



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Électromécanique  
Électromécanique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**Akram KHADRAOUI**

Le : mardi 9 juillet 2019

## Etude technique de la centrale électrique de Chegaa-Oumache II

---

### Jury :

Dr. YAHIA Khaled	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. KHELLILI Fatiha	MAA	Université de Biskra	Président
Dr. KIYYOUR Brahim	MAA	Université de Biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Électromécanique  
Électromécanique

---

Présenté et soutenu par :  
**Akram KHADRAOUI**

Le : mardi 9 juillet 2019

## Etude technique de la centrale électrique de Chegaa-Oumache II

---

Présenté par :  
KHADRAOUI Akram

Avis favorable de l'encadreur :  
Dr. YAHIA Khaled

*Signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

KHELLILI Fatiha

*Signature*

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

## MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Électromécanique  
Électromécanique

### Thème

# Etude technique de la centrale électrique de Chegaa-Oumache II

**Proposé par : KHADRAOUI Akram**

**Dirigé par : Pr YAHIA Khaled**

### RESUMES

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le fonctionnement d'une centrale électrique à gaz, Oumache Biskra, où nous avons discuté des méthodes de production d'électricité, en particulier celle utilisée dans la centrale Oumache Biskra, qui dépend des turbines à gaz. Ensuite, nous avons vu le fonctionnement de l'alternateur synchrone et la modélisation de l'alternateur sans amortisseur.

### Abstract

The aim of this thesis is to study the operation of a gas-fired power plant, Oumache Biskra, where we discussed the methods of electricity production, in particular the one used in the Oumache Biskra plant, which depends on turbines. gas. Then we saw the operation of the synchronous alternator and the modeling of the alternator without damper.

### ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو دراسة تشغيل محطة توليد الطاقة التي تعمل بالغاز، أوماش بسكرة، حيث ناقشنا طرق إنتاج الكهرباء، وخاصة تلك المستخدمة في محطة أوماش بسكرة، والتي تعتمد على توربينات الغاز. ثم رأينا تشغيل المولد المتزامن ونمذجته دون المثبط.

# Remerciements

## Remerciements

*Je remercie Allah, le tout puissant, pour donne-moi du courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et obstacles, qui se sont hissés au travers de mon chemin, durant toutes nos années d'études.*

*Je tiens d'abord à exprimer tout ma reconnaissance à l'encadreur : **Khaled YAHIA**, je tiens à le remercie pour m'avoir encadré et en particulier pour son soutien, ses conseil et sa patience.*

*Je remercie vivement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste mémoire : Monsieur **KHELLILI Fatiha**, **KIYYOUR Brahim**, d'avoir accepté de juger mon travail et de présider le jury.*

*Nos remerciements à tous les personnels de SPE pour l'accueil qu'il mon a témoigné durant notre stage et pour leur soutien; et en particulier mon frère **KHADRAOUI Ibrahim**, nos remerciements à nos encadreurs **Mr.MAANANI Yacine**, et **Mr.HARZALI Imad**, et **Mr.HASANI Mondher** pour ses orientations, à l'intérieur de la centrale de Oumache Biskra.*

*Nous remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électrotechnique qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions tous personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail,*

*Pour toutes ces personnes, soyez-en remerciés du fond du coeur.*

# Dédicace

## Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Les deux personnes les plus chères à mon coeur, mon père et mon chère ma mère, qui m'ont apporté soutien et confort tout au long de mes études.

Mon frères et Ma soeur: **Ibrahim, Mohammed, Imad, Majda, Ishaq, Ismail**, et les enfants de mon frère **Mariam Elmobaraka, Abderrahmane**.

A tout ma famille **KHADRAOUI** et **ABSI**.

A tous mes amis chaque un à son nom, et à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail, en particulier **SAAID Abderrahmane, KHERCHOUCHE Oussama** et **HACHANI Sofiane**.

*Zha. Akram*

# **Table des matières**

## Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Table des matières.....	III
Nomenclature.....	VII
Liste des figures.....	IX
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Présentation générale de la centrale électrique Oumache</b>	
<b>I.1. Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2. Historique de la centrale Oumache.....</b>	<b>2</b>
<b>I.3. Situation géographique... ..</b>	<b>2</b>
<b>I.4. Description de la centrale électrique Oumache.....</b>	<b>3</b>
<b>I.4.1. Commun de la centrale BOP (Balance Of Plant).....</b>	<b>3</b>
<b>I.4.1.1. Système de Gaz Combustible FGS (Fuel gas system).....</b>	<b>3</b>
<b>I.4.1.2. Système de fuel combustible... ..</b>	<b>3</b>
<b>I.4.1.3. Station d’Air comprimé.....</b>	<b>4</b>
<b>I.4.1.4. Traitement de l’eau WT.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.4.A. Système d’eau brute.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.4.B. Système d’eau de Service.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.4.C. Système d’eau Déminéralisée.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.4.D. Système d’eau Potable.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.5. Groupes électrogènes.....</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1.6. Réseau eau incendie.....</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1.7. Système de contrôle et visualisation des équipements électriques</b> <b>(ECMS).....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1.8. Système de contrôle distribué (Distributed Control System DCS).....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1.8.A. DCS des BOP.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1.8.B. DCS de la turbine à gaz.....</b>	<b>9</b>

<b>I.5. Package de la Turbine à gaz.....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.1. Turbine à gaz SGT5-4000F.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.1.1. Le Compresseur.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.1.2. La chambre de combustion.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.1.3. La Turbine à gaz.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.2. Auxiliaires de la turbine à gaz.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.3. Générateur SGen5-1000A.....</b>	<b>13</b>
<b>I.6. Description d'excitation (SEE: Equipement statique d'excitation).....</b>	<b>15</b>
<b>I.7. Système de démarrage statique (SFC: Convertisseur de fréquence de démarrage).....</b>	<b>16</b>
<b>I.7.1. Principes de fonctionnement du convertisseur de fréquence statique.....</b>	<b>16</b>
<b>I.7.2. Avantages de l'emploi d'un démarreur statique.....</b>	<b>18</b>
<b>I.8. Conclusion.....</b>	<b>19</b>

## **Chapitre II : Production d'énergie électrique**

<b>II.1. Introduction.....</b>	<b>20</b>
<b>II.2. Historique sur la production d'électricité.....</b>	<b>20</b>
<b>II.3. Modes de production de l'énergie Electrique.....</b>	<b>20</b>
<b>II.3.1. Centrale éolienne.....</b>	<b>20</b>
<b>II.3.2. Centrale solaire.....</b>	<b>21</b>
<b>II.3.3. Centrale géothermique.....</b>	<b>21</b>
<b>II.3.4. Centrale nucléaire.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3.5. Centrale hydraulique.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3.6. La centrale à gaz à cycle combiné.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.7. Centrale diesel.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.8. Centrale thermique.....</b>	<b>24</b>
<b>II.3.9. Centrale biomasse.....</b>	<b>24</b>
<b>II.4. Production de l'énergie électrique en Algérie.....</b>	<b>25</b>



<b>II.5. Production de l'énergie électrique en centrale d'Oumache.....</b>	<b>25</b>
<b>II.5.1. Démarrage de la turbogénérateur.....</b>	<b>25</b>
<b>II.5.1.A. Démarrage.....</b>	<b>25</b>
<b>II.5.1.B. Arrêt.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.2. Protection de turbine à gaz.....</b>	<b>27</b>
<b>II.6. Procédure de démarrage.....</b>	<b>27</b>
<b>II.6.1. Sélections avant démarrage.....</b>	<b>28</b>
<b>II.6.2. Vérification des critères de déclenchement pour le démarrage de la turbine à gaz.....</b>	<b>29</b>
<b>II.6.3. Préparation pour le démarrage de la turbine à gaz.....</b>	<b>30</b>
<b>II.6.4. Purge de la conduite de gaz d'échappement par opération SFC.....</b>	<b>31</b>
<b>II.6.5. Démarrage du système de combustible choisi, Synchronisation du générateur avec le réseau.....</b>	<b>32</b>
<b>II.6.6. Synchronisation du générateur avec le réseau.....</b>	<b>33</b>
<b>II.7. Conclusion.....</b>	<b>33</b>

### **Chapitre III : Etude et modélisation de l'alternateur**

<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2. Généralité sur les machines synchrones.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.1. Machine synchrone.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.2. Moteur synchrone.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.3. Alternateur synchrone.....</b>	<b>34</b>
<b>III.3. Histoire de l'alternateur.....</b>	<b>35</b>
<b>III.4. Description des parties essentielles d'un alternateur.....</b>	<b>36</b>
<b>III.4.1. Le rotor.....</b>	<b>36</b>
<b>III.4.1.A. Pôles saillants.....</b>	<b>36</b>
<b>III.4.1.B. Pôles lisses.....</b>	<b>36</b>
<b>III.4.2. Le stator.....</b>	<b>37</b>
<b>III.5. Principe de l'alternateur.....</b>	<b>37</b>
<b>III.5.1. Principe des alternateurs de grande puissance.....</b>	<b>38</b>
<b>III.6. Force électromotrice.....</b>	<b>38</b>

---

III.6.1. Forces électromotrices théoriques.....	38
III.6.2. Force électromotrice réelle.....	39
III.7. Excitation des alternateurs.....	39
III.7.1. L'excitation dynamique.....	39
III.7.2. L'excitation statique.....	40
III.8. Refroidissement des alternateurs.....	40
III.9. Modèle équivalent de l'alternateur.....	40
III.10. Couplage.....	40
III.10.1. Couplage des alternateurs.....	40
III.10.2. Couplage des alternateurs sur le réseau.....	41
III.11. Bilan de puissance d'un alternateur.....	42
III.11.1. Puissance utile $P_u$ .....	42
III.11.2. Puissance absorbée $P_a$ .....	42
III.11.3. Différentes pertes de l'alternateur.....	42
III.11.4. Représentation graphique des différentes pertes.....	42
III.11.4.A. Les Pertes supplémentaires.....	43
III.11.4.B. Les pertes dites mesurables.....	43
III.11.5. Rendement.....	43
III.12. Modélisation de la génératrice synchrone (alternateur sans amortisseur).....	44
III.12.1. Modèle de la génératrice synchrone à vide.....	45
III.12.2. Résultats de fonctionnement à vides de l'alternateur.....	45
III.12.3. Modèle de la génératrice synchrone en charge.....	46
III.12.3.A. Equation du mouvement.....	46
III.12.4. Résultats de fonctionnement en charge de L'alternateur.....	47
III.12.5. Les résultats.....	48
III.13. Conclusion.....	48
Conclusion générale.....	49
Annexe.....	50
Bibliographie.....	55

