

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur**  
**et de la Recherche scientifique**



**Université d'EL-Oued**  
**Faculté des Sciences et de Technologies**



**Mémoire de Fin d'Etude**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**

**LICENCE ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et de Technologies**

**Filière: Génie Électrique**

**Spécialité: Réseaux Électriques**

**Thème**

***Étude d'une centrale à gaz***

**Dirigé par :**

**- LAMMOUCHI ZAKARIA**

**Réalisé par :**

**- LAID HACHEF**

**- BOUSBIA LAICHE SOUHAIB**

**- ACHIRI TAREK**

**Année universitaire : 2013/2014**

# علمة شكر

## قال تعالى

« رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى  
وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ  
الصَّالِحِينَ »

سورة النمل الآية 19.

في البداية نشكر الله عز وجل الذي وفقنا لإتمام هذا العمل المتواضع  
كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى الأستاذ المحترم لموشي زكريا الذي لم ييخل علينا  
بنصائحه القيمة التي مهدت لنا الطريق لإتمام هذا البحث , كما نشكر كل من ساعدنا  
في إنجاز هذا البحث سواء من قريب أو من بعيد، و لا يفوتنا أن نتقدم بجزيل الشكر  
والعرفان إلى كل أساتذة قسم الهندسة الكهربائية .  
وفي الأخير نشكر كل أساتذة وعمال جامعة الوادي.



# الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى :

- أمي العزيزة

- أبي الغالي

- جدتي الحنونة

- إخوتي وأخواتي الأعماء

- كل عائلة مشرفة

- كل الأصدقاء والزملاء في الدراسة

- كل الأساتذة والعمال بجامعة الوادي -

العيد

# الإهداء

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين  
أهدي هذا العمل:

إلى من كلفه الله بالصيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى  
من أحمل اسمه بكل افتخار .. أرجو من الله أن يمد في عمرك لتبني ثماراً قد حان  
قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهدني بها اليوم وفي غد  
.. وإلى الأبد

والذي العزيز

.. إلى بسمه الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

أمي الحبيبة

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة إلى رباحين حياتي إخوتي

إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير

إلى من عرفتم كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم

أصدقائي

إلى الذين بذلوا كل جهدٍ وعطاء لكي أصل إلى هذه اللحظة أساتذتي الكرام

# الإهداء

بدأنا بأكثر من يد وقاسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات  
وهانحن اليوم والحمد لله تطوي سمر الليالي وتعب الأيام وخلاصة مشوارنا  
بين دفتي هذا العمل المتواضع.

إلى منارة العلم والامام المصطفى إلى الأمي الذي علم المتعلمين إلى سيد  
الخلق إلى رسولنا الكريم سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاكمت سعادتي بخيوط منسوجة  
من قلبها إلى والدتي العزيزة.

إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشئ من أجل  
دفعني في طريق النجاح الذي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر  
إلى والدي العزيز.

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهم بذكراهم فؤادي إلى أخواتي  
وأخواني.

إلى من سرنا سويًا ونحن نشق الطريق معًا نحو النجاح والإبداع إلى من  
تكا تفننا يدًا بيد ونحن نقطف زهرة وتعلمنا إلى أصدقائنا.

إلى من علمونا حروفًا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى  
وأجلى عبارات في العلم إلى من طاعوا لنا علمهم حروفًا ومن فكرهم منارة  
تنير لنا سيرة العلم والنجاح إلى أساتذتنا الكرام.

طارق

## *SOMMAIRE*

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### *Chapitre I Les Centrales électriques*

I-1 Introduction.....	2
I-2 Centrale hydroélectrique.....	3
I-3 Centrale éolienne.....	4
I-4 Centrale solaire.....	5
I-4.1 Centrale solaire photovoltaïque.....	5
I-4.2 Centrale solaire thermodynamique à concentration.....	7
I-5 Centrale nucléaire.....	8
I-6 Les centrales thermiques.....	10
I-7 Conclusion.....	11

### *Chapitre II Construction de la centrale à Turbine à Gaz*

II-1 Introduction.....	12
II-2 Description des Composants d'une turbine à gaz.....	12
II-2.1 Système de l'admission « Entrée d'air ».....	13
II-2.2 Compresseur.....	13
II-2.3 Chambre de combustion.....	14
II-2.4 Turbine de détente.....	15
II-2.5 Echappement de la turbine à gaz.....	15
II-3 Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz.....	15
II-4 Les technologies des turbines à gaz [TH].....	16
II-4.1 Turbine à gaz à un seul arbre.....	16
II-4.2 Turbine à gaz à deux arbres.....	17
II-5 Cycle thermodynamique des turbines à gaz.....	18
II-5.1 Etude de cycle idéal de turbine à gaz.....	18
II-5.2 Etude des différentes séquences.....	19
II-6 Conclusion.....	22

---

## *Chapitre III*

### *Démarrage de la Turbine à Gaz*

III-1 Introduction.....	23
III-2 Les éléments principaux pendant le démarrage de Turbine à gaz.....	23
III-2.1 Le schéma électrique.....	23
III-2.2 Structure de SSD.....	25
III-2.2.1 Transformateur de démarrage.....	25
III-2.2.2 Convertisseur statique de fréquence (CSF).....	26
III-3 Démarrage de la turbine à gaz.....	27
III-3.1 Démarrage de la turbine à gaz en conditions normales.....	27
III-3.1.1 Les séquences électriques de démarrage.....	27
III-3.1.2 Accélérer la TG jusqu'à la vitesse de synchronisation.....	27
III-3.1.3 Les courbes de fonctionnement d'alternateur pendant le démarrage de la TG.....	29
III-3.2 Redémarrage de la turbine à gaz.....	30
III-4 Conclusion.....	31
Conclusion générale.....	33
Bibliographie	

## Liste des figures

### Chapitre I

#### Les Centrales électriques

Figure (I.1): Centrale hydroélectrique en Allemagne.....	4
Figure (I.2): Centrale éolienne.....	4
Figure (I.3): Centrale solaire photovoltaïque.....	6
Figure (I.4): Centrale solaire thermodynamique.....	7
Figure (I.5) : Centrale nucléaire.....	9
Figure (I.6): Centrale thermique.....	10

### Chapitre II

#### Construction de la centrale à Turbine à Gaz

Figure (II.1): Composants d'une TAG simple.....	12
Figure (II.2): Représentation de compartiment d'admission.....	13
Figure (II.3) : Représentation d'un Compresseur.....	14
Figure (II.4) : définition de la température de la flamme.....	15
Figure (II.5): Evolution des gaz à travers une TAG.....	16
Figure (II.6): turbine à gaz à un seul arbre.....	17
Figure (II.7): turbine à gaz à deux arbres.....	17
Figure (II.8): Cycle thermodynamique de turbine à gaz.....	19
Figure (II.9) : Allure du rendement thermique en fonction de taux de compression dans une TAG à cycle idéale.....	21
Figure (II.10) : Allure du rendement thermique en fonction de taux de compression dans une TAG à cycle idéale.....	21

### Chapitre III

#### Démarrage de la Turbine à Gaz

Figure (III.1): Schéma unifilaire électrique.....	24
Figure (III.2) : La structure de (SSD).....	25
Figure (III.3): convertisseur statique de fréquence(CSF).....	26

<b>Figure (III.4): consigne et l'allure de la vitesse de l'arbre turbo-alternateur jusqu'à la vitesse de synchronisation.....</b>	<b>28</b>
<b>Figure (III.5): Allures de la tension et courant d'alternateur.....</b>	<b>30</b>
<b>Figure (III.6): Redémarrage de la turbo-alternateur.....</b>	<b>31</b>

*Liste*

*des symboles*

## Liste des symboles

### Indices:

<b>SSD</b>	Système statique de démarrage.
<b>HT</b>	Haute tension.
<b>MT</b>	Moyenne tension.
<b>CSF</b>	Convertisseur statique de fréquence.
<b>MVB</b>	Disjoncteur moyenne tension.
<b>PR</b>	Pont réseau.
<b>PM</b>	Pont machine.
<b>TG</b>	Turbine à gaz.
<b>ISO</b>	Organisation standards international.
<b>C</b>	Compresseur.
<b>Ch</b>	Chambre de combustion.
<b>G</b>	Gaz.
<b>T</b>	Turbine.
<b>A</b>	Section.

**Variables grecques:**

$\eta$	Rendement	[%]
$\tau$	Taux de compression	[-]
$\gamma$	Exposant isentropique	[-]

<b>Variable</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
<b>C<sub>p</sub></b>	Chaleurs spécifiques à pression constant	[KJ/(Kg.K)]
<b>P</b>	Puissance	[KW]
<b>Q</b>	Quantité de chaleur	[KW]
<b>T</b>	Température absolue	[K]
<b>W</b>	Travail spécifique	[KJ/Kg]

*Introduction*

*Générale*

## **Introduction générale**

Les centrales électriques transforment diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique afin d'alimenter en électricité, au moyen du réseau électrique.

La centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur (charbon, gaz, fioul). Une centrale à gaz fonctionne grâce à la combustion du gaz naturel, la chaleur des gaz de fumées et des flammes sert à chauffer la tuyauterie de la chaudière. Les gaz chauds se détendent en traversant la turbine, où l'énergie thermique des gaz chauds est transformée en énergie mécanique.

Les turbines à gaz, ces machines thermiques qui servent à la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique sur la base des transformations thermo-dynamiques. La génération d'électricité est assurée par un alternateur entraîné par la turbine.

Le premier chapitre est consacré à des rappels sur les types des centrales dans le monde. Ces rappels sont suivis par une définition de la centrale hydraulique de manière générale, puis la centrale éolienne, la Centrale solaire, la centrale nucléaires finalement la centrale à gaz.

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé de l'étude des Composants dans la centrale à turbine à gaz (le filtre d'entrée d'air, le compresseur, la chambre de combustion, la turbine), et aussi l'étude du cycle de base selon lequel une turbine à gaz fonctionne est le cycle idéal.

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé une étude d'une centrale à turbine à gaz citée dans notre pays. On présentera la procédure de démarrage de la turbine avec des courbes pratiques et réelles de ce démarrage dans cette centrale électrique.

# *Chapitre I*

## *Les centrales électriques*

# *Chapitre I*

## *Les centrales électriques*

### **I-1 Introduction:**

Une centrale électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique afin d'alimenter en électricité, au moyen du réseau électrique, les consommateurs, particuliers ou industriels éloignés de la centrale.

