• &lt;-1.0mm : Déclenchement TV</li> </ul>
Protection température palier	Protection des paliers porteurs TV : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;130C : Déclenchement de TV</li> <li>• &gt;110C : Alarme H</li> <li>• &gt;90C : Alarme H</li> </ul> Protection de butée de déplacement axiale TV : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;130C : Déclenchement de TV</li> <li>• &gt;110C : Alarme H</li> <li>• &gt;90C : Alarme H</li> </ul>
Protection des vibrations des logements palier turbine (absolue)	Protection des paliers N°01 et 02 de la TV : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;11.8mm/s : Déclenchement TV</li> <li>• &gt;9.3mm/s : Alarme H</li> </ul> Protection du palier N°03 de la TV (coté embrayage) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;7mm/s : Déclenchement TV</li> <li>• &gt;5mm/s : Alarme H</li> </ul>
Protection déplacement palier axiale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;1.0mm : Déclenchement TV</li> <li>• &gt;0.5mm : Alarme</li> <li>• &lt;-0.5mm : Alarme</li> <li>• &lt;-1.0mm : Déclenchement TV</li> </ul>
Protection contre le vide dans le condenseur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;0.5bara : Déclenchement de TV</li> <li>• &gt;0.4bara : Alarme</li> </ul>

#### **2.4 Protection de la chaudière de récupération (HRS) :**

Dans les centrales à cycle combiné, les turbines à gaz et à vapeur sont couplées au niveau du processus à travers les chaudières de récupération.

Dans cette configuration, le gaz d'échappement de la turbine à gaz génère de la vapeur dans la chaudière de récupération.

Si des situations critiques nécessitant l'arrêt immédiat de la turbine à gaz, la turbine à gaz est déclenchée. Cela empêche la poursuite de l'admission des gaz chauds en aval de la chaudière de récupération, ce qui pourrait entraîner des dommages au niveau de cette dernière.

Pour contrôler la sécurité et l'efficacité de la chaudière de récupération, il faut fournir des valeurs de réglage bien définies.

Des signaux sont transférés par câblage fixe sur un circuit normalement alimenté de la protection de la chaudière de récupération au système de protection de turbine à gaz à sécurité intégrée (FS-AP) et y actionnent le déclenchement de la turbine à gaz en mode de fonctionnement (logique) 1 sur 3.

##### **2.4.1 Protection du niveau des ballons Haute pression (HP), Pression intermédiaire (IP) et Basse pression (LP) :**

Les niveaux des ballons HP, IP et LP est mesuré par trois (3) transmetteurs de niveau montés dans chaque ballon.

Trois signaux émetteurs de niveau s'effectuent après la surveillance des valeurs limites et la logique de vote de 2 sur 3.

Ces signaux génère et utilise en logique les alarmes suivantes : très très élevé (HHH), très élevé (HH), élevé (H), bas (L), très bas (LL) et très très bas (LLL).

##### **2.4.2 Protection de la température de la vapeur à haute pression (HP) et du vapeur resurchauffé (HRH):**

La température de la vapeur à haute pression et du vapeur resurchauffé est mesurée par trois (3) transmetteurs de température montés dans la ligne de vapeur HP et la ligne de vapeur HRH.

Trois signaux émetteurs de température s'effectuent après la surveillance des valeurs limites et la logique de vote de 2 sur 3.

Ces signaux génère et utilise en logique les alarmes suivantes : température très élevée (HH) et élevés (H) sont.

##### **2.4.3 Protection du déclenchement des pompes d'extraction du condensat (CEP) :**

Trois (3) contacts du appareillage de commutation sont pris en compte dans la logique de vote 2 sur 3 pour chaque relais de protection de moteur des pompes d'extraction du condensat pour générer un signal dans le système de contrôle de et de commande (DCS).

##### **2.4.4 Protection du déclenchement des pompes d'alimentation de chaudière (BFP) :**

Trois (3) contacts du appareillage de commutation sont pris en compte dans la logique de vote 2 sur 3 pour chaque relais de protection de moteur des pompes d'alimentation de chaudière pour générer un signal dans le système de contrôle de et de commande (DCS).

#### 2.4.5 Valeurs limites des protections de la chaudière de récupération :

Protection de la chaudière		Condition d'activation de protection
Protection du niveau des ballons	Haute pression (HP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau HHH &gt;280mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> <li>• Niveau HH &gt;230mm (Alarme)</li> <li>• Niveau H &gt;140mm (Alarme)</li> <li>• Niveau L &lt;-310mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LL &lt;-480mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LLL &lt;-650mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> </ul>
	Pression intermédiaire (IP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau HHH &gt;140mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> <li>• Niveau HH &gt;110mm (Alarme)</li> <li>• Niveau H &gt;70mm (Alarme)</li> <li>• Niveau L &lt;-210mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LL &lt;-360mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LLL &lt;-510mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> </ul>
	Basse pression (LP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau HHH &gt;80mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> <li>• Niveau HH &gt;60mm (Alarme)</li> <li>• Niveau H &gt;40mm (Alarme)</li> <li>• Niveau L &lt;-370mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LL &lt;-460mm (Alarme)</li> <li>• Niveau LLL &lt;-510mm (Déclanchement de la TG et TV)</li> </ul>
Protection de la température de la vapeur à haute pression (HP) et du vapeur resurchauffé (HRH)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température HH &gt;575°C (Déclanchement de la TG et TV)</li> <li>• Température H &gt;572°C (Alarme)</li> </ul>