---

# **Nomenclature**

## Nomenclature

SPE:	Société Algérienne de Production d'Electricité.
BOP:	Balance of Plant.
FGS:	Fuel gas system.
ESDV:	Emergency shut down valve.
BSDG:	Black start diesel group.
EDG:	Emergency diesel group.
GT:	Gas turbine.
WT:	Water treatment.
DCS:	Distributed Control System.
ECMS:	Electrical control & monitoring system.
EWS:	Engineering work station.
OWS:	Operator Work Station.
GIS:	Gas Insulated Switchgear.
SNCC:	Système Numérique de Contrôle et de Commande.
HIS:	Human Interface System.
FCS:	Field Control Station.
SPPA:	Siemens Power Plant Automation.
OAC:	Complète le circuit de ventilation du générateur.
SEE:	Equipement statique d'excitation.
SFC:	Convertisseur de fréquence de démarrage.
ESV:	La vanne d'arrêt d'urgence.
PG-CV:	La vanne régulatrice pilote.
PM-CV:	La vanne de commande du mode de pré-mélange.
GN:	le système de gaz naturel.
F-é-m:	Force Electro-Motrice.

A.C	Alternative courant.
D.C:	Directe courant.
abc:	Modèle réelle de la machine triphasé.
d-q:	Modèle de Park.
Rs:	Résistance statorique.
Ld:	Inductance sur l'axe d.
Lq:	Inductance sur l'axe q.
id, iq :	Composantes du courant statorique dans le repère (d,q).
Vd, Vq :	Composantes du tension statorique dans le repère (d,q).
Id:	Courant de l'axe d.
Iq:	Courant de l'axe q.
$\omega_m$ :	La pulsation mécanique du rotor.
p:	Nombre de paires de pôles.
$\omega_r$ :	Vitesse de rotation mécanique.
Cem:	Couple électromagnétique.
J:	Moment d'inertie.
f:	Coefficient de frottement.
Kd :	Facteur de distribution.
Kf :	Facteur de forme.
X :	Réactance synchrone
Cos $\varphi$ :	Facteur de puissance imposé par la charge.
Tm :	Couple utile sur l'arbre en N.m.

# Liste des figures

## Liste des figures

### Chapitre I : Présentation générale de la centrale électrique Oumache

<b>Figure I-1:</b> Photo satellite du site de la centrale d'Oumache .....	2
<b>Figure I-2:</b> Poste Gaz .....	3
<b>Figure I-3:</b> Station de traitement des eaux .....	4
<b>Figure I-4:</b> Station d'air comprimé .....	4
<b>Figure I-5:</b> Station de traitement des eaux .....	6
<b>Figure I-6:</b> Groupes électrogènes .....	6
<b>Figure I-7:</b> Réservoirs d'eau d'incendie .....	7
<b>Figure I-8:</b> Architecture de DCS Centum VP .....	8
<b>Figure I-9:</b> Gestion du système de démarrage statique et le système d'excitation du générateur (SFC & SEE).....	10
<b>Figure I-10:</b> Vue en 3D d'une centrale à gaz .....	10
<b>Figure I-11:</b> Turbine à gaz SGT5-4000F .....	11
<b>Figure I-12:</b> Le Compresseur (15 étages) .....	11
<b>Figure I-13:</b> La chambre de combustion .....	12
<b>Figure I-14:</b> Vue en 3D de la TG et ses auxiliaires .....	13
<b>Figure I-15:</b> Ensemble alternateur SGen5-1000A .....	14
<b>Figure I-16:</b> Section alimentation de l'équipement d'excitation SEMIPOL (ERR).....	15
<b>Figure I-17:</b> Vue d'ensemble : système SFC/SEE typique .....	16
<b>Figure I-18:</b> Circuit d'alimentation du convertisseur de fréquence statique .....	17
<b>Figure I-19:</b> Schéma général (SFC/SEE) .....	18
<b>Figure I-20:</b> les courbes de système .....	19

### Chapitre II : Production d'énergie électrique

<b>Figure II.1:</b> Schéma d'ensemble d'une éolienne .....	20
--	----

<b>Figure II.2:</b> Schéma d'une installation photovoltaïque connecté au réseau .....	21
<b>Figure II.3:</b> Principe de fonctionnement de la centrale bouillante .....	21
<b>Figure II.4:</b> Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire avec aéroréfrigérant...22	
<b>Figure II.5:</b> Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire sans aéroréfrigérant....22	
<b>Figure II.6:</b> La centrale hydraulique .....	23
<b>Figure II.7:</b> centrale à gaz à cycle combiné .....	23
<b>Figure II.8:</b> Schéma d'une centrale thermique destinée à la production de l'électricité.....24	
<b>Figure II.9:</b> Schéma de principe d'une usine basée sur l'exploitation de la biomasse.....24	

### Chapitre III : Etude et modélisation de l'alternateur

<b>Figure III.1:</b> Les fonctionnements machines synchrone.....	34
<b>Figure III.2:</b> Alternateur année 1913.....	35
<b>Figure III.3:</b> La forme d'alternateur dans 1919.....	35
<b>Figure III.4:</b> Rotor à pole saillant .....	36
<b>Figure III.5:</b> Rotor à pole lisse .....	36
<b>Figure III.6:</b> Stator d'un alternateur .....	37
<b>Figure III.7:</b> Schéma équivalent de l'alternateur .....	40
<b>Figure III.8:</b> Couplage des alternateurs .....	41
<b>Figure III.9:</b> Couplage d'une machine synchrone sur un réseau .....	41
<b>Figure III.10:</b> Les différentes pertes .....	43
<b>Figure III.11:</b> Bilan des puissances d'un alternateur .....	43
<b>Figure III.12:</b> Représentation d'un alternateur dans le repère (d q).....	44
<b>Figure III.13:</b> Modèle de l'alternateur à vide.....	45
<b>Figure III.14:</b> Résultats de simulation de l'alternateur à vide .....	46
<b>Figure III.15:</b> Modèle de l'alternateur en charge (R -L).....	47
<b>Figure III.16:</b> Résultats de simulation de l'alternateur en charge .....	48
<b>Figure III.17:</b> Bloc de transformation de Park inverse (d; q) vers (abc).....	51
<b>Figure III.18:</b> Bloc de transformation de (id; iq) vers (iabc).....	51



# **Introduction générale**

## Introduction générale

Il est nécessaire de générer l'électricité d'une manière efficace et continue. Il doit bâtir des industries capables à générer de l'électricité en grande quantité pour répondre à la consommation progressive d'électricité. L'obtention de l'énergie électrique est par la transformation d'énergie mécanique engendrée par une turbine à gaz, une turbine à vapeur dans les centrales thermique ou par turbine hydroélectrique dans les centrales hydrauliques, cette énergie mécanique présente la grandeur de sortie de la turbine et la grandeur d'entrée de l'alternateur et le couplage entre turbine et alternateur s'appelle turbo-alternateur. Actuellement, la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde est générée par les turbo-alternateurs, ces derniers sont constitués par une turbine et un alternateur qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique.

L'objectif de ce mémoire est de présenter d'une manière exhaustive une de centrales, c'est la centrale d'Oumache à la wilaya de Biskra. Pour ce faire, le travail de mémoire est reparti en trois chapitres:

Le premier chapitre, donne une présentation générale sur la centrale de turbines à gaz à cycle simple (TG) d'Oumache Biskra et les différents composants nécessaires pour assurer le fonctionnement de la centrale.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter dans un premier partie les différents types de centrales électriques existants, et dans le seconde en se concentrant sur les conditions de production d'électricité en centrale Oumache Biskra.

Le troisième chapitre est consacré à une étude extensive le principe de fonctionnement de l'alternateur et simulation l'alternateur synchrone (sans amortisseur)

A la fin de ce chapitre, nous terminons le présent mémoire par une conclusion générale et une étude bibliographique avec d'annexe.

**Chapitre I :**  
**Présentation générale de la**  
**centrale électrique**  
**Oumache**

# Chapitre I : Présentation générale de la centrale électrique Oumache

## I.1. Introduction

Le projet du central cycle simple Oumache Biskra a été construite en vue de renforcer le réseau national par l'alimentation en énergie électrique. Elle est composée de deux groupes turbo-alternateurs d'une puissance unitaire de 228 MW, totalisant une capacité installée de 456.89 MW. Et s'inscrit dans le cadre du plan d'urgence pour développer le parc de production par une puissance additionnelle de 1600 MW.

Il a pour objectif :

- De répondre à la demande croissante d'énergie.
- D'assurer la continuité et la qualité de service.
- D'assurer la sécurité de l'alimentation en énergie électrique de la région.
- Assurer un appoint au réseau national interconnecté.

## I.2. Historique de la centrale Oumache

En 31 octobre 2013, Hanwha Engineering & Construction a annoncé qu'il a décroché le cahier des charges de la Société Algérienne de Production d'Electricité (SPE) filiale de la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (SONELGAZ) pour construire une centrale électrique d'une puissance totale de 456.89 MW.

Hanwha Engineering & Construction a l'expérience de la construction réussie d'une usine de raffinerie du pétrole à Arzew en Algérie en 2008 (projet su SONATRCH).