La première centrale électrique, la Pearl Street Station, a été mise en service le 4 septembre 1882 par Thomas Edison<sup>1</sup> dans le bas-Manhattan, ce qui a permis de faire fonctionner l'éclairage électrique des bureaux du New York Times et d'autres bâtiments aux alentours de Wall Street [ML]. La centrale ne délivrant que du courant continu ne pouvait fournir efficacement qu'un petit secteur géographique. Le premier générateur, était bien moins efficient que ceux d'aujourd'hui : il avait un rendement de 3 à 4 % de l'énergie du charbon utilisé. Quelques années après, Edison a cependant vu l'intérêt de la cogénération en réutilisant la chaleur générée par le système électrique pour chauffer les bâtiments. Six années après Edison, l'invention par Nikola Tesla du courant alternatif a permis de transporter le courant électrique à bien plus grande distance que le courant continu, et donc de limiter le nombre de centrales nécessaires.

La génération d'électricité est assurée par un alternateur entraîné par une turbine ou exceptionnellement par un moteur Diesel stationnaire. Le type de turbine définit alors le type de centrale :

- ✓ Une turbine à vapeur, dans une centrale thermique (à combustible fossile ou nucléaire) .
- ✓ Une turbine à combustion (communément, mais improprement appelée turbine à gaz), dans une centrale thermique .
- ✓ Une turbine hydraulique, dans une centrale hydroélectrique ou une centrale marémotrice .
- ✓ Une éolienne est aussi une sorte de turbine.

Dans ce chapitre, on définit en général les types et les caractéristiques des centrales électriques

## **I-2 Centrale hydroélectrique:**

L'énergie hydraulique est depuis longtemps une solution mise en œuvre dans la production d'électricité (appelée aussi Énergie hydroélectrique) car elle utilise une énergie renouvelable.

À un étranglement des rives d'un cours d'eau, un barrage est érigé qui crée une retenue d'eau. Au pied de ce barrage, on installe des turbines reliées à des alternateurs. On alimente en eau sous pression les turbines par un système de canalisations et de régulateurs de débit.

Il y a différents types de centrales hydroélectriques, notamment les micro-centrales, installées sur des rivières en tête de bassin, certaines avec un fort impact écologique. Il existe également des centrales hydroélectriques de pompage-turbinage qui permettent d'accumuler l'énergie venant d'autres sites de productions peu flexibles (telles les centrales nucléaires) ou intermittents (productions éoliennes ou solaires) lorsque la consommation est basse, pour la restituer lors des pics de consommation.

### **❖ Les avantages de Centrale hydroélectrique:**

L'exploitation de l'énergie hydroélectrique offre de nombreux avantages par rapport à d'autres procédés. D'abord, c'est l'une des sources d'énergie les moins chères car son retour d'investissement est très rapide. Cela s'explique par un fonctionnement continu des installations et un besoin d'entretien moindre. En effet, l'eau qui traverse les turbines ne cesse de produire de l'électricité. La quantité d'énergie obtenue pendant ce laps de temps justifie amplement le coût initial de l'installation. Par ailleurs, elle ne génère que peu de pollution à l'inverse des autres systèmes qui emploient du carburant. Elle ne produit donc pas des gaz à effet de serre, qui est l'une des causes principales du réchauffement climatique. Enfin, les sites où on peut installer des barrages hydroélectriques sont encore nombreux. On estime que l'Europe et les Etats-Unis n'utilisent que la moitié de leur potentiel alors que l'Asie n'exploite que 11 % de ses possibilités.

### **❖ Les inconvénients de Centrale hydroélectrique:**

- ✓ Outre que les sites potentiels se situent généralement en montagne entraînant des surcoûts importants de construction, le nombre de ces sites est limité.
- ✓ De plus ce système implique parfois de noyer des vallées entières de terre cultivable, où les hommes vivent bien souvent depuis des générations.
- ✓ On ne peut jamais garantir le risque 0 de rupture des barrages, en particulier lors de conditions météorologiques exceptionnelles.



**Figure (I.1):** Centrale hydroélectrique en Allemagne.

### **I-3 Centrale éolienne:**

Dans une centrale éolienne, l'énergie électrique est produite directement par des génératrices éoliennes. Ces machines sont formées d'un mat, sur lequel est installé un générateur électrique entraîné par une hélice, elles sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées. L'alternateur permet de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique.



**Figure (I.2):** Centrale éolienne.

#### **❖ Les avantages de Centrale éolienne:**

- ✓ coût de production relativement faible par rapport à l'énergie produite.
- ✓ La surface occupée au sol est peu importante.
- ✓ L'énergie éolienne est une énergie propre (pas d'émissions de gaz, pas de particules).
- ✓ surface immense disponible en mer où le vent est pratiquement constant.

### ❖ Les inconvénients de Centrale éolienne:

Les principaux défauts des éoliennes sont :

- ✓ La "pollution visuelle" du paysage.
- ✓ des obstacles pour la navigation aérienne, de proximité, à très basse altitude.
- ✓ Le bruit est également gênant, d'après certains témoignages, lorsqu'une éolienne est installée près d'une habitation. L'investissement est conséquent, avec une production aléatoire dépendant des caprices du vent et assez moyenne comparée à d'autres systèmes concurrents.

### I-4 Centrale solaire:

On distingue les centrales électriques solaires photovoltaïques des centrales solaires thermodynamiques, ces dernières étant peu développées.

#### I-4.1 Centrale solaire photovoltaïque:

Ce mode de production d'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.

Ce système, bien que de rendement faible, est très simple à mettre en œuvre et particulièrement léger. Inventé pour les besoins des satellites artificiels militaires, il est aujourd'hui très utilisé pour une production locale ou embarquée d'électricité. Ce moyen peut être utilisé comme moyen de production à l'échelon individuel. Dans une maison individuelle, 20 m<sup>2</sup> de panneaux produisent, sur la totalité d'une année, ce que consomme un foyer de 4 personnes. Ils sont préconisés dans la réalisation des maisons dites « autonomes » ou « passives ».

Des panneaux solaires embarqués à bord de bateaux, véhicules terrestres, satellites et vaisseaux spatiaux, secondés par une batterie d'accumulateurs. Ces accumulateurs fournissent de l'énergie pendant les moments de non ou faible production des panneaux et stockent le surplus d'électricité pendant les moments de grande production.



Figure (I.3): Centrale solaire photovoltaïque.

### ❖ Les avantages de solaire photovoltaïque:

- ✓ L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite.
- ✓ Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût.
- ✓ Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire.
- ✓ Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

### ❖ Les inconvénients de solaire photovoltaïque:

- ✓ Des projets de centrale solaire dans l'espace existent. Mais outre le problème du transport de l'électricité sur terre, il faudrait dans un premier temps transporter et assembler des milliers de tonnes de matériel en orbite, sans parler des problèmes de maintenance induits par un tel système.
- ✓ Dans une maison individuelle, il y a 2 soucis. Premièrement, le coût des panneaux est encore très élevé. Ils sont surtout installés dans les pays qui aident financièrement les particuliers : par des subventions directes ou par le rachat de l'énergie produite à un tarif préférentiel. Deuxièmement, le stockage de l'énergie, car la production est irrégulière.

### I-4.2 Centrale solaire thermodynamique à concentration:

Une centrale solaire thermodynamique capte un maximum d'énergie thermique solaire en utilisant plusieurs rangées de miroirs disposés en arc de cercle face à la course du soleil, qui renvoient les rayons solaires en un seul point, le foyer. Pour que le foyer ne change pas de position en permanence, les miroirs sont orientables et pilotés par un système centralisé. À ce foyer, une chaudière contenant un liquide sert de capteur d'énergie.

Un autre système utilise des miroirs incurvés face au sud dans l'hémisphère nord munis d'un tube rempli d'un fluide qui s'échauffe aux rayons du soleil concentrés par le miroir. Le liquide est en général de l'eau qui surchauffée par l'énergie thermique solaire est conduite jusqu'à une turbine à vapeur.

Un autre système appelé tour solaire utilise l'énergie solaire pour chauffer l'air contenu dans une immense serre. L'air chauffé plus léger monte dans une cheminée où il met en mouvement des turbines.



Figure (I.4): Centrale solaire thermodynamique.

#### ❖ Les avantages de thermodynamique à concentration:

- ✓ L'énergie solaire est inépuisable et non polluante.
- ✓ L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre.
- ✓ L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- ✓ L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes.
- ✓ Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles.

**❖ Les inconvénients de thermodynamique à concentration:**

- ✓ Le problème de base de ce type de centrale électrique, est que l'énergie solaire est en quantité relativement faible en un point donné de la terre et, qu'elle n'utilise que la chaleur rayonnée, (rayonnement Infrarouge). La densité de puissance est faible, mais bien supérieure à celle du photovoltaïque.
- ✓ Par ailleurs, la production est intermittente (intermittence journalière jour/nuit et saisonnière) et localement imprévisible à moyen terme (aléa météorologique). Pour réduire l'intermittence jour/nuit, voire permettre une production 24h/24, les centrales les plus modernes (comme Andosol en Espagne) sont équipées de réservoirs permettant de stocker du fluide porteur chaud. Le stockage de la chaleur peut également s'effectuer par le biais de matériaux à forte capacité calorifique comme des roches de type volcanique portées à très haute température.

**I-5 Centrale nucléaire:**

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire. Remarquons qu'une réaction chimique telle que la combustion du charbon produit un simple regroupement des atomes sans que leurs noyaux soient affectés.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission. Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc., comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30% et 40%) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite in emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement. A cause de ces similitudes, nous nous limiterons à l'étude du principe de fonctionnement et des caractéristiques du réacteur lui-même.