### 3. Les protections électriques dans la centrale d'Ain Arnat :

La protection électrique de la centrale surveille les composantes électriques entre le point neutre de l'alternateur et le réseau haut tension. Lorsque des erreurs se produisent sur ces composantes, un déclenchement de protection est prévu pour éviter un endommagement. Du fait du temps de réponse très court, le signal de déclenchement de la protection de tranche est envoyé au système de sécurité pour la protection de la TAG, TV et ALT comme signal câblé redondant et entraîne un déclenchement de la turbine de type 1 sur 2 à émission de tension.

La description des différentes protections existant dans la centrale est détaillée en dessous :

- 3.1 Impédance (21)** : protection de secours du générateur, en cas de défaillance du système.
- 3.2 Sur-excitation U/f (24)** : Lorsque les rapports tension-fréquence sont hors des limites imposées, une saturation du cœur magnétique du générateur peut avoir lieu. Cet état provoque une surchauffe importante du noyau du générateur et peut entraîner une panne de l'isolation du noyau. Pour protéger le dispositif contre la sur-excitation, une protection est installée.
- 3.3 Alimentation inversée (32R)** : Le disjoncteur du générateur sera déclenché si les alternateurs démarrent en tirant sur l'alimentation électrique du système électrique connecté.
- 3.4 Sous-excitation (40)** : L'alternateur est protégé contre les dommages dus à la perte d'excitation. Une perte d'excitation ou une excitation très réduite peut entraîner un échauffement du rotor, de fortes chutes de tension et un fonctionnement instable. Dans les cas les plus graves, une perte de synchronisme peut également se produire.
- 3.5 Charge déséquilibrée (46)** : Lorsqu'un déséquilibre existe dans le système, on constate un déséquilibre entre les composants de tension et de courant, tant en termes d'amplitude qu'en termes de phase. Une séquence négative de composants alimente alors le système électrique. La séquence inversée pivote dans la direction opposée à celle de la séquence positive afin de produire un flux à double fréquence dans le rotor. Une surchauffe du rotor a alors lieu. Pour protéger le générateur contre un échauffement excessif du rotor dû aux courants de charge déséquilibrés, une protection contre la perte de charge (46) est installée sur le dispositif.
- 3.6 Défaillance du disjoncteur (50BF)** : lorsque les relais de protection détectent un défaut interne ou une condition de fonctionnement anormale, ils tentent de déclencher le générateur et, dans le même temps, déclenchent la temporisation du disjoncteur. Si aucun disjoncteur n'élimine l'état de panne dans une période de temps spécifiée, le temporisateur déclenche les disjoncteurs associés à l'élément problématique, afin de retirer le générateur du système.
- 3.7 Mise sous tension accidentelle (50/27)** : Les erreurs de fonctionnement, les flashovers de tête de disjoncteur, les dysfonctionnements du circuit de contrôle ou une combinaison de ces événements ont provoqué l'excitation accidentelle des alternateurs hors ligne. La protection du générateur conventionnel ne peut pas détecter cette condition. Une protection énergétique involontaire dédiée est utilisée.
- 3.8 Défaut de mise à la terre du stator 90% (59N)** : fourni pour la protection du bobinage du stator contre les défauts à la terre dans les 90% de l'enroulement du stator.
- 3.9 Défaut de mise à la terre du stator 100% (64G)** : fourni pour la protection de l'enroulement du stator contre la mise à la terre pour l'enroulement complet du stator.