Siemens a été choisi par la société sud-coréenne Hanwha Engineering & Construction Corporation pour raccorder en un temps record la centrale électrique qu'elle construit à Biskra en Algérie.

Siemens a donc remporté le contrat de fourniture de deux turbines à gaz SGT5 4000F (2 x 228 MW) avec sous-station mobile 400 kV destinée à l'évacuation sur le réseau électrique algérien de l'énergie produite par la centrale électrique de Biskra. Cette dernière sera exploitée par la Société de production de l'électricité SPE.

## I.3. Situation géographique

L'unité de production d'électricité se trouve dans la Daïra d'Oumache (wilaya de Biskra) située à 430 km au Sud-Est d'Alger, et à 65 Km de la ville BISKRA.



Figure I-1: Photo satellite du site de la centrale d'Oumache.

## I.4. Description de la centrale électrique Oumache

### I.4.1. Commun de la centrale BOP (Balance Of Plant)

#### I.4.1.1. Système de Gaz Combustible FGS (Fuel gas system)

La fonction du circuit de gaz de combustion est d'alimenter efficacement les turbines à gaz en gaz Natural de combustion à la pression et à la température requises en répondant à toutes les exigences de sécurité [1].

Le circuit ordinaire de gaz à combustion est constitué de [1]:

- A. Vanne principale de sécurité ESDV une (1) X 100% : Elle doit être normalement fermée afin d'empêcher toute fuite de gaz dans un délai de 5 secondes en cas d'urgence.
- B. Séparateur de gaz de combustion deux (2) x 100% : Il est également appelé Séparateur et est conçu pour le retrait de l'humidité et des matières solides présentes dans le gaz combustible via le Cyclone à haut rendement.
- C. Filtre de gaz de combustion deux (2) x 100% : Il est conçu pour éliminer les poussières les plus fines et l'humidité après le retrait de l'humidité et des matières solides via le séparateur.
- D. Dispositif de comptage de gaz de combustion un (1) x 100%.
- E. Réchauffeur au gaz de combustion deux (2) x 100%.
- F. Poste de réduction pression de gaz quatre (4) x 50% (60/32 bars).



**Figure I-2:** Poste Gaz.

#### I.4.1.2. Système de fuel combustible

Le système de fuel combustible (mazoute) est composé de [1]:

- A. Le système de déchargement de fuel (dépotage).
- B. Le système d'alimentation en fuel combustible pour la turbine à gaz (Station de transfert).
- C. Le système d'alimentation de fuel combustible pour les groupes diesel BSDG.
- D. Le système de décantation de fuel combustible.



**Figure I-3:** Station de traitement des eaux.

### I.IV.1.3. Station d'Air comprimé

La fonction du système d'air comprimé a pour but d'assurer un approvisionnement fiable pour le processus (équipement) et le service d'air en quantité et en qualité convenable pour différents consommateurs de la zone d'usine, sauf les deux turbines à gaz. Le système dédié d'air comprimé pour les GT sera fourni par le constructeur des turbines. Le système d'air de processus et de services est fourni comme un équipement commun pour l'usine afin d'améliorer la disponibilité et la fiabilité et d'optimiser l'utilisation. L'air de processus (pour les équipements) sera utilisé pour l'équipement et la commande de la station. Et également pour des soupapes de régulation, un pilote pneumatique et des analyseurs de gaz de combustion, etc. L'air de services sera utilisé pour le fonctionnement mécanique, des outils d'air, des clés de serrage lors du fonctionnement ainsi que la maintenance [1].



**Figure I-4:** Station d'air comprimé.

### **I.4.1.4. Traitement de l'eau WT**

Ce compose de quatre système principaux [1]:

#### **I.4.1.4.A. Système d'eau brute**

La fonction du système d'eau brute est d'alimenter en eau brute la station de prétraitement des eaux pour produire l'eau de service.

Le système stocke l'eau brute issue (eau de puits) des pompes de puits dans le réservoir de tampon de l'eau brute destiné à la station de prétraitement des eaux.

Le système d'eau brute se compose de les deux (2) pompes à eau de puits de centrifuges submersibles de capacité 100% / communes, un (1) réservoir de tampon d'eau brute de type de toit conique, cylindrique et verticale de capacité 100% / commun, les deux (2) pompes de transfert d'eau brute de type de centrifuge horizontale de capacité 100% / communes et la tuyauterie associée et les afférents. Le système d'eau brute sera géré et contrôlé par le DCS (Distributed Control System).

#### **I.4.1.4.B. Système d'eau de Service**

Le système d'eau de service reçoit l'eau depuis l'usine de prétraitement d'eau. L'eau est stockée dans les réservoirs de stockage pour l'eau de service et elle est distribuée aux différentes usines d'utilisateurs comme suivantes :

1. Station de traitement d'eau potable.
2. Usine d'eau déminéralisée.
3. Système de distribution d'eau de service.
4. Système contre l'incendie.

#### **I.4.1.4.C. Système d'eau Déminéralisée**

La fonction du système d'alimentation en eau déminéralisée stocke l'eau déminéralisé produite dans la station de traitement des eaux dans le réservoir de stockage d'eau déminéralisée et alimente en eau déminéralisée les utilisateurs de l'usine à travers les réseaux d'eau déminéralisée de sortie de la station. Le système d'alimentation en eau déminéralisée sera géré et contrôlé par le DCS.

#### **I.4.1.4.D. Système d'eau Potable**

La fonction du système d'alimentation en eau potable consiste à stocker l'eau dans le réservoir de stockage et à alimenter en eau les différents utilisateurs de l'usine en eau à travers le réseau de sortie de la station de traitement des eaux. Le système d'alimentation en eau potable sera géré et contrôlé par le DCS.





**Figure I-5:** Station de traitement des eaux.

### I.4.1.5. Groupes électrogènes

En cas de problème dans le réseau électrique algérien ; 6 moteurs diesel entraînant chacun un alternateur permettent un redémarrage rapide de la centrale (ils délivrent une tension de 6.6 KV pour l'alimentation en MT avec une puissance de 2 MW) [1].



**Figure I-6:** Groupes électrogènes.

### I.4.1.6. Réseau eau incendie

La protection incendie de l'ensemble des installations est réalisée par un Système de détection permettant l'extinction du feu dans les plus brefs délais, où cela réseau eau incendie Couvrant l'ensemble de l'usine et protégeant les transformateurs, les réservoirs de carburant et divers bâtiments d'usine [1] [21].

Mais à l'intérieur dans un compartiment le système de protection incendie par injection de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est conçu pour éteindre les incendies en réduisant rapidement la teneur en oxygène de l'air dans un compartiment à moins de 15 % (en volume) par rapport à une concentration normale dans l'air ambiant située à environ 21 % ; cette concentration est insuffisante pour permettre le phénomène de combustion. La conception de ce système est conforme aux exigences contenues dans les recommandations de protection incendie et tient compte du risque d'autoallumage dû à un éventuel contact avec les pièces métalliques portées à haute température. Il maintient la concentration au



niveau nécessaire à l'extinction pendant une période prolongée afin de minimiser le risque d'un nouveau feu [1] [21].

Il y a trois réservoirs d'eau d'incendie: deux réservoirs (primaire) d'une capacité de 4000 m<sup>3</sup>, et un réservoir (supplémentaire) d'une capacité de 1300 m<sup>3</sup>.



**Figure I-7:** Réservoirs d'eau d'incendie.

### I.4.1.7. Système de contrôle et visualisation des équipements électriques (ECMS)

C'est un système qui peut contrôler et surveiller une installation électrique dans une centrale en utilisant des stations d'engineering EWS, des stations opérateurs OWS, un réseau de communication optique... etc.

- ❖ Les équipements électriques principaux de ce système [3]:
  - a. Le poste haute tension HT 400 kV GIS (Gas Insulated Switchgear).
  - b. Le transformateur principal.
  - c. Le transformateur de soutirage.
  - d. Les groupe diesel de secour BSDG et EDG.
  - e. Les appareille de commutation moyenne tension MV 6.6 kV.
  - f. Les appareille de commutation basse tension LV 400 V.
  - g. Chargeur des batteries.
  - h. Alimentation sans coupure UPS.
  
- ❖ Les fonctions principales de l'ECMS [3]:
  - a. Le contrôle.
  - b. La supervision.
  - c. Diagnostique.
  - d. Mesure de l'énergie.
  - e. Gestion des alarmes.
  - f. Création des tendances, rapports....

### I.4.1.8. Système de contrôle distribué (Distributed Control System DCS)

Un DCS (Distributed Control System) ou un SNCC (Système Numérique de Contrôle et de Commande) est un système qui permet à la fois la supervision et le contrôle en temps réel des procédés industriels. La supervision consiste à traduire l'état de chaque instrument existant sur le site sous des formes différentes et les associes à des vues ou à des graphiques descriptives afin d'avoir sur OWS (Operator Work Station) un site animé en temps réel et cela pour but de pouvoir donner à l'opérateur la possibilité de surveiller le site et de faire les interventions nécessaires au moment demandé(changer la consigne d'un PID ,le mode Auto\Man, l'acquiescement des alarmes...etc. ). Le contrôle en temps réel consiste à utiliser la régulation ou le calcul séquentiel à fin d'avoir un système répondant aux exigences du cahier des charges. Dans la centrale électrique Oumache il y a deux DCS différents, un pour les BOP et le deuxième pour la turbine à gaz et leurs auxiliaires [3].

#### I.4.1.8.A. DCS des BOP

C'est un DCS de la marque Japonaise YOUKOGAWA avec la dernière génération CENTUM VP R5.03.20.