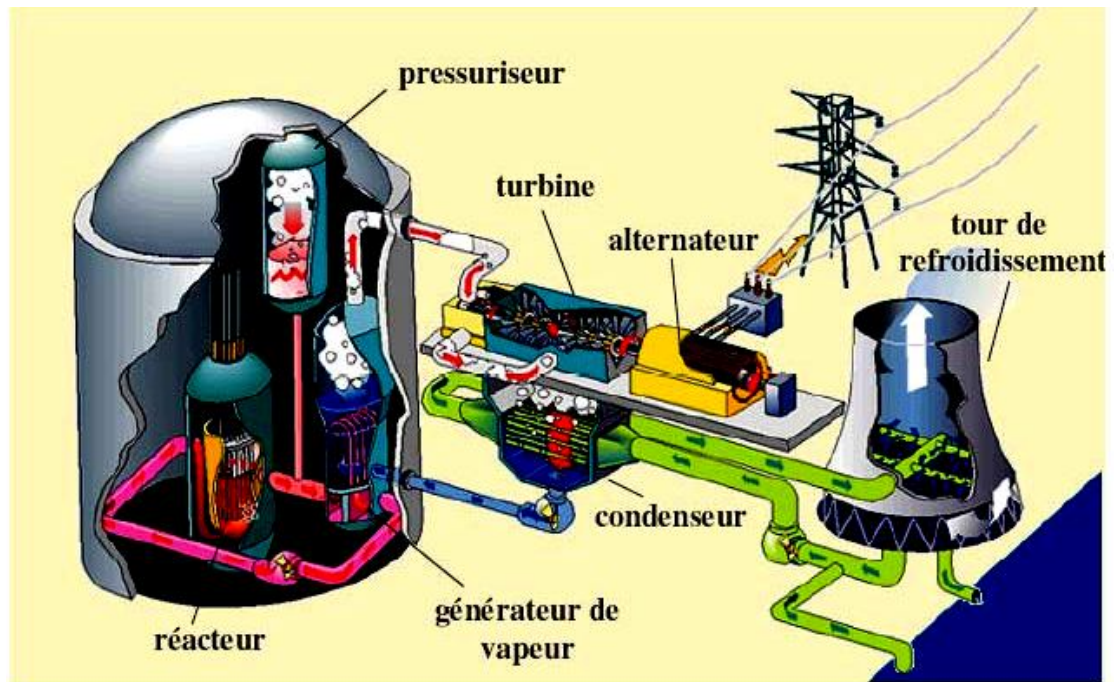


Figure (I.5) : Centrale nucléaire.

### ❖ Les avantages de Centrale nucléaire:

- ✓ Contrairement aux centrales thermiques classiques, les centrales nucléaires ne rejettent pas de CO<sub>2</sub>. Leur utilisation permet donc de lutter contre l'effet de serre qui présente des dangers à court terme (les émissions de gaz à effet de serre sont pratiquement nulles) .
- ✓ Les ressources naturelles de la planète (gaz, charbon, pétrole notamment) étant de plus en plus rare, le nucléaire permet d'économiser ces ressources.
- ✓ Une centrale nucléaire produit plus d'énergie qu'une centrale thermique classique, une tonne de charbon produisant autant d'énergie qu'un gramme d'Uranium, et occupe beaucoup moins de place.
- ✓ Le nucléaire aide au développement de l'économie ; grâce à lui, la France produit aujourd'hui autant qu'elle n'en consomme.
- ✓ Les centrales nucléaires en fonctionnement coûtent globalement moins cher que les centrales à combustibles classiques, surtout dans les pays pauvres en ressources naturelles.
- ✓ La production d'une électricité en continu, pour un coût jusqu'à présent relativement modeste, avec une très faible émission de gaz à effet de serre. Elle constituerait donc un rempart contre le changement climatique.

### ❖ Les inconvénients de Centrale nucléaire:

Actuellement, les centrales nucléaires produisent environ 15 % de l'électricité mondiale. Elles n'émettent pas de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) contrairement aux centrales conventionnelles à flamme, mais elles engendrent des déchets radioactifs, qui doivent être confinés, et tout risque d'accident,

comme dans toute entreprise, ne peut être exclu. La probabilité d'occurrence d'un tel accident, sur les centrales modernes, est sujette à débat.

### I-6 Les centrales thermiques:

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200MW et 2000MW afin de réaliser les économies d'une grosse installation.

Donc, les centrales thermiques font usage de l'énergie calorifique contenue dans les combustibles. Celle-ci peut être utilisée de différentes manières :

Dans les centrales à vapeur, le combustible de produit fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel,...) est brûlé dans les chaudières qui fournissent de la vapeur aux groupes générateurs à turbines.

Dans les centrales à moteur à gaz, on utilise directement dans les machines à piston les gaz de récupération des hauts fourneaux ou des fours à coke. On réalise généralement, dans les centrales à moteur diesel, une utilisation directe de l'énergie de combustible (mazout).

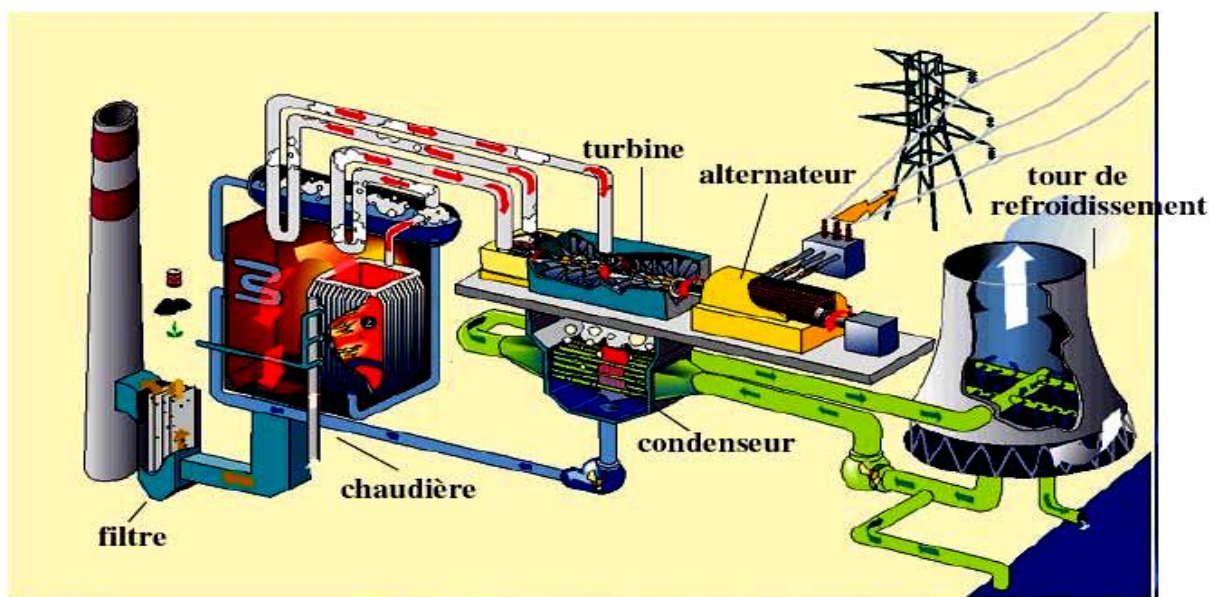


Figure (I.6): Centrale thermique.

La turbine à gaz prend actuellement de l'extension principalement comme source d'énergie point de vue réserve.

Les sources d'énergie fossile ont comme principaux défauts d'être épuisables et d'être à l'origine d'une pollution de l'air (pollutions acides en particulier). En outre, la combustion du carbone produit du CO<sub>2</sub> (principal gaz à effet de serre).

- Elles induisent une dépendance à l'égard des producteurs de ressources (gaz, pétrole, charbon...)
- Le caractère très centralisé des centrales et la dépendance au réseau électrique THT les rendent vulnérables.
- Les centrales thermiques à flamme produisent du dioxyde de carbone (gaz à effet de serre), des oxydes d'azote et de soufre et d'autres polluants (poussières, métaux lourds, dont mercure, dioxyde de soufre...) contribuant aux smogs photochimiques, à la production d'ozone troposphérique, et de pluies, brumes et brouillards acides.

#### ❖ **Les avantages de Centrale thermique:**

- ✓ Produire de l'énergie électrique à partir de ressources locales ( Gaz, Pétrole, Charbon, Lignite, Déchets urbains).
- ✓ Centrales de grande puissance (jusqu'à 1000 MW aujourd'hui).
- ✓ Démarrages et arrêts rapides (quelques heures) qui en font des outils d'appoint aptes à compenser les pointes d'énergie au réseau électrique.
- ✓ Brûle des carburants lourds ( fiouls lourds BTS et HTS) produits en fin de chaîne de raffinage.
- ✓ Retombées économiques locales (taxes professionnelles et emplois).
- ✓ Peu de pollution pour les centrales au gaz.

#### ❖ **Les inconvénients de Centrale thermique:**

- ✓ émission de produits polluants à l'atmosphère ( SO<sub>3</sub> , CO<sub>2</sub>, NOX).
- ✓ réchauffement des eaux fluviales nécessaire au condenseur ( 2/3 de l'énergie de la source chaude).
- ✓ consommation élevée d'eau douce pour appoints au circuit eau/vapeur.
- ✓ mauvais rendement thermique (comme tout cycle de eau-vapeur) environ 35 %.
- ✓ traitement des déchets solides (suies) concernant le lignite et charbon.
- ✓ coût élevé de réhabilitation des lieux après démantèlement.

### **I-7 Conclusion:**

En Algérie l'industrie du pétrole utilise essentiellement les turbines à gaz pour produire l'électricité. L'objet des chapitres suivants est d'aborder une description des composants de la turbine à gaz, technologie de fonctionnement, l'analyse thermodynamique du cycle idéal et les caractéristiques de démarrage de turbo-alternateur.

# *Chapitre II*

## *Construction de la centrale*

### *à Turbine à Gaz*

## Chapitre II

### Construction de la centrale à Turbine à Gaz

#### II-1 Introduction:

Les applications pratiques des turbines à gaz se sont produites la première fois de 1939 à 1941. En 1939, la société Suisse Brown Boveri a utilisé une turbine à gaz pour produire de l'électricité. Également en 1939, le premier vol d'un avion actionné par une turbine à gaz développée par Hans Von Ohlin a eu lieu en Allemagne. Une autre turbine à gaz d'avion a été développée par Frank Whittle, qui a actionné un avion en 1941 en Angleterre. À partir de ces applications la turbine à gaz a été développée au point où aujourd'hui c'est la centrale la plus importante d'avions en service [MS].

Les turbines à gaz, ces machines thermique qui servent à la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique sur le base des transformation thermodynamique , ont connu ces dernières années un développement important dans de nombreuses application industrielles en particulier dans les centrales thermiques [ML].

Les progrès obtenus dans le domaine de la technologie des matériaux et dans la recherche approfondie sur la combustion ont donné comme résultats des améliorations rapides des performances en termes de puissance spécifique et rendement en augmentant la température maximale dans le cycle thermodynamique.