- 3.10 Surtension (59)** : pour éviter une montée soudaine de la tension due à des conditions de fonctionnement accidentel.
- 3.11 Panne du fusible (60FL)** :Lorsqu'un fusible s'ouvre lors d'une phase électrique d'un groupe de VT, le déséquilibre des charges entraîne la fermeture du contact associé. Lorsqu'un fusible s'ouvre dans le deuxième groupe de VT, ses contacts associés se ferment. Le relais est connecté à l'alarme, retire le régulateur de tension et bloque un éventuel déclenchement incorrect par des relais de protection dont les performances peuvent être affectées par le changement de potentiel.
- 3.12 Défaut de mise à la terre du rotor (64R)** :installé pour protéger l'enroulement du rotor contre la mise à la terre.
- 3.13 Supervision du circuit de déclenchement (74TC)** : Surveiller en permanence la salubrité de la bobine de déclenchement du relais de déclenchement principal associé et déclencher l'alarme si le circuit de déclenchement est défectueux.
- 3.14 Hors phase (78)** :fourni pour la protection contre la perte de synchronisme. Des temps d'effacement prolongés, une faible tension du système, une faible excitation de la machine, une haute impédance entre le générateur et le système, ou certaines opérations de commutation de ligne sont les raisons de la perte de synchronisme. Lorsqu'un alternateur perd le synchronisme, les courants de pointe élevés et le fonctionnement hors fréquence résultants provoquent des contraintes d'enroulement, des couples de pulsation et des résonances mécaniques potentiellement dommageables pour le générateur et l'arbre du générateur de la turbine. Pour minimiser les risques de dommages, le générateur doit être déclenché sans délai, de préférence pendant le premier cycle de glissement d'une condition de perte de synchronisme.
- 3.15 Sur-fréquence (81H)** :Un relais de sur-fréquence est prévu pour sonner une alarme et déclencher lorsque la fréquence du générateur augmente au-delà de la valeur définie.
- 3.16 Sous-fréquence (81L)** : Un relais sous-fréquence est prévu pour déclencher une alarme et déclencher lorsque la fréquence du générateur tombe en dessous de la valeur réglée. Deux niveaux de protection sous la protection de fréquence sont fournis. Le niveau -1 fonctionnera lorsqu'il y a une déconnexion du réseau et que la fréquence soutenue chute en dessous de la valeur réglée pour le temps pré-réglé. Le niveau -2 fonctionnera lorsque le déclenchement de la turbine et la fréquence soutenue tomberont sous la valeur réglée pour le temps pré-réglé
- 3.17 Différentiel du générateur (87G)** : pour protéger l'enroulement du générateur contre les défauts triphasés et de phase à phase dans le générateur.

**Valeurs limites des protections électriques d'alternateur :**

Protection Alternateur	Code de fonction	Réglage	Temporisation
Protection différentielle Alternateur	87 G	0,20I/InO	00sec
Protection contre les déséquilibres de charge (Alarme)	46	5,3%	10sec
Protection contre les pertes d'excitation	40.1	1,83V	1,50sec
protection contre le retour de puissance	32R	-3,04%	6sec
protection d'impédance	21	1,07A	0.5sec
protection contre le déphasage	78	Seille 1 :107,4% Seille 2 :17.9%	Seille 1 : 20sec Seille 2 :0.05sec
Protection contre les sous-tensions	50/27	70,0V	3.5sec
Protection contre les Sur-fréquence	81H	Seille 1 :52,00 Hz Seille 2 :52.50 Hz	Seille 1 : 01sec Seille 2 :00sec
Protection contre les Sus-fréquence	81L	Seille 1 :47,00 Hz Seille 2 :47,5 Hz	Seille 1 : 01sec Seille 2 :20sec
protection contre les surexcitations	24	Seille 1 :1,08 Seille 2 :1,28	Seille 1 : 06sec Seille 2 : 05sec
Protection masse-stator 100% (20Hz)	64G	Seille d'alarme :198 Ohm Seille de déclanchement :50 Ohm	Seille 1 : 10sec Seille 2 : 01sec
Protection contre le défaut de mise à la terre du rotor	64R	Seille d'alarme :40 Ohm Seille de déclanchement :10 Ohm	Seille 1 : 10sec Seille 2 : 01sec

## Conclusion général :

Les investissements humains et matériels affectés à la production de l'énergie électrique sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité de service.

Les équipements constituent les centrales électriques tel que les turbines a gaz, les turbines a vapeur, les chaudières de récupération, les alternateurs, les transformateurs les lignes de transport de l'énergie électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs HTB, HTA et BT.

Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces ouvrages sont souvent exposés à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs. Pour faire face aux incidents les sociétés de production d'électricité adopte des mesures curatives et installe des automates spécifiques, qui constituent le plan de défense (plan de protection) qui a pour objectif de :

- Garantir la sûreté de fonctionnement du système électrique.
- Assurer le fonctionnement normal du système électrique.
- Limiter le nombre des incidents.
- Limiter les conséquences des incidents.

Le but de ce travail est de mettre en évidence sur :

- Les différentes méthodes de production d'électricité
- Une présentation générale sur la centrale de production d'électricité d'Ain Arnat
- Les différent types des protections existent dans une centrale a cycle combiné.

Les protections des équipements a des valeurs biens définis, ces valeurs sont mesurés a l'aide des instruments et des équipements de mesure placés sur les équipements a protégés pour nous permet de faire un diagnostique bien détaillé sur la source de défaut.

## Références bibliographique

- [01] Handbook for Cogeneration and Combined Cycles, ASME Press
- [02] Gas Turbine Engineering Handbook, ASME Press
- [03] Cours de formation No 334 – Ontario Power Generation;
- [04] Manuel de formation sur les opérations du cycle combine, GT Cadre 9FA.03, Code ST A10, GN 324X055.
- [05] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- [06] [ww007.siemens.net/w701/Misc/POrder/P41\\_Projektanlage/DZ1006\\_Ain\\_Arnat/SI\\_EN\\_FSIG/Engineering/01](http://ww007.siemens.net/w701/Misc/POrder/P41_Projektanlage/DZ1006_Ain_Arnat/SI_EN_FSIG/Engineering/01)
- [07] Siemens AG / Power Generation, E P GT SI EN EEG 4 / Hohe UNID : 439 256 511, Ind. : 02
- [08] Siemens AG / Power Generation, E P GT GN EN GD MLHC 1