Les principaux éléments sont [3]:

- Engineering Work Station EWS : Principalement utilisée comme un poste pour tester, modifier et charger la configuration. Aussi il peut être utilisé comme une station opérateur.
- Human Interface System HIS : Principalement utilisée comme poste de conduite de l'opérateur. Cette station peut également supporter les fonctions ingénieur de configuration et de maintenance.
- Field Control Station FCS : La Station de contrôle FCS réalise les fonctions de contrôle (régulation et calcule séquentiel).
- V-Net : Bus de contrôle haute vitesse temps réel, relie les différentes stations du système, FCS, HIS, BCV et CGW.
- V-Net IP : Bus de contrôle conforme a la IEEE802.3 et TCP/IP communication protocole. Il supporte une vitesse de transmission de 1 Gbps ou 100 Mbps.

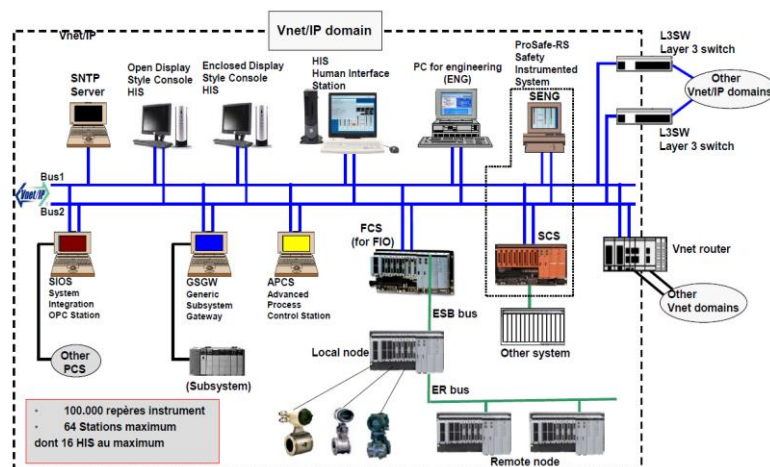


Figure I-8: Architecture de DCS Centum VP.

### **I.IV.1.8.B. DCS de la turbine à gaz**

C'est le DCS principal qui gère les différentes opérations de fonction de la turbine à gaz, c'est le SPPA- T3000 de Siemens (SPPA : Siemens Power Plant Automation)

❖ Les principaux éléments sont [3]:

- Interfaces utilisateur (OWS & EWS) : sont la fenêtre sur le procès et montrent toute les informations concernant l'ingénierie, l'exploitation et le diagnostic
- Serveur de puissance : Les services SPPA-T3000 fournissent toutes les fonctions et prestation du DCS nécessaire à la commande de la centrale électrique, deux plateformes matérielles sont utilisées pour la maintenance du système :
  - Le serveur d'automatisation avec toutes les fonctions d'automatisation pour traitement en temps réel.
  - Le serveur d'application fournissant des prestations centrales comme l'exploitation et la surveillance, l'archivage, l'affichage séquentiel des alarmes et l'ingénierie.
- Réseaux de communication : les sont utilisés pour distribuer les données du système et les informations concernant la centrale dans le SPPA-T3000, ce dernier offre les réseaux suivants :
  - PROFIBUS DP : est une norme internationale appliquée pour connecter les interfaces de procès.
  - Ethernet (PROFINET) : ce type fournie une plateforme des données pour la communication entre les différent éléments du système installé, principalement entre le serveur d'automatisation et le serveur d'application.

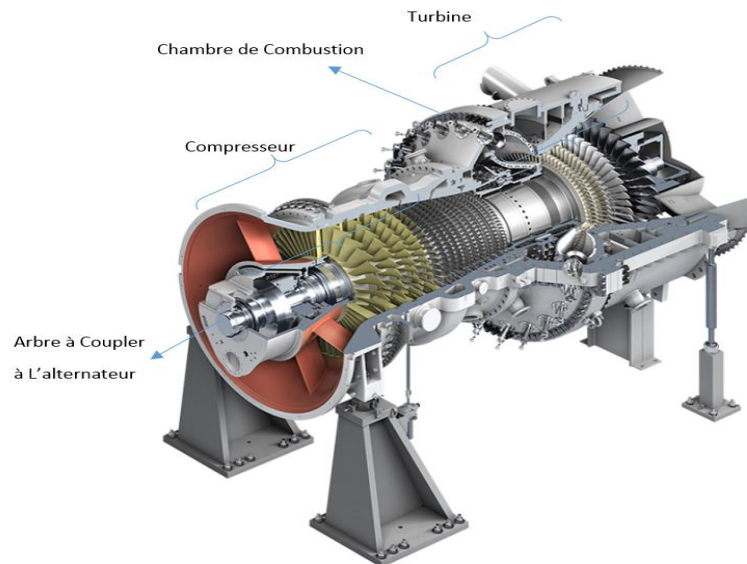
❖ Les principales fonctions sont [3]:

- Distribution des entrées/sorties.
- Commande de la turbine à gaz et ces systèmes auxiliaires.
- Protection technologique de la turbine (Vibration, survitesse, surveillance de la flamme...)
- Mesures spéciales (mesure de vibration...)
- Protection électrique à travers le relai de protection SIPROTEC du générateur.



### I.5.1. Turbine à gaz SGT5-4000F

Une turbine à gaz comprend trois composants principaux: les composants est le compresseur axial, la chambre de combustion et la turbine.



**Figure I-11:** Turbine à gaz SGT5-4000F.

#### I.5.1.1. Le Compresseur

Le compresseur (à 15 étages) aspire de l'air frais filtré et le comprime jusqu'à environ 19 bar. La température de l'air monte alors à 400 °C. Le combustible (gazeux ou liquide) est brûlé à l'intérieur de la chambre de combustion avec l'aide de l'air comprimé de la décharge compresseur. L'énergie du combustible est ainsi convertie en énergie thermique, moyennant une température atteignant 1100 à 1200°C environ [2].



**Figure I-12:** Le Compresseur (15 étages).



### I.5.1.2. La chambre de combustion

Le système de combustion comprend une chambre de combustion annulaire dotée de 24 brûleurs hybrides. La chambre de combustion est revêtue de boucliers thermiques, qui protègent sa structure porteuse. Le mélange homogène du combustible et de l'air de combustion garantit une répartition uniforme des températures de la sortie de la chambre de combustion à la turbine. La chambre de combustion est accessible par des trous d'homme placés dans l'enveloppe externe et dans la coque externe. C'est également par là que se fait l'inspection et, le cas échéant, le remplacement des boucliers thermiques, des brûleurs et des pièces du premier étage de la turbine [2].



**Figure I-13:** La chambre de combustion.

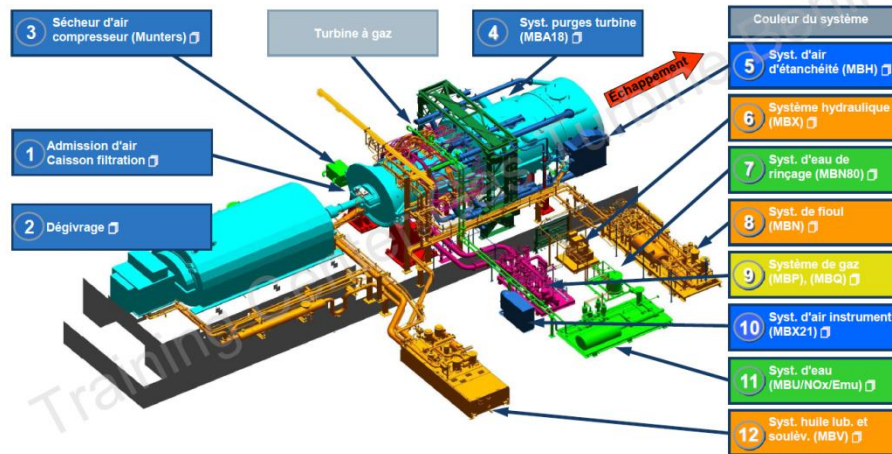
### I.5.1.3. La Turbine à gaz

La turbine à gaz en aval (à 4 étages) convertit une partie de l'énergie thermique des gaz de fumées en énergie mécanique de rotation (couple mécanique x angle de rotation). Le turboalternateur monté sur l'arbre convertit une partie de l'énergie de rotation en énergie électrique (principe électromagnétique). L'entraînement interne du compresseur consomme de 15 à 20 MW. Les gaz de fumées sortant de la turbine (gaz d'échappement) échappent à une température de 550 à 580 °c et à une pression de 40 à 50 mbar. L'énergie thermique résiduelle des gaz d'échappement (de 40 à 45 %) est soit réutilisée dans un échangeur de chaleur situé en aval (chaudière de récupération), dans le cas d'une centrale à cycle combiné, soit passée dans les pertes thermique [2].

Une turbine à gaz à haut rendement affiche un rendement électrique pouvant atteindre 40% ; cela signifie que jusqu'à 40% de l'énergie interne du combustible (PCI → MJ/Kg) est convertie en énergie électrique (→MWh) aux bornes de l'alternateur [2].

### I.5.2. Auxiliaires de la turbine à gaz

Les auxiliaires sont les composants qui ne sont pas montés directement sur la turbine sont installés en tant que module de base regroupés dans des package externe disposés à côté de la turbine.



**Figure I-14:** Vue en 3D de la TG et ses auxiliaires.

Les différents systèmes auxiliaires de la TG sont [2]:

- Système d'admission d'air MBL.
- Système de lubrification et d'huile de soulèvement, incluant le vireur MBV.
- Système hydraulique d'optimisation des jeux MBA.
- Système de gaz d'allumage MBQ.
- Système de combustible gazeux MBP.
- Système de purge automatique du circuit de gaz naturel MBH.
- Système de combustible liquide MBN.
- Système d'eau de rinçage MBN80.
- Système de drainage de la TG.
- Système hydraulique MBX.
- Système d'air d'instrumentation MBX2.
- Système de lavage compresseur.

### I.5.3. Générateur SGen5-1000A

Le générateur de Siemens SGen5-1000 A à deux pôles utilise un système de refroidissement à air direct du bobinage du rotor et le refroidissement à air indirect pour le bobinage du stator.