#### II-2 Description des Composants d'une turbine à gaz:

Dans le cas le plus simple une turbine à gaz est constituée par un filtre d'entrée d'air, un compresseur, une chambre de combustion, une turbine de détente et le système d'échappement vers l'atmosphère, figure (II.1).

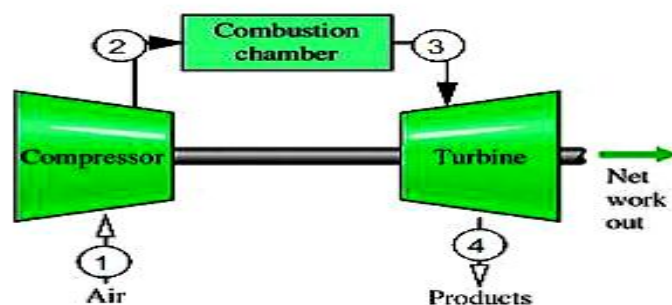


Figure (II.1): Composants d'une TAG simple

### II-2.1 Système de l'admission « Entrée d'air » :

Le système de l'admission comporte un système de filtration générant une perte de charge modélisée par un coefficient de perte de charge, qui peut être calé sur une perte de charge de 0,6 % à pleine puissance. Dans le cas où la turbine à gaz dispose d'un système de refroidissement en amont du compresseur la température ne doit pas descendre au-dessous de 5 à 7°C pour éviter les problèmes de givrage. Le refroidissement s'effectue par des systèmes à évaporation d'eau ou par l'intermédiaire d'un groupe frigorifique soit de compression ou à absorption. Le premier et le dernier de ces systèmes induisent une perte de charge supplémentaire de l'ordre de 0,25 %. Les deux premiers sont efficaces en cas d'air chaud et sec et utilisent l'enthalpie de vaporisation de l'eau pour refroidir l'air en accroissant son humidité à respectivement 90 % et 95 %.

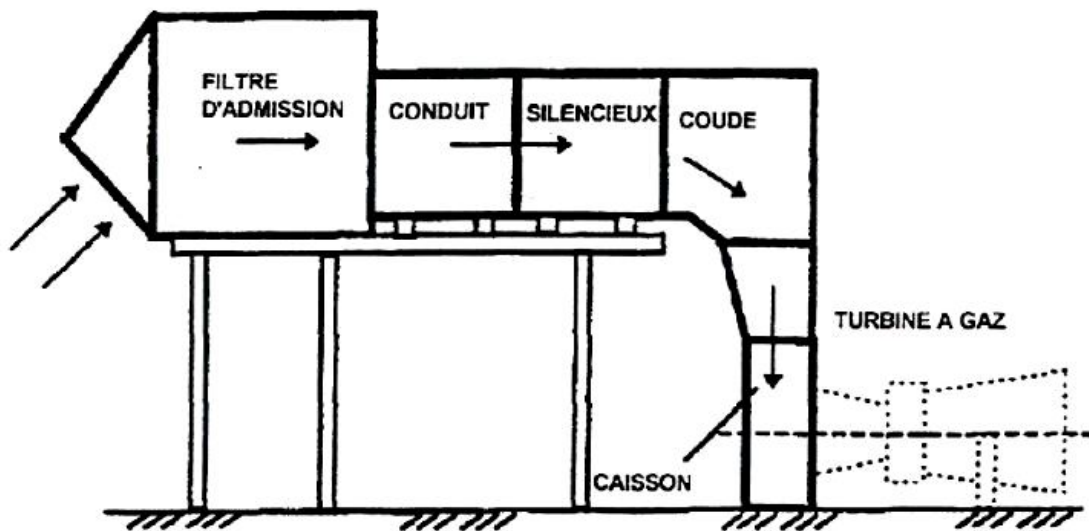


Figure (II.2): Représentation de compartiment d'admission

### II-2.2 Compresseur:

Son rôle est de comprimer l'air avant son admission dans la chambre de combustion, il utilise plus de la moitié de la puissance produite par la turbine de détente.

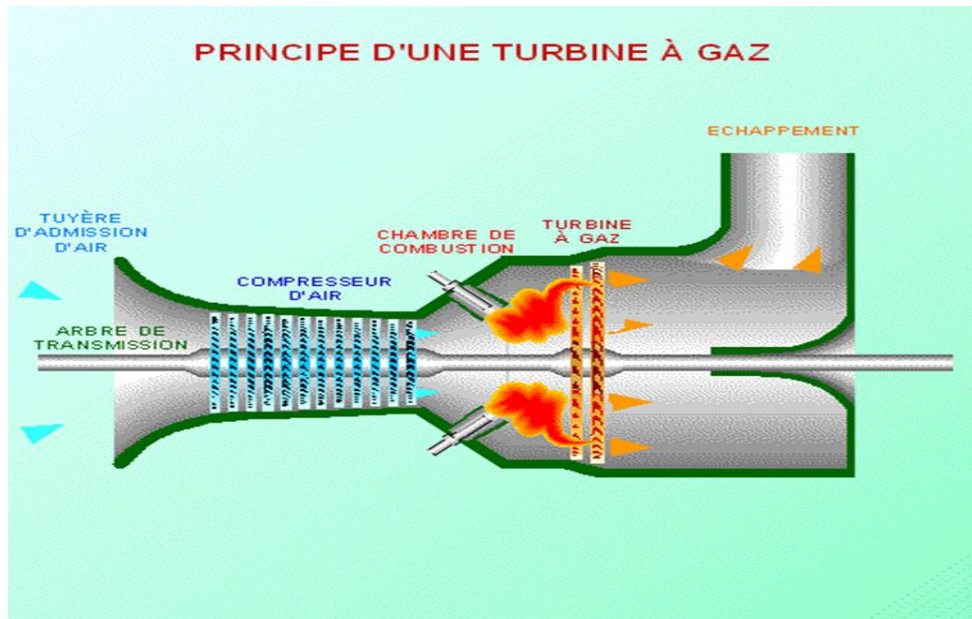


Figure (II.3) : Représentation d'un Compresseur

### II-2.3 Chambre de combustion:

Se traduit par une perte de charge de l'ordre de 6 % [BA] et par un échauffement de l'air lié à la combustion du gaz avec un rendement généralement de 98%. Comme sa connaissance conditionne la durée de vie des parties chaudes, la température en «entrée turbine» est limitée.

- La température entrée turbine ISO (telle que définie par la norme ISO) suppose que tout le débit d'air à l'entrée de la turbine à gaz passe dans la chambre de combustion et qu'il n'y a pas de prélèvement d'air sur le compresseur et que l'entrée d'air et son échappement s'effectuent sans perte de charge. C'est la valeur la plus basse.
- La température à l'entrée de la roue de turbine est calculée en considérant que l'air à la sortie de la chambre de combustion est parfaitement mélangé avec l'air de refroidissement de la directrice d'entrée. C'est une valeur intermédiaire d'environ 80 °C plus élevée que la précédente, ce qui signifie que le débit d'air de refroidissement des aubes et cavités en aval est de l'ordre de 8 % du débit total.
- La température de sortie de la chambre de combustion est calculée avec le débit d'air qui traverse les tubes à flamme, soit environ 80 % du débit d'air à l'entrée du compresseur. C'est la plus élevée avec encore environ 80 à 100 °C d'écart avec la précédente.

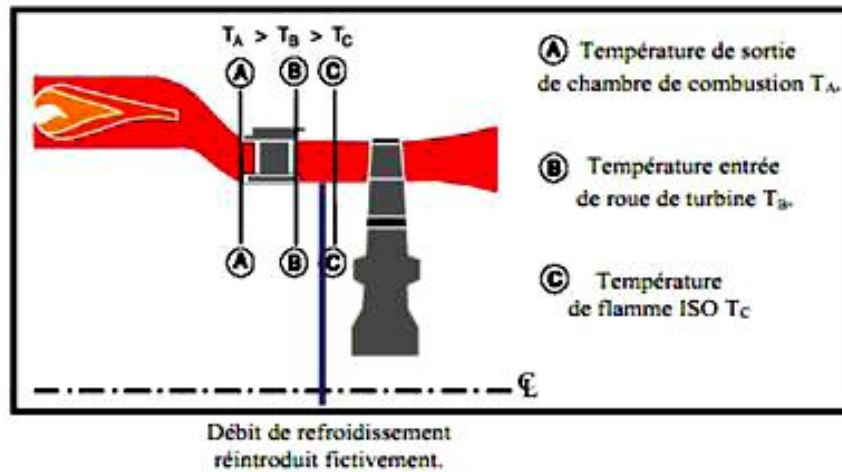


Figure (II.4) : définition de la température de la flamme

### II-2.4 Turbine de détente:

Produit du travail mécanique par la détente des gaz de combustion pour entraîner le compresseur ou l'alternateur.

### II-2.5 Echappement de la turbine à gaz:

Influe par la perte de charge qui est créée par tous les éléments en aval : diffuseur d'échappement (de 0,5 à 1 %), grille de tranquillisation (0,5 %), système de réchauffe des gaz (0,3 %), chaudière, vannes et coudes, cheminée.

### II-3 Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz:

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- elle extrait de l'air du milieu environnant .
- elle le comprime à une pression plus élevée.
- elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion .
- elle achemine la fumée 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. Ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine .

• elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus. Les conditions de conception standard sont par convention classifiées comme des conditions ISO, avec les valeurs de référence citées plus haut.

### ❖ Evolution des gaz à travers les différents composants d'une turbine à gaz:

Le compresseur (C), constitué d'un ensemble de roues munies d'ailettes, comprime l'air extérieur (E), simplement filtré, jusqu'à 10 à 15 bars, voire 30 bars pour certains modèles.

Du gaz (G), ou un combustible liquide atomisé est injecté dans la chambre de combustion (Ch) où il se mélange à l'air comprimé et s'enflamme. Les gaz chauds se détendent en traversant la turbine (T), où l'énergie thermique des gaz chauds est transformée en énergie mécanique. La dite turbine est constituée d'une ou plusieurs roues également munies d'ailettes. Les gaz brûlés s'échappent par la cheminée (Ec) à travers un diffuseur. Le mouvement de rotation de la turbine est communiqué à l'arbre (A) qui actionne d'une part le compresseur, d'autre part une charge qui n'est autre qu'un appareil (machine) récepteur (ice) (pompe, alternateur...) accouplé à son extrémité droite. Pour la mise en route, on utilise un moteur de lancement (M) qui joue le rôle de démarreur, figure (II.5). Le réglage de la puissance et de la vitesse de rotation est possible en agissant sur le débit de l'air en entrée et sur l'injection du carburant.