Les caractéristiques principales de ce générateur sont [6]:

- **Type** : SGen5-1000A
- **Bobinage** : Etoile.
- **Standard** : IEC
- **Facteur de puissance** : 0.85.
- **Tension Stator** : 19 kV +/- 7.5%.
- **Intensité Stator** : 8387 A.
- **Tension de champ** : 257.3 V.
- **Intensité de champ** : 1459 A.

- **Puissance** : 350 MVA
- **Température Eau entrée** : 50°C.
- **Classe thermique Stator** : F

Le générateur est constitué des parties principales suivantes [6]:

A. Stator :

- Structure.
- Noyau stator et ensemble bobinage.
- Extrémités noyau.
- Câblage bobinage stator.
- Refroidisseurs pour l'eau complètement fermée vers les générateurs refroidis à l'air (TEWAC).
- Ensemble filtre d'entrée et conduite d'échappement pour les générateurs refroidis à l'air direct (OAC).
- Enceintes extérieures soit pour TEWAC ou pour OAC (complète le circuit de ventilation du générateur).

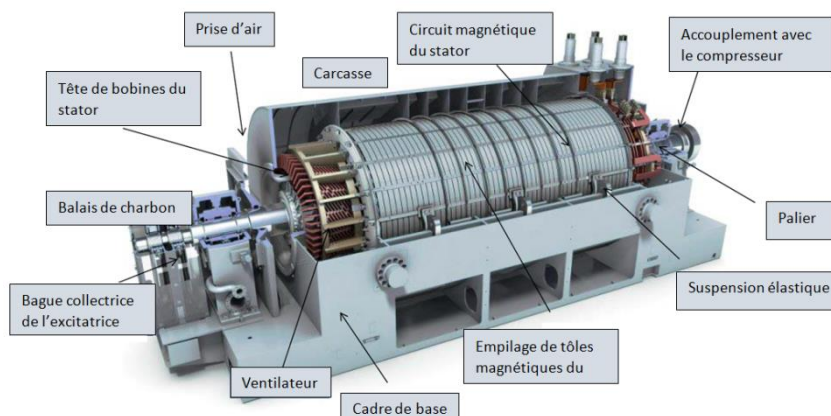
B. Rotor :

- Arbre du rotor.
- Bobinage du rotor.
- Anneaux de fixation rotor.
- Câblage champ.
- Matériel d'excitation (excitateur à balai).
- Ailettes soufflante montées sur arbre.

C. Paliers avec le Système d'alimentation d'huile.

Les auxiliaires supplémentaires suivantes sont nécessaires au fonctionnement du générateur [6]:

- D. Source d'énergie d'excitation (système d'excitation statique pour l'entrée du collecteur ou régulateur automatique de tension pour l'excitateur sans balai).
- E. Système à eau pressurisée pour les refroidisseurs.
- F. Soufflantes externes pour refroidir les collecteurs de l'excitation.



**Figure I-15:** Ensemble alternateur SGen5-1000A



## I.6. Description d'excitation (SEE: Equipement statique d'excitation)

L'équipement d'excitation statique SEMIPOL convertit un courant alternatif triphasé en courant continu qui est utilisé pour générer le champ magnétique dans la machine synchrone. Le courant d'excitation peut influencer la tension machine, la puissance réactive et le  $\cos \varphi$ . De plus, la puissance active et/ou l'angle de déplacement du rotor peuvent être dynamiquement influencés (non stationnaire) [19].

L'équipement d'excitation comprend deux boucles de contrôle séparées (mode de fonctionnement) [19] :

- **Le mode automatique** : contrôle de la tension machine, y compris compensation du statisme et/ou de la chute de tension, plus coordination de la puissance réactive et/ou du contrôle du  $\cos \varphi$ . Les spécifications du système de l'équipement indiquent si le contrôle de la puissance réactive et/ou du contrôle du  $\cos \varphi$  est installé. Le contrôle de la tension machine fait partie du mode automatique dans tous les équipements. Dans le canal automatique, le contrôle du courant d'excitation est en outre considéré comme mode manuel intégré.
- **Le mode manuel** : contrôle du courant d'excitation en tant qu'unité séparée avec bloc d'alimentation consacré et unité d'impulsions séparée. Le canal manuel séparé peut être remplacé par un deuxième canal automatique qui, dans ce cas, accomplira les mêmes fonctions que le canal automatique 1. Un canal manuel en tant que contrôleur pur de courant d'excitation existe alors dans chacun des deux canaux automatiques.

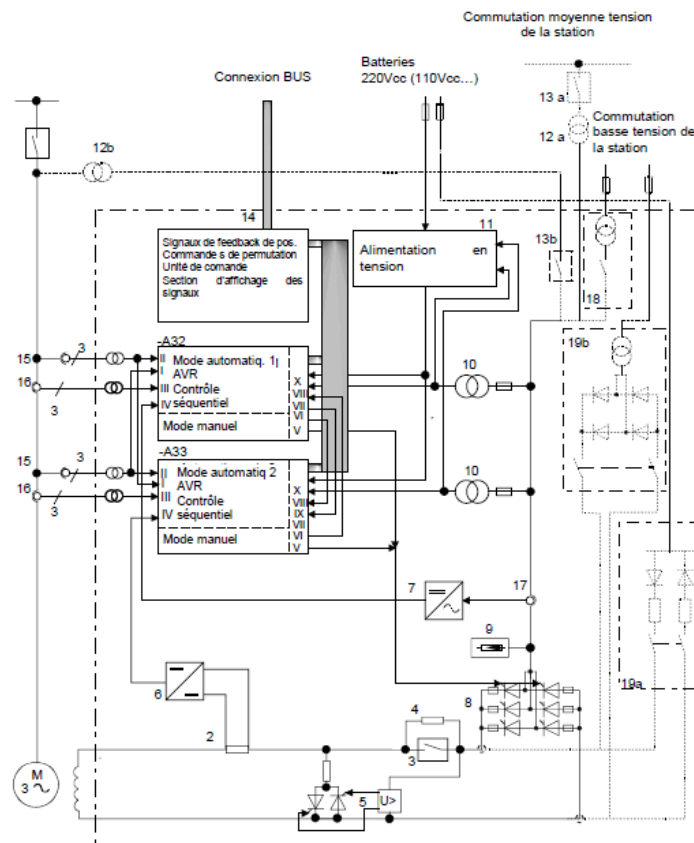


Figure I-16: Section alimentation de l'équipement d'excitation SEMIPOL (ERR).

### I.7. Système de démarrage statique (SFC: Convertisseur de fréquence de démarrage)

Le démarreur statique à fréquence variable (SFC) est un appareil qui accélère le groupe au moyen de l'alternateur utilisé comme moteur synchrone. L' SFC alimente les enroulements statoriques à tension et fréquence variables et, en étant le rotor excité, il réussit à accélérer toute la ligne d'arbre jusqu'à la vitesse finale voulue (pour les turbogaz elle est 70% de sa vitesse nominale) [20].

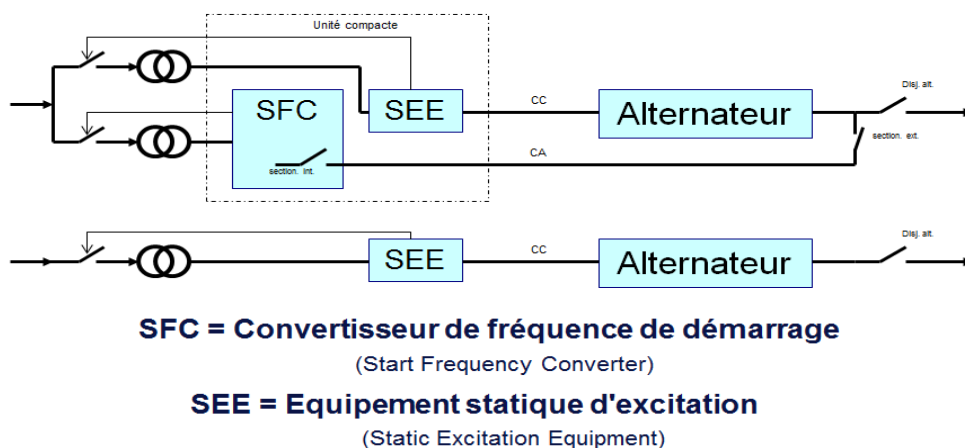


Figure I-17: Vue d'ensemble : système SFC/SEE typique.

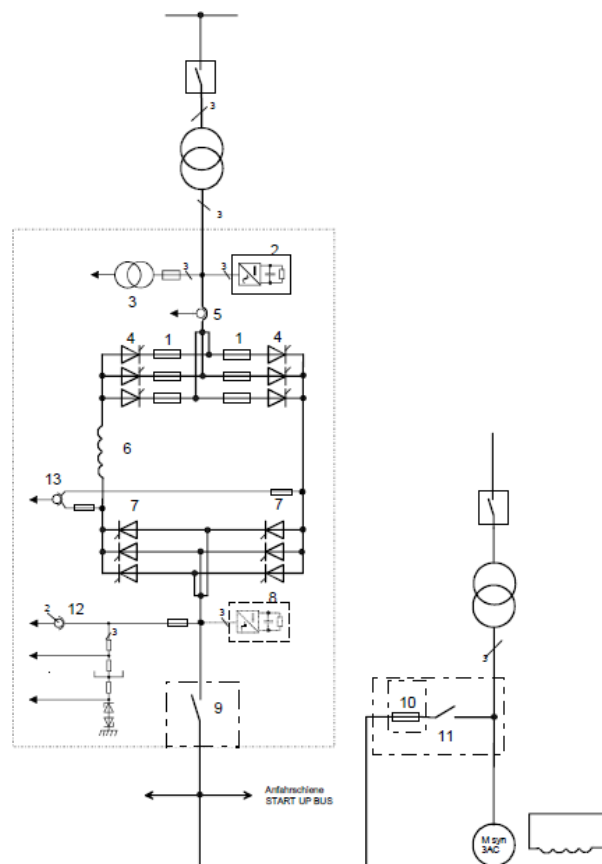
#### I.7.1. Principe de fonctionnement du convertisseur de fréquence statique

Pendant le démarrage synchrone du convertisseur, le convertisseur secteur agit en tant que redresseur et transmet la puissance active prélevée du secteur à la liaison C.C. Le convertisseur machine fonctionne en mode convertisseur et, à partir de la tension de borne de la machine synchrone, produit une contre-tension sur la tension de liaison produite par le convertisseur secteur à partir de la tension d'alimentation. Il prélève de la puissance de la liaison C.C et la transmet à la machine synchrone. Si la machine doit être ralentie, le convertisseur machine fonctionne en mode redresseur et le convertisseur secteur en mode inverseur. La polarité de la tension de liaison en CC est maintenant opposée à la polarité au démarrage synchrone. Pour la même direction du flux de courant dans la liaison C.C, ceci implique que l'énergie à présent s'écoule de la machine au secteur. La réactance dans la liaison C.C découple ici l'alimentation et les convertisseurs machines. Il prélève les différences de tension et lisse le courant de liaison C.C [18].