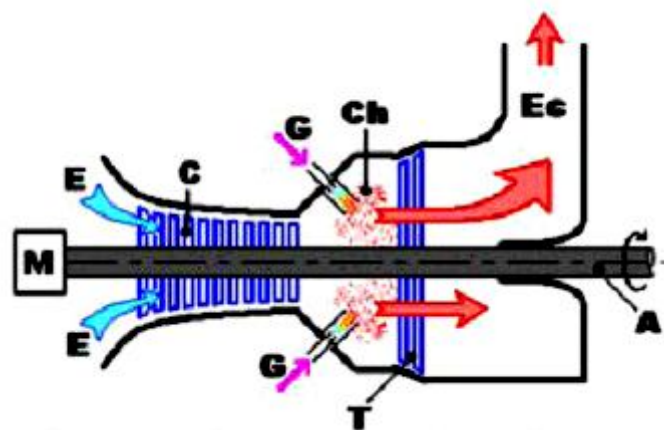


Figure (II.5): Evolution des gaz à travers une TAG

## II-4 Les technologies des turbines à gaz [TH]:

### II-4.1 Turbine à gaz à un seul 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 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.

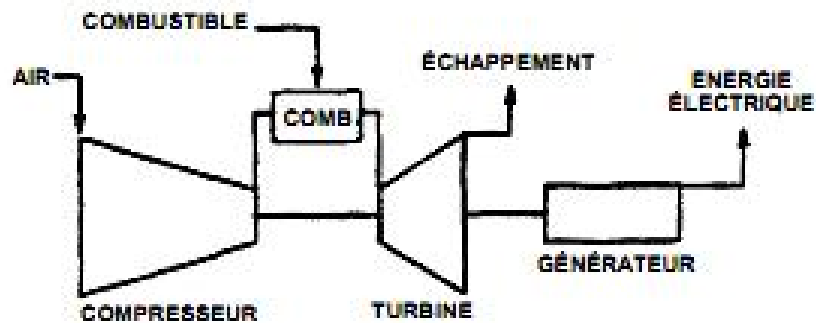


Figure (II.6): turbine à gaz à un seul arbre.

#### II-4.2 Turbine à gaz à deux arbres:

Et dans les applications où la puissance est réglée en variant la vitesse de la machine conduite, on utilise normalement des turbines à gaz à deux arbres, figure (II.7). Dans ce cas, la turbine est divisée en deux sections séparées mécaniquement :

- Une section à haute pression, qui fonctionne à vitesse constante dans une plage de puissances, et entraîne exclusivement un compresseur axial.
- Une section à basse pression liée à la machine conduite par l'intermédiaire d'un accouplement. Cette section peut changer sa vitesse de rotation indépendamment de la section turbine à haute pression

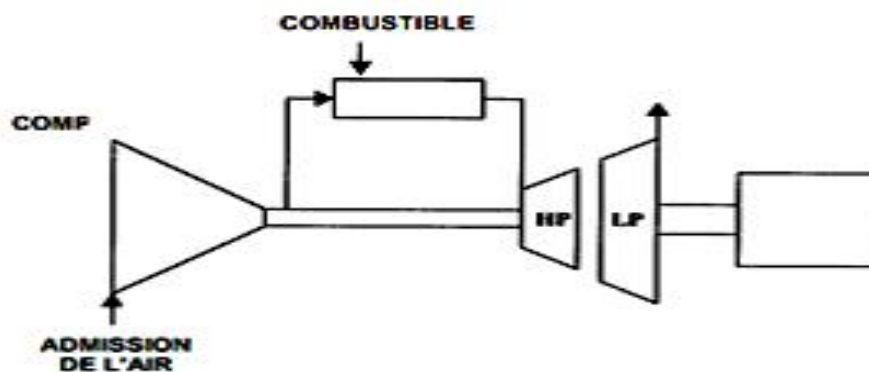


Figure (II.7): turbine à gaz à deux arbres

## II-5 Cycle thermodynamique des turbines à gaz:

Le cycle de base selon lequel une turbine à gaz fonctionne est le cycle idéal de Brayton, à travers lequel nous définissons tous les paramètres énergétiques qui régissent une turbine à gaz, et par la suite l'étude du cycle réel nous permettra d'évaluer le comportement des turbines à gaz au cours de leurs fonctionnements dans le cas pratique dans lequel on prend en considération toutes les différentes imperfections qui peuvent l'affecter.

### II-5.1 Etude de cycle idéal de turbine à gaz:

L'étude du cycle thermodynamique correspondant au schéma est particulièrement facile, cette étude présente un grand intérêt pratique, car la plupart des turbines à gaz sont réalisées à base du cycle de Brayton. La conversion de la chaleur dégagée de la combustion du carburant en énergie mécanique dans une turbine à gaz est réalisée suivant ce cycle. Il est représenté dans un diagramme h-s comme indiqué dans la figure (II.8). Le cycle de Brayton ou Joule comme comporte deux processus isentropiques (adiabatiques et réversibles) et un processus isobare, les grandeurs principales qui fixent le cycle thermodynamique de turbine à gaz sont :

- La température minimale  $T_1$  (température ambiante dans le cas du cycle ouvert)
- La température maximale  $T_3$  du cycle fixée par la température maximale admissible en entrée de la turbine
- Le rapport de pression ou taux de compression  $R_p = P_2/P_1$

On cherche à connaître les performances de l'installation en fonction des paramètres caractéristiques que sont :  $T_1$ ,  $T_3$  et  $R_p = P_2/P_1$

Dans le cycle idéal de Joule les processus : la compression (1-2) et la détente (3-4) se produisent dans le compresseur et la turbine respectivement et sont supposés isentropiques. La chaleur additionnée (2-3) dans l'échangeur de chaleur (chambre de combustion) et le rejet (4-1) se produisent à pression constante. Dans la figure (II.9) les gaz à la sortie de la turbine sont évacués dans l'atmosphère; donc le processus (4-1) ne se produit pas au sein de l'unité. D'autres hypothèses pour le cycle idéal de Joule sont comme suit :

- 1- Les pertes de pression dans les échangeurs de chaleur et les passages reliant les équipements sont négligeables.
- 2- Le fluide de fonctionnement est un gaz parfait.

Le cycle idéal de Joule dans les diagrammes p-v et T-s est montré sur les figures (II.8) respectivement.

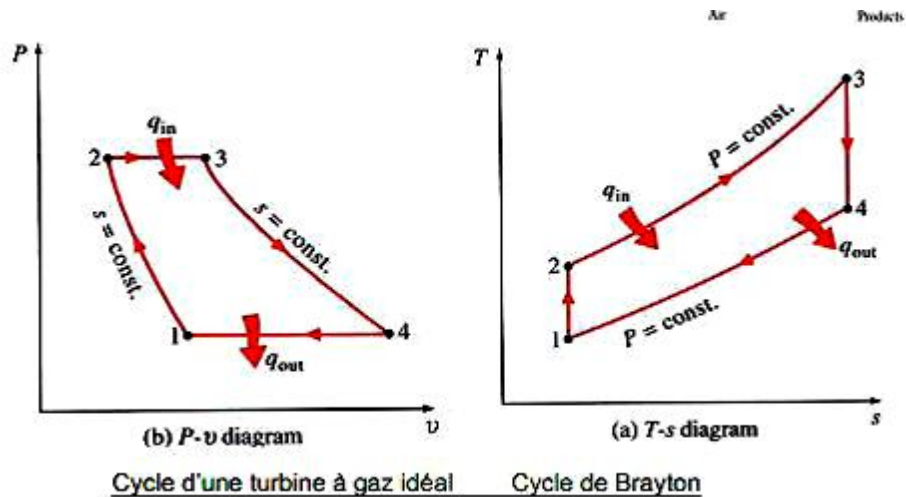


Figure (II.8): Cycle thermodynamique de turbine à gaz

En considérant que le compresseur et la turbine comme des machines parfaites dont le rendement polytropique est égal à l'unité.

**II-5.2 Etude des différentes sequences:**

**•Etude de la compression:**

La température au refoulement du compresseur est donnée par :

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \tag{II.1}$$

Le travail de compression WC, rapporté au kilogramme de fluide en évolution, a pour expression :

$$WC = h_2 - h_1 = C_p(T_2 - T_1) = C_p T_1 \left(\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right) \tag{II.2}$$

avec  $\tau = \frac{P_2}{P_1}$ , la rapport de compression

La chaleur fournie par la combustion est donnée par :

$$Q = C_p(T_3 - T_2) = C_p T_1 \left(r - \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right) \tag{II.3}$$

avec :  $r = \frac{T_3}{T_1}$

La température maximale du cycle est fixée par le constructeur. Elle varie entre 900°C et 1500°C.

**•Etude de la détente:**

La pression et la température absolue au début et en fin de la détente sont liées par la relation suivant e :

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{P_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_1} \tag{II.4}$$

Le travail fourni par la détente est écrit par la relation :

$$W_T = C_p(T_3 - T_4) = C_p T_3 \left( 1 - \frac{1}{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) \quad (II.5)$$

Le bilan énergétique global du cycle pour un kilogramme de fluide passant par la machine s'écrit :

-Le travail net récupéré au cours du cycle  $W_{net}$  est égal :

$$W_{net} = W_T - W_C = C_p(T_3 - T_4) - C_p(T_2 - T_1) \quad (II.6)$$

En mettant en évidence le rapport des températures  $T_3/T_1$  qui caractérise le niveau technologique de la machine on obtient l'expression suivante :

$$W_{net} = C_p T_1 [T_3/T_1 (1 - T_4/T_3) - (T_2/T_1 - 1)] \quad (II.7)$$

En exprimant les rapports de température  $T_4/T_3$  et  $T_2/T_1$  en fonction du rapport de compression on arrive à

$$W_{net} = C_p T_1 \left[ \frac{T_3}{T_1} \left( 1 - \frac{1}{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \left( \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right] \quad (II.8)$$

On définit le rendement thermique du cycle comme étant le rapport entre le travail net  $W_{net}$  et la quantité de chaleur  $Q$  dégagée par la combustion :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q} = \frac{C_p((T_3 - T_4) - (T_2 - T_1))}{C_p(T_3 - T_2)} \quad (II.9)$$

$$\eta_{th} = \frac{((T_3 - T_4) - (T_2 - T_1))}{(T_3 - T_2)} = \frac{r T_1 \left( 1 - \frac{1}{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - T_1 \left( \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{T_1 \left( r - \tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)} \quad (II.10)$$