Pendant la phase d'accélération, le contrôleur de tension de démarrage assure une tension constante aux bornes de la machine. La commutation de courant dans le convertisseur machine s'effectue grâce à la tension aux bornes de la machine synchrone. Cependant, entre l'arrêt et une certaine vitesse minimum, la machine synchrone ne produit pas la tension nécessaire à la commutation de courant. Dans cette gamme de vitesse, la commutation est effectuée par le changement périodique et temporaire du mode de fonctionnement du convertisseur d'alimentation, du mode redresseur au mode

convertisseur. Conséquemment, le courant dans la liaison C.C devient égal à zéro. Le courant de maintien des thyristors du convertisseur machine n'est plus atteint, et la capacité de blocage des thyristors du convertisseur machine est restaurée après un temps d'attente d'environ 2ms. En déclenchant les thyristors subséquents dans le convertisseur machine et en mettant le convertisseur d'alimentation en mode redresseur, le courant est connecté à la phase suivante du stator de la machine synchrone. Ce type de commutation s'appelle le mode découpage [18].

Afin de générer le couple maximum possible, on doit être régler l'angle de déclenchement maximum possible pour le groupe du convertisseur machine, de sorte que l'angle d'extinction disponible aux thyristors soit très petit. Cependant, cet angle d'extinction ne peut pas devenir inférieur aux intervalles de retenue des permissions des thyristors. Si l'intervalle de retenue est plus court que l'intervalle critique de retenue des thyristors, un court-circuit se produit qui est piloté par la tension de la machine et par la tension de l'alimentation (additionnées). Ceci ne provoque aucun problème en mode haché étant donné que le courant est forcé à zéro si la commutation doit avoir lieu. En cas de commutation par machine, le déclenchement des thyristors doit être avancé par un angle de déplacement (en augmentant l'intervalle de retenue). Le déclenchement plus tôt des thyristors augmente la distance de limite de stabilité de l'inverseur. Afin d'activer un intervalle suffisant de retenue avec un grand  $\cos \phi$ , l'angle de déplacement est varié en fonction de la vitesse et du courant [18].



**Figure I-18:** Circuit d'alimentation du convertisseur de fréquence statique.

## I.7.2. Avantages de l'emploi d'un démarreur statique

Les avantages de l'emploi du démarreur statique par rapport à l'emploi d'un moteur de lancement ou d'autres appareillages sont principalement les suivant [20]:

- possibilité de démarrer plusieurs groupes en séquence avec le même démarreur.
- durée de réparation mineure par rapport à une machine tournante.
- possibilité d'utiliser le démarreur comme vireur aussi pour différents groupes TG.
- durée d'entretien plus courte.
- haute fiabilité.

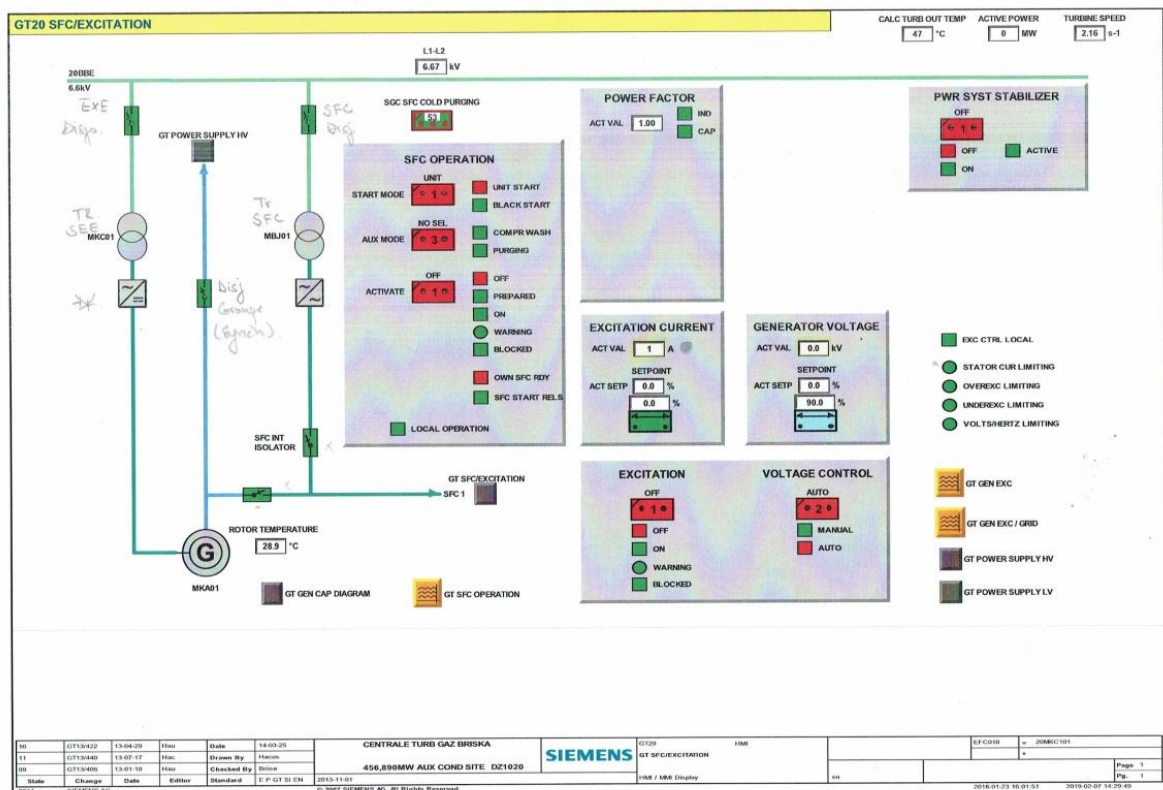


Figure I-19: Schéma général (SFC/SEE).

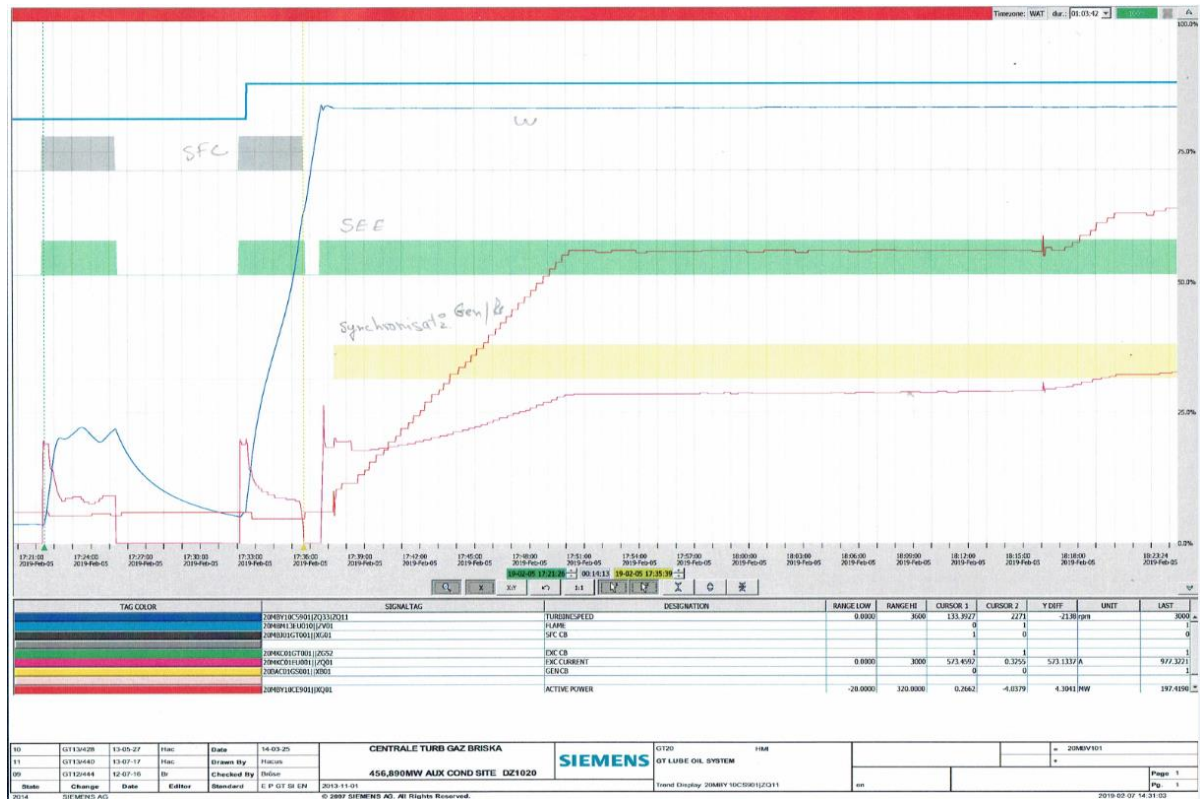


Figure I-20: Les courbes de système.