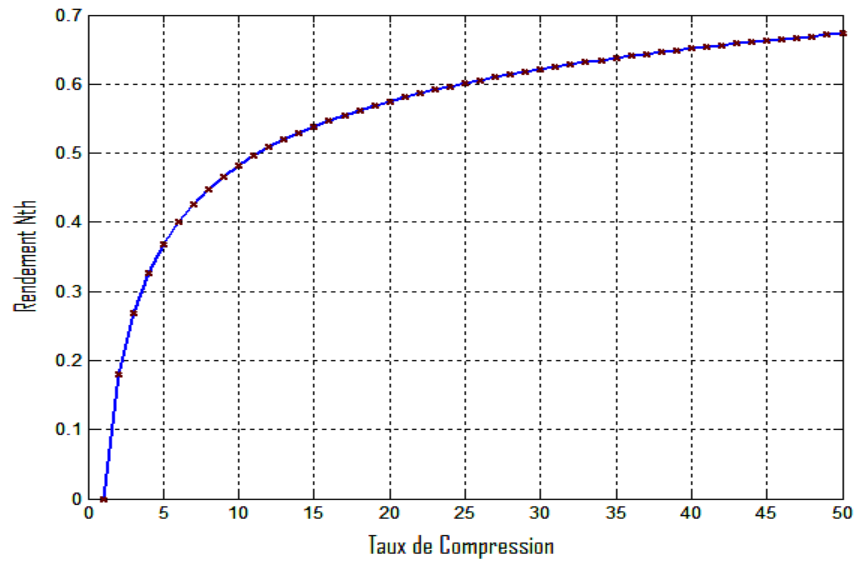
On aura donc en développant l'expression précédente :

$$\eta_{th} = \frac{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (II.11)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\tau^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (II.12)$$

Nous remarquons que le rendement thermique du cycle idéal dépend essentiellement du rapport de compression  $\tau$ .

La figure (II.8) illustre l'évolution du rendement thermique en fonction du taux de compression. On y remarque que le rendement thermique est nul pour  $R_p=1$  et croit ensuite de manière continue avec le taux de compression.



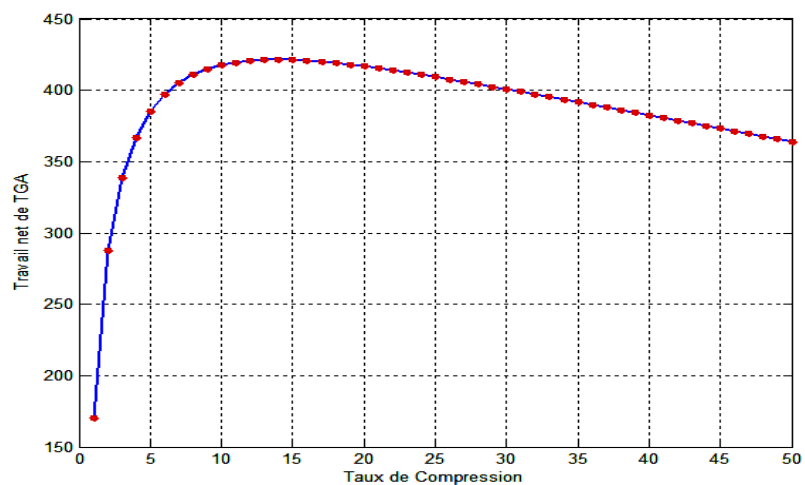
**Figure (II.9) :** Allure du rendement thermique en fonction de taux de compression dans une TAG à cycle idéale

La figure (II.9) représente l'évolution du travail net de la turbine à gaz en fonction du rapport de compression. Le taux de compression optimal qui donne le  $W_{net}$  maximal est obtenu en résolvant l'équation de la dérivée de  $W_{net}$  par rapport à  $\tau$  :

$$\frac{\partial W_{net}}{\partial \tau} = 0 \tag{II.13}$$

Et on obtient l'expression du taux de compression optimal  $\tau_{opt}$  comme suit :

$$\tau_{opt} = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}} \tag{II.14}$$



**Figure (II.10) :** Allure du rendement thermique en fonction de taux de compression dans une TAG à cycle idéale

**II-6 Conclusion:**

Cette étude nous a permis de bien comprendre l'analyse du cycle thermodynamique de la turbine à gaz idéal et réel. On a trouvé qu'il y a plusieurs facteurs qui influent directement sur les performances qui peuvent être divisés en deux catégories, Les facteurs liés à la conception de la machine tels que la température maximale du cycle et le rapport de compression et les autres que sont les conditions ambiantes qui liées avec la zone d'implantation de la turbine à gaz.

En Algérie l'industrie du pétrole utilise essentiellement les turbines à gaz pour produire l'électricité. L'objet de chapitre suivant est d'aborder d'étude les caractéristiques de démarrage de turbo-alternateur dans une centrale réelle.

# *Chapitre III*

## *Démarrage*

### *de la Turbine à Gaz,*

## Chapitre III

### Démarrage de la Turbine à Gaz

#### III-1 Introduction:

Au démarrage de la turbine à gaz de la centrale de F'KIRINA (OUM EL BOUAGHI), l'énergie de lancement est fournie par le réseau haute tension et durant ce régime transitoire, l'alternateur fonctionne en moteur synchrone à l'aide d'une alimentation en convertisseur statique de fréquence.

Dans ce chapitre, nous allons décrire le procédure de fonctionnement de l'alternateur en moteur synchrone pendant la période de démarrage ainsi que toutes les séquences de démarrage du système statique (SSD) [LZ], on présentera aussi les courbes pratiques et réelles de démarrage de la turbine à gaz dans la centrale électrique de F'KIRINA .

#### III-2 Les éléments principaux pendant le démarrage de Turbine à gaz:

##### III-2.1 Le schéma électrique:

Le schéma unifilaire électrique (parfois appelé: diagramme électrique unifilaire ) représenté graphiquement sur la figure (III.1), est une représentation simplifiée des circuits électrique d'une centrale, n'en montrant que les parties principales, donc le dessin montre le groupe opérationnel et fonctionnel des systèmes électriques.

Le schéma électrique utilise un format clair unifilaire et des symboles standards montrant de façon aussi transparente que simple le système électrique d'une centrale. Le schéma unifilaire électrique indique généralement :

- ✓ Le jeu de barre haute tension (HT) du réseau avec les disjoncteur, sectionneurs de mise à la terre qui y sont associés.
- ✓ Le transformateur principal de l'alternateur (15.75/220 KV).
- ✓ Jeu de barre moyenne tension (MT) entre l'alternateur et le transformateur principale avec les disjoncteurs, sectionneurs e mise à la terre y sont associés.
- ✓ L'alimentation de transformateur principal ou transformateur auxiliaire d'unité (6.6/0.42 KV).
- ✓ Jeu de barres BOP avec les disjoncteurs, interrupteurs et transformateurs auxiliaires.
- ✓ Le système d'excitation avec le transformateur d'excitation(15.75/0.52 KV).
- ✓ Le dispositif de démarrage statique (SSD) pour le démarrage de la turbine à gaz.
- ✓ Le bus de courant contenu avec le groupe de batterie et les chargeurs de batterie.



### III-2.2 Structure de SSD:

Le SSD est composé des équipements qui sont représentés dans le schéma figure (III.2)

- 1- L'alimentation de SSD à partir la barre MT (6.6 KV).
- 2- Système statique de démarrage (SSD).
- 3- Un transformateur de démarrage alimente le CSF en 2.1 KV.
- 4- Structure de convertisseur statique de fréquence CSF.
- 5- Un pont de Graëtz à thyristors côté réseau redresse la tension d'alimentation.
- 6- Une self de de lissage limite les ondulations de courant sur la ligne courant continu.
- 7- Un pont de Graëtz à thyristors côté machine ,ce l'ondulation qui alimente le machine en tension et fréquence variables.
- 8- Système de contrôle et de protection.
- 9- Système d'excitation au démarrage.

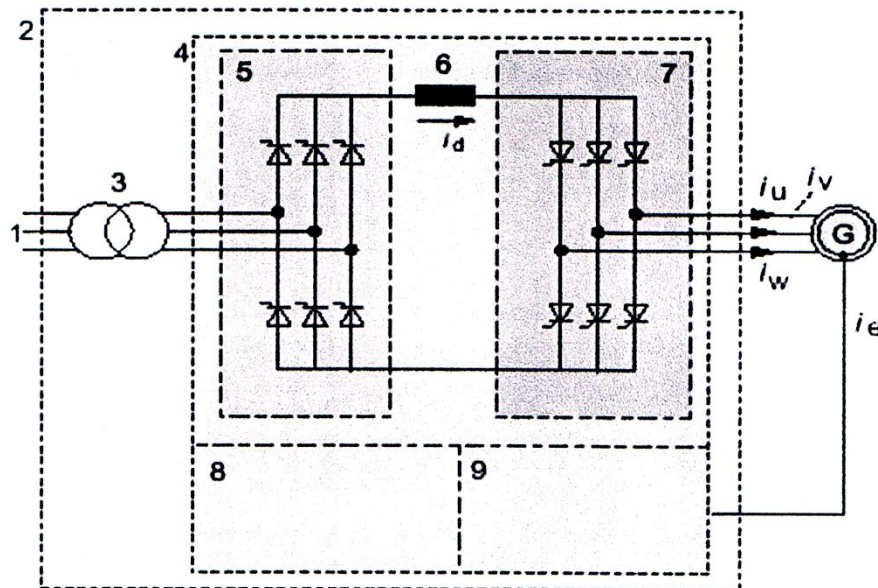


Figure (III.2) : La structure de (SSD).

#### III-2.2.1 Transformateur de démarrage:

Le transformateur est un dispositif statique utilisé pour transférer magnétiquement l'énergie électrique d'un circuit à un autre c'est-à-dire entre des circuits de tension différente.

Le transformateur de démarrage reçoit l'énergie depuis la barre MT à 6,6 KV $\pm$ 2,5% alimente le convertisseur de fréquence (CSF) par tension égale 2,1 KV $\pm$ 2,5% et de puissance 5,3 MVA.

### III-2.2.2 Convertisseur statique de fréquence (CSF):

Pour convertir l'alimentation triphasée de tension et de fréquence constantes en une tension et une fréquence variables le CSF est composé des équipements qui représentés dans le schéma unifilaire figure (III.3):

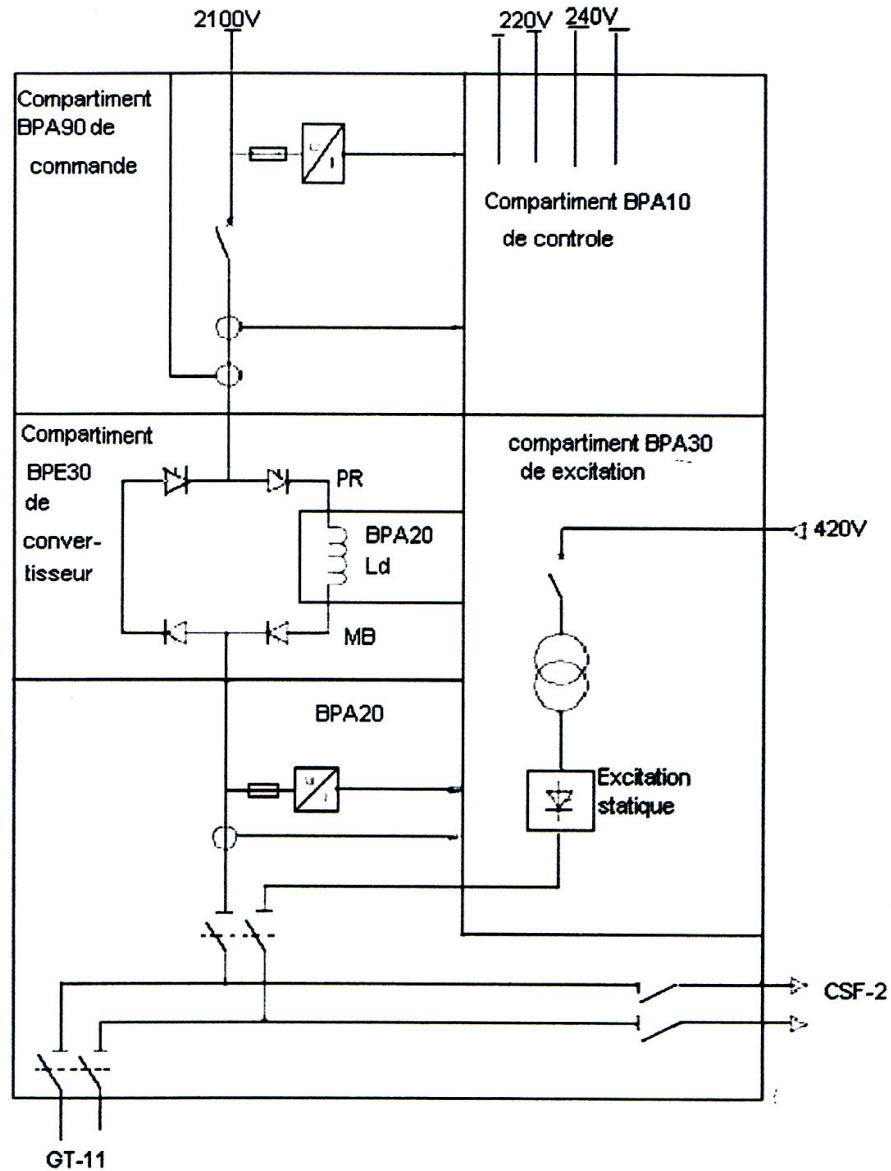


Figure (III.3): convertisseur statique de fréquence(CSF).

- Un disjoncteur moyenne tension (MVB) protège et isole le CSF du réseau ( quand l'option est retenue).
- Un pont de Graëtz à thyristors côté réseau (PR) redresse la tension d'alimentation.
- Une self de lissage limite les ondulations de courant sur la ligne courant continu causées par la différence entre la valeur instantanée de la machine et la tension du réseau. Elle permet également de limiter un éventuel courant de défaut.

- Un pont de Graëtz à thyristors côté machine (PM) alimente générateur en tension et fréquence variables.
- Un sectionneur de démarrage motorisé isole le CSF du stator du générateur et des autres CSF.
- Une armoire de commande pilote le CSF et fournit le courant d'excitation lors du démarrage.

### **III-3 Démarrage de la turbine à gaz:**

#### **III-3.1 Démarrage de la turbine à gaz en conditions normales:**

Pour démarrer la turbine à gaz, l'énergie de lancement est fournie par le réseau haute tension 220 KV via le transformateur principal et le transformateur de démarrage, le disjoncteur de l'alternateur doit être ouvert.

Avant le démarrage, vérifier que toutes les portes de l'armoire de puissance sont fermées et verrouillées, que toutes les alimentations bas niveau sont disponibles, que tous les circuits bas niveau sont fermés, qu'il n'y a aucune alarme ni aucun défaut signalé dans l'armoire de commande, c'est-à-dire que l'afficheur affiche l'heure et la date.

L'équipement est prêt à démarrer, le voyant vert correspondant à CSF est allumé sur le clavier local.

##### **III-3.1.1 Les séquences électriques de démarrage:**

- ✓ Fermeture du disjoncteur haute tension :

Avant la fermeture du disjoncteur, la prise de réglage de la charge du transformateur principale doit être mise à la position nominale ou à la position l'exploration après la synchronisation.

- ✓ Brancher des auxiliaires :

Avant le démarrage de la turbine à gaz (TG), les auxiliaires sont soutenues par la puissance du système HT, par le transformateur principal . En même temps, le transformateur de soutirage et l'alimentation du tableau 6.6 KV sont mis sous tension.

##### **III-3.1.2 Accélérer la TG jusqu'à la vitesse de synchronisation:**

L'accélération se fait automatiquement par le système de contrôle. Dans la centrale de F'kirina, l'alimentation à fréquence variable de la machine se fait à l'aide d'un convertisseur statique. Le convertisseur statique de démarrage(SSD) aidés des systèmes raccordés (alternateur, arbre de la turbine), le système permet au turboalternateur à gaz de passer de l'immobilisation à sa vitesse de rotation autonome lors du démarrage, utilise donc de l'alternateur comme un moteur synchrone pendant la période de démarrage (0-2700 tr/min).

Suivant la position initiale du rotor, on débloque la régulation du CSF en allumant les deux thyristors du pont machine qui vont permettre l'apparition d'un couple moteur dans l'entrefer de la machine synchrone. L'alternateur de la turbine est en tant que moteur synchrone par commande variable de fréquence (CSF).

A partir du système de commande du CSF, l'alternateur ( fonctionnement en moteur synchrone ) accélère la turbine à gaz jusqu'à la mise à feu des brûleurs de la TG quand la vitesse de maintien est atteinte. Après cela, le système de commande de la TG continue à accélérer la TG jusqu'à ce que la vitesse de synchronisme et la tension soient atteintes, de façon à synchroniser l'alternateur au réseau figure (III.4) et figure (III.5) .

La purge de chambre de combustion en cinq minutes à environ 833 tr/min de vitesse de la TG. Puis la vitesse diminue jusqu'à 565 tr/min du fait de la diminution de la tension pour la séquence d'allumage figure (III .4).

Lorsque la séquence d'allumage est terminée, la turbine à gaz et le CSF délivrent le couple moteur.

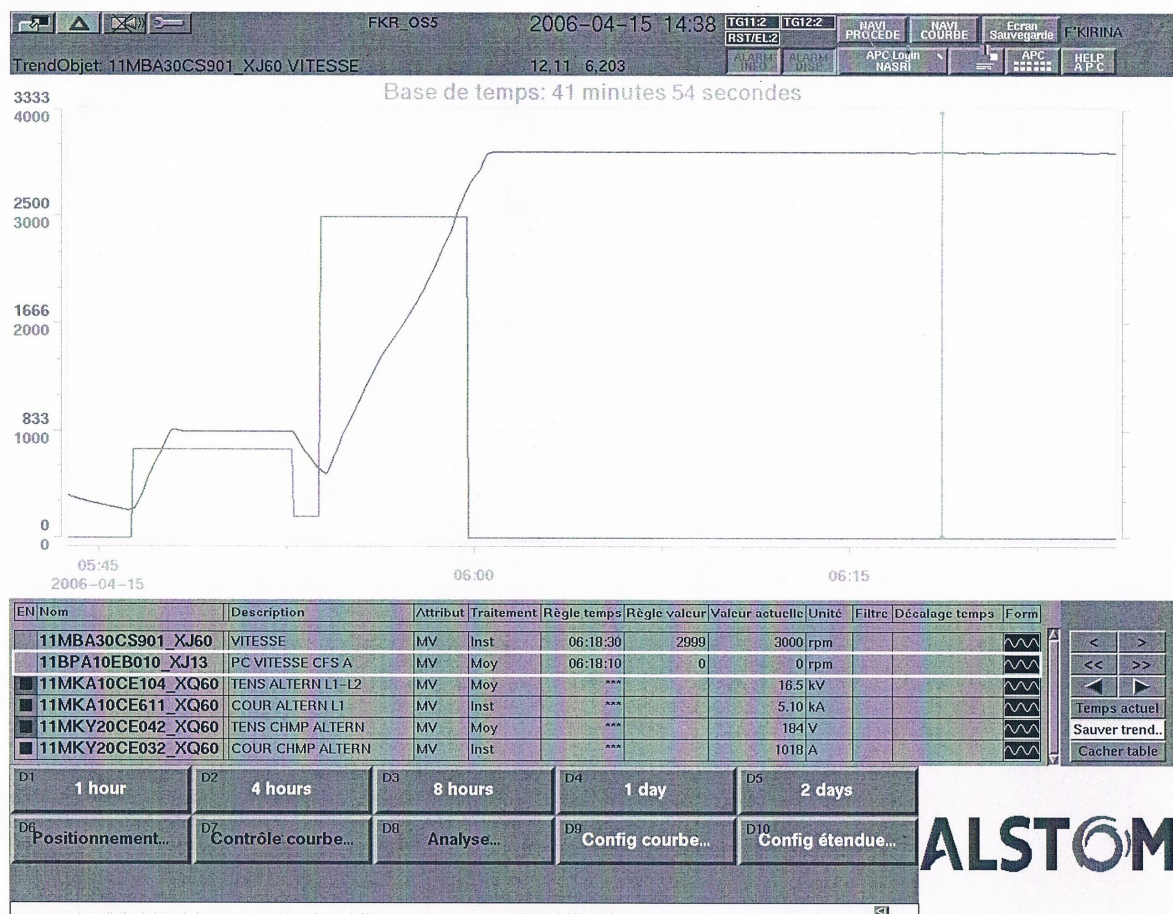


Figure (III.4): consigne et l'allure de la vitesse de l'arbre turbo-alternateur jusqu'à la vitesse de synchronisation.