## I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière générale les éléments principaux de la centrale électrique d'Oumache Biskra, et les caractéristiques principales des éléments importants (Alternateur, Turbine, Excitatrice, Package de la Turbine à gaz...).

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude de la production d'électricité de la centrale électrique d'Oumache Biskra.

**Chapitre II :**  
**Production d'énergie**  
**électrique**

## II.1. Introduction

L'énergie électrique est un facteur essentiel de développement et de l'évolution des sociétés humaines, que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie ou sur le plan du développement des activités industrielles.

Sur cette base nous allons commencer ce chapitre par la description des modes de production de l'énergie électrique. Puis nous expliquerons comment générer de l'électricité de centrale électrique d'Oumache Biskra.

## II.2. Historique sur la production d'électricité

Depuis des millénaires, les hommes ont appris à utiliser l'énergie du vent, de l'eau, des animaux pour faire plus que ce que leur permettait leur énergie musculaire. Après cela la mise au point de la machine à vapeur (début de l'air industrielle) leur a permis de disposer de quantités d'énergie beaucoup plus grandes, avec les conséquences (positives et négatives). Puis, après l'invention de la pile électrique par Alessandro VOLTA, de la dynamo par Xénobe GRAMME, de la lampe à incandescence par Thomas EDISON, vint l'ère de l'électricité [15].

## II.3. Modes de production de l'énergie électrique

Les principaux modes de production d'énergie électrique sont :

### II.3.1. Centrale éolienne

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite le plus souvent transformée en énergie électrique celle-ci est consommée localement (sites isolés) ou injectée dans le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau). Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs [4].

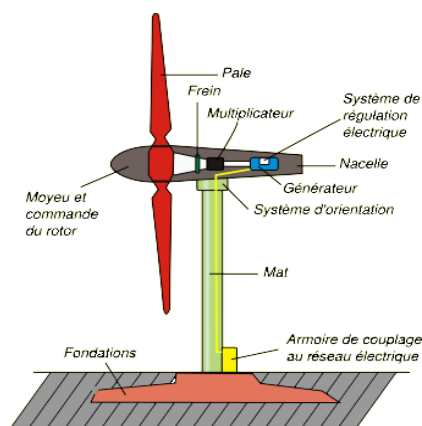


Figure II.1: Schéma d'ensemble d'une éolienne.



II.3.2. Centrale solaire

Une centrale électrique solaire est un système de production d'électricité qui utilise l'énergie solaire comme seul carburant. Il en existe essentiellement deux types, les centrales solaires photovoltaïques et les centrales solaires thermodynamiques. Toutefois, il n'est pas certain que l'électricité photovoltaïque puisse être qualifiée « d'énergie renouvelable » : si l'énergie solaire est bien une source d'énergie renouvelable, les panneaux solaires, eux, ont une durée de vie limitée, et le coût de l'installation est relativement élevé [4].

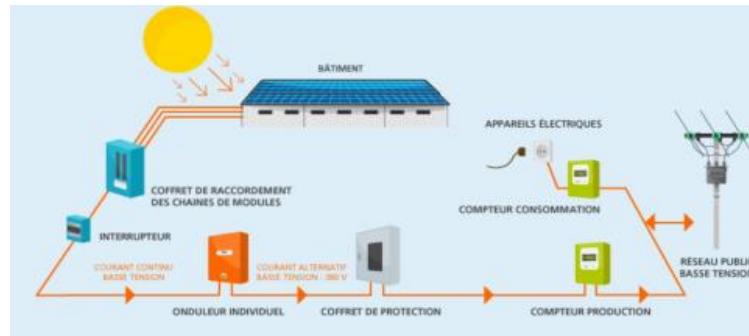


Figure II.2: Schéma d'une installation photovoltaïque connecté au réseau.

II.3.3. Centrale géothermique

Une centrale géothermique est un type de centrale électrique dont la source primaire est l'énergie géothermique (source de production d'électricité renouvelable). Les technologies utilisées comprennent les turbines à vapeur sèche, les centrales à condensation et les centrales à cycle combiné. La production d'électricité géothermique est utilisée dans 27 pays, alors que le chauffage géothermique est utilisé dans 70 pays. L'électricité géothermique est considérée comme durable car l'extraction de chaleur est faible comparée à l'enthalpie de la planète [10].

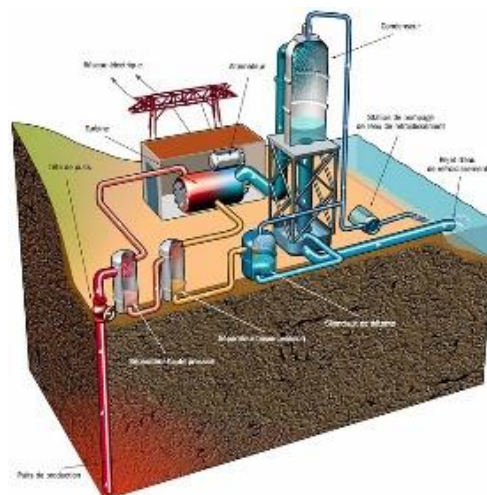


Figure II.3: Principe de fonctionnement de la centrale bouillante.



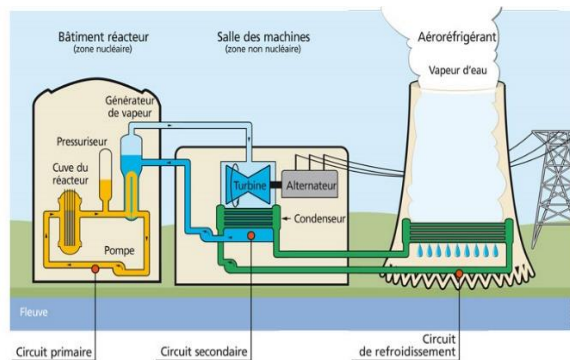
### II.3.4. Centrale nucléaire

L'énergie nucléaire est une source qui dépend d'un combustible fissile, l'uranium, dont le minerai radioactif est contenu dans le sous-sol de la Terre. Elle permet de produire de l'électricité, dans les centrales thermiques nucléaires, appelées centrales électronucléaires, grâce à la chaleur dégagée par la fission d'atomes d'uranium [4].

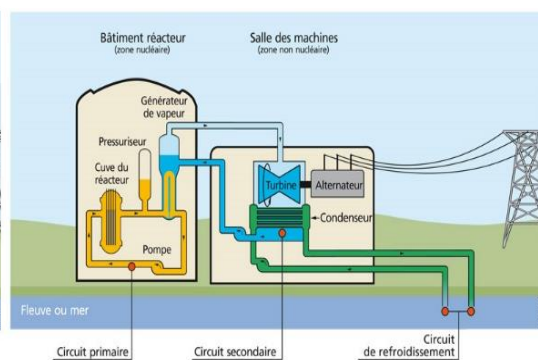
Une centrale nucléaire se compose de 4 parties principales [10]:

- Le bâtiment contenant le réacteur dans lequel a lieu la fission.
- La salle des machines où est produite l'électricité.
- Les départs de lignes électriques qui évacuent et transportent l'électricité.
- Des tours de refroidissement uniquement en bord de rivière.

La puissance électrique d'une centrale varie de quelques mégawatts à plusieurs milliers de mégawatts en fonction du nombre et du type de réacteur en service sur le site (860 MW en moyenne par réacteur) [10].



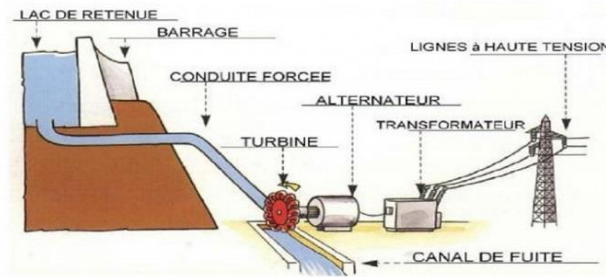
**Figure II.4:** Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire avec aérorefrigérant.



**Figure II.5:** Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire sans aérorefrigérant.

### II.3.5. Centrale hydraulique

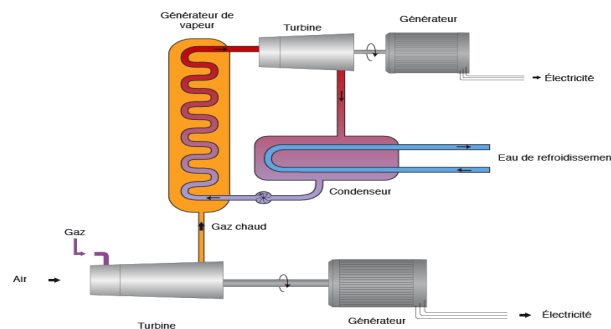
L'énergie hydraulique permet de fabriquer de l'électricité, appelée hydroélectricité, dans les centrales hydroélectriques, grâce à la force des chutes d'eau d'origine naturelle ou créées artificiellement à partir des retenues de barrage. C'est une énergie qui n'émet pas de gaz à effet de serre, elle est utilisable rapidement grâce aux grandes quantités d'eau stockée et c'est une énergie renouvelable très économique à long terme. Le principe de la centrale hydraulique est de profiter de la force du courant de l'eau pour produire de l'électricité [4].