A 2500 tr/min, le couple moteur du CSF est réduit doucement, de façon à ce qu'il soit égal à 0 à une vitesse de 2700 tr/min. Ceci est réalisé afin de transférer progressivement la totalité du couple moteur vers la turbine à gaz de façon ce qu'il n'y ait ni échauffement ni débordement du fuel dans la turbine à gaz.

A 2700 tr/min, apparaît l'ordre " **Arrêt CSF** ", la consigne vitesse est remise à 0, la commande du stator est bloquée, figure (III.4) [DS]. Le disjoncteur MT( MVB) s'ouvre. Puis le sectionneur s'ouvre, isolant le CSF est à l'arrêt. La turbine à gaz seule accélère la ligne d'arbre jusqu'à 3000 tr/min et enfin la machine fonctionne en alternateur par excitation statique pour produire l'énergie électrique au réseau figures (III.3 et III.4). Le temps de démarrage de la vitesse nulle à 3000 tr/min est d'environ 15 min.

### **III-3.1.3 Les courbes de fonctionnement d'alternateur pendant le démarrage de la TG:**

Avec le système de contrôle commande centralisé, toutes les valeurs et les courbes du procédé sont visualisées sur l'écran opérateur.

Les allures des courbes réelles pendant le démarrage du groupe turboalternateur de la centrale de F'kirina : la tension et le courant de l'alternateur de phase sont représentées sur les figures suivantes: figure (III.3) et figure (III.4). Dès que l'ordre «**Marche CSF**» apparaît, le système de commande du CSF ferme le disjoncteur MT (MVB). La ligne d'arbre démarre et la vitesse augmente avec la tension.

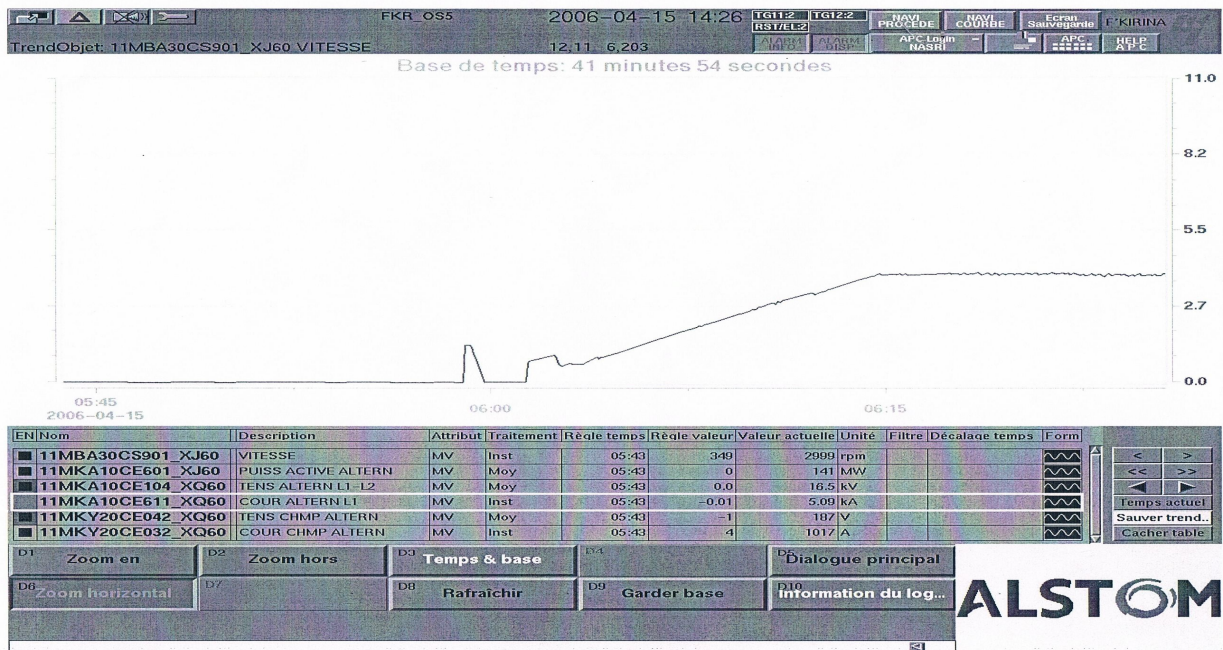
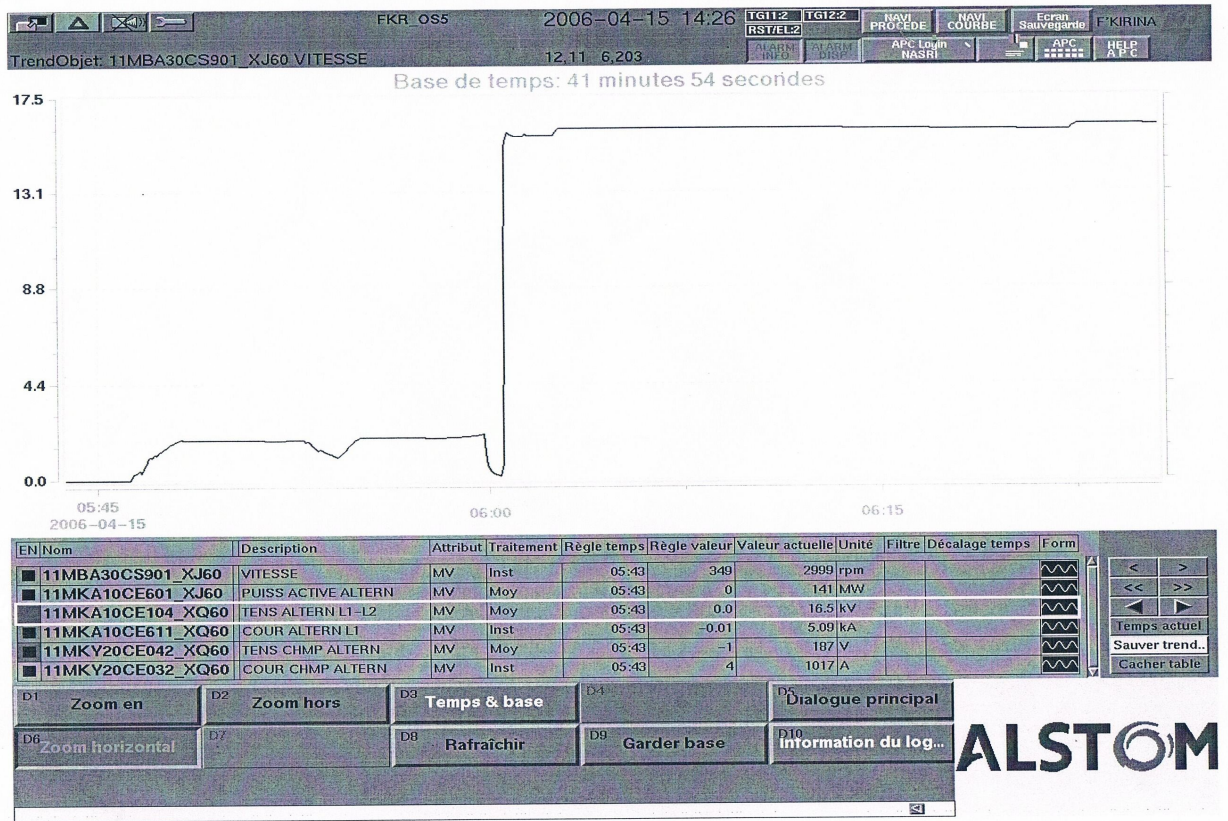


Figure (III.5): Allures de la tension et courant d'alternateur.

### III-3.2 Redémarrage de la turbine à gaz :

Lors de l'accélération, pendant l'allumage de la turbine à gaz, un déclenchement se produit. Ailleurs que dans le CSF (augmentation excessive de la des gaz d'échappement), la turbine à gaz est



Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude sur les séquences de démarrage de la turbine à Gaz GT de la centrale avec présentation de courbes réelles de fonctionnement au démarrage (et avec un redémarrage :déclenchement) du Groupe turboalternateur que nous avons relevées au sein de la centrale électrique de F'kirina.

*Conclusion*

*Générale*

## **Conclusion générale**

Dans ce mémoire, nous avons effectué une étude théorique et pratique de la centrale électrique à gaz , l'étude nous a permis de bien comprendre l'analyse de construction de la centrale à gaz et du cycle thermodynamique de la turbine à gaz idéal et pour l'étude pratique , nous a permis d'étude de près la constitution et le fonctionnement de la centrale pour produire l'énergie électrique et plus particulièrement l'étude du système de démarrage du démarrage du groupe turbo-alternateur à gaz , avec présentation de courbes réelles de fonctionnement au démarrage et avec redémarrage (déclenchement )du ce groupe dans la centrale de F'kirina.

On présente que la fonctionnement d'alternateur en moteur pendant le temps de démarrage , nous a permis de constater que ce régime transitoire dure environ 15 minutes est très important et surtout très délicat en le comparant avec la théorie .

# *Bibliographie*

**BIBLIOGRAPHIE**

[ML] **Mouhammed Laissaoui** "Amélioration des performances d'une installation de turbine à gaz par refroidissement de l'air d'admission " mémoire 2008.

[MS] **M.A Cocca – Schenatady**. NY GEPower Systems \* N. Macuci  
“Performance and Reliability Improvements dor MS5002 Gas Turbines” Nuovo pignone, Florence, Italy .

[BA] **BOUAM Abdellahthèse**« Amélioration Des Performances Des Turbines A Gaz Utilisees Dans L’industrie Des Hydrocarbures Par L'injection De Vapeur D’eau » 2008.

[TH] **Gas Turbine Handbook**: Principles and Practices by Tony Giampaolo, MSME,PE.

[LZ] **LAMMOUCHI ZAKARIA** " Etude pratique du système de démarrage statique (SSD) de la turbine à gaz GT13E2 de la central électrique de F'Kirina " mémoire 2006.

[DS] **DOCUMENTS SONELGAZ – ALSTOM F'KIRINA**, 2005/2006.