**Figure II.6:** La centrale hydraulique.

### II.3.6. La centrale à gaz à cycle combiné

Une centrale à cycle combiné associe plusieurs cycles thermodynamiques dans un effort d'amélioration de l'efficacité énergétique de la centrale considérée. Les centrales à cycle combiné gaz turbine (Combined Cycle Gas Turbine CCGT) associent ainsi une turbine à gaz et une turbine à vapeur pour produire de l'électricité. La turbine à gaz et la turbine à vapeur peuvent être reliées à une seule génératrice (qui produit l'électricité) ou peuvent être reliées à deux génératrices différentes. Le combustible, mélangé à de l'air sous pression est brûlé dans la chambre de combustion, provoquant ainsi une brusque augmentation de la température et de la pression des gaz brûlés. Ces gaz se détendent ensuite dans les aubes d'une turbine, en rotation autour du même arbre que l'alternateur, qui va générer de l'électricité. En sortie de turbine, les gaz encore chauds sont évacués dans l'atmosphère. Les centrales à cycle combiné permettent de mettre à profit l'énergie résiduelle de ces gaz chauds qui vont céder leur chaleur dans un échangeur pour faire bouillir le fluide d'un second cycle thermodynamique. La vapeur ainsi obtenue entrainera à son tour une deuxième turbine génératrice d'électricité [4].



**Figure II.7:** centrale à gaz à cycle combiné.

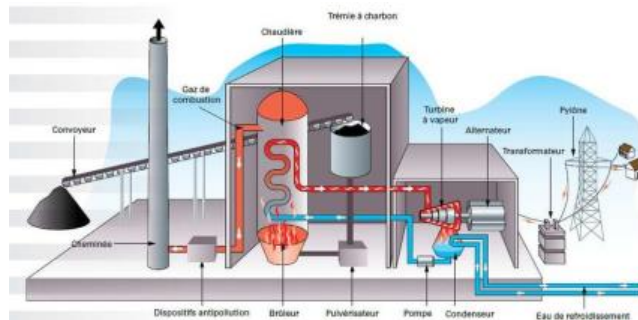
### II.3.7. Centrale diesel

Les centrales électriques diesel (nommées également groupes électrogènes) sont équipées d'un moteur diesel et d'un alternateur. Opérant en autarcie en tant qu'unités de production d'électricité, elles constituent un choix idéal sur les sites de production éloignés ou pour assurer l'alimentation de secours de grandes banques, d'hôpitaux, d'aéroports ou de

villes entières. Certains pays et états insulaires produisent la majorité de leur électricité avec des centrales électriques diesel [4].

**II.3.8. Centrale thermique**

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur selon le principe des machines thermiques. La chaleur est utilisée pour produire de la vapeur d'eau sous haute pression qui fait tourner une turbine, entraînant elle-même un alternateur, (Par détente de la vapeur dans les différents corps HP.MP.BP) [10].



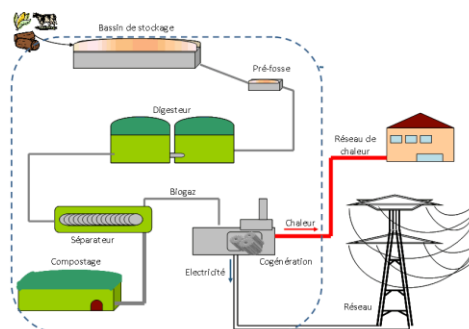
**Figure II.8:** Schéma d'une centrale thermique destinée à la production de l'électricité.

**II.3.9. Centrale biomasse**

La biomasse est produite par les organismes vivants principalement par l'activité photosynthétique des plantes, mais aussi des animaux, des insectes, des micro-organismes...Elle est essentiellement constituée de polymères complexes de carbone, hydrogène, oxygène et azote, de soufre en faible proportion et d'éléments inorganiques.

Il existe beaucoup de façons de la transformer en énergie : la biomasse peut servir à chauffer les maisons ; elle peut être transformée en carburant et même alimenter des centrales qui produisent de l'électricité [4].

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.



**Figure II.9:** Schéma de principe d'une usine basée sur l'exploitation de la biomasse.

**II.4. Production de l'énergie électrique en Algérie**

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, 16 sociétés se partageaient les concessions électriques en Algérie, le groupe Lebon (Compagnie Centrale d'éclairage par le Gaz) et la Société algérienne d'éclairage et de force (SAEF) au centre et à l'ouest, la Compagnie Du Bourbonnais à l'est ainsi que les usines Lévy à Constantine. Par décret du 16 août 1947, ces 16 compagnies concessionnaires sont transférées à EGA. Elles détenaient alors 90% des propriétés industrielles électriques et gazières du pays [15].

**II.5. Production de l'énergie électrique en centrale d'Oumache****II.5.1. Démarrage de la turbogénérateur****II.5.1.A. Démarrage**

Avant de démarrer la turbine à gaz, il faut s'assurer que les tests et les vérifications de tous les équipements électriques et mécaniques ont été bien vérifiés suivant les manuels d'exploitation. De plus, il faut s'assurer qu'il n'y a pas d'alarme en attente affectant le démarrage et l'exploitation en sécurité des turbines à gaz. Une turbine à gaz peut donc être démarrée et mise à l'arrêt rapidement, de manière entièrement automatique, presque sans possibilité d'intervention manuelle de la part des opérateurs. Seuls des réglages de consignes (ex puissance active) [7].

Les opérations suivantes ont lieu dans le système de gaz naturel après réception par la turbine à gaz d'une commande de démarrage de la part du conducteur [7]:

- La vanne d'arrêt d'urgence du gaz est fermée.
- Le convertisseur de fréquence de démarrage (SFC) est activé pour l'opération du purge (balayage), accélérant ainsi en continu la TG jusqu'à une vitesse de 780 rpm pendant une période de 5 min (période du purge), après le convertisseur de fréquence de démarrage (SFC) se désactive et par conséquent la vitesse de la turbine est démultipliée. Une fois la vitesse atteinte 180 rpm, le convertisseur de fréquence de démarrage (SFC) est activé pour la deuxième fois avec une accélération continue de la TG jusqu'à ce qu'elle atteigne la vitesse d'allumage 380 rpm.  
La vanne de commande du gaz pilote est ouverte à son réglage de levée minimal.
- Une fois la vitesse d'allumage atteinte 380 rpm, la vitesse de la TG est maintenue constante et le processus d'allumage est initié. La vanne d'arrêt d'urgence (ESV) est ouverte et les transformateurs d'allumage mis sous tension. Le gaz naturel qui s'écoule vers les brûleurs de gaz pilote est enflammé par les électrodes d'allumage placées en aval des brûleurs. Le débit massique du gaz pilote est varié pendant le processus d'allumage. Cet état de choses garantit l'atteinte de la plage d'allumage du mélange air/gaz naturel pendant le démarrage.
- Si le système de surveillance de flammes n'a pas détecté de flamme 12 secondes après que l'ESV ait quitté sa position FERMÉE, le démarrage est annulé par la fermeture de l'ESV, c'est un allumage raté.

- Après un allumage réussi, la vanne régulatrice pilote (PG-CV) commence à s'ouvrir avec une fonction de minuterie linéaire une fois qu'une vitesse définie (660 rpm) a été dépassée. Cette mesure augmente continuellement le débit massique du gaz pilote. La TG commence alors à produire un couple de plus en plus important qui, associé à celui du SFC, accélère davantage la turbine à gaz.
- Lorsqu'une vitesse définie (1080 rpm) est dépassée, la vanne régulatrice pilote (PG-CV) s'ouvre davantage à un second niveau d'ouverture, avec une pente plus abrupte.
- Le convertisseur de fréquence de démarrage s'arrête lorsque la turbine-génératrice est suffisamment accélérée (à une vitesse de 2300 rpm).
- Lorsqu'une vitesse définie (1800 rpm) est dépassée, la PG-CV s'ouvre davantage à un troisième niveau d'ouverture, avec une pente plus abrupte.
- Lorsqu'une vitesse définie (1500 rpm) est dépassée la vanne de commande du mode de pré-mélange PM-CV s'ouvre. Le gaz de pré-mélange est ajouté au gaz pilote suivant un tableau à vitesse variable. L'étage de pré-mélange est activé plus tôt si le débit requis de gaz combustible au démarrage dépasse la capacité de la PG-CV.
- Peu avant d'atteindre la vitesse nominale (3000 rpm), le régulateur de vitesse prend le contrôle de la PM-CV à partir du générateur de la rampe de fonctionnement. Le fonctionnement de la turbine à gaz à la vitesse nominale continue avec le régulateur de vitesse activé. Ce dernier produit à présent le point de consigne de levée de la PG-CV.
- Environ 15 secondes après la fermeture des vannes anti-pompage, la synchronisation de la TG est activée.
- Une fois la TG synchronisée avec le réseau électrique, le régulateur de charge détermine le débit massique requis du combustible.

### **II.5.1.B. Arrêt**

L'arrêt est défini comme la décélération contrôlée de la turbine à gaz synchronisée avec le réseau électrique vers l'arrêt ou un niveau requis pour le refroidissement de la turbine. La séquence d'arrêt est décrite dans la sous-section suivante. Le déchargement de la TG commence à la sélection par le personnel opérationnel de l'option « Arrêt ». La procédure est décrite comme suit [7]:

- Pendant que continue le déchargement de la TG, la PM-CV se ferme. Lorsque la sortie baisse en-deçà d'un certain niveau, la commutation de l'alimentation électrique auxiliaire se fait (l'alimentation électrique auxiliaire est fournie par le réseau électrique).
- Lorsque la sortie baisse en-deçà d'un certain niveau (2 MW, par exemple), le relais d'alternateur ou un disjoncteur de l'unité de puissance est ouvert. Le régulateur de vitesse prend le contrôle de la turbine à gaz et la maintient à la vitesse nominale.
- Une fois le générateur déconnecté du réseau électrique, le système de GN s'enclenche et l'excitation du générateur cesse. Le verrouillage des gaz est ensuite fermé. La TG

ralentit sans combustion, jusqu'à ce qu'elle atteigne la vitesse d'allumage et puisse être redémarrée, si nécessaire. Sinon, la TG ralentit jusqu'à la vitesse requise pour activer le mode de refroidissement ou effectuer un arrêt.

### **II.5.2. Protection de turbine à gaz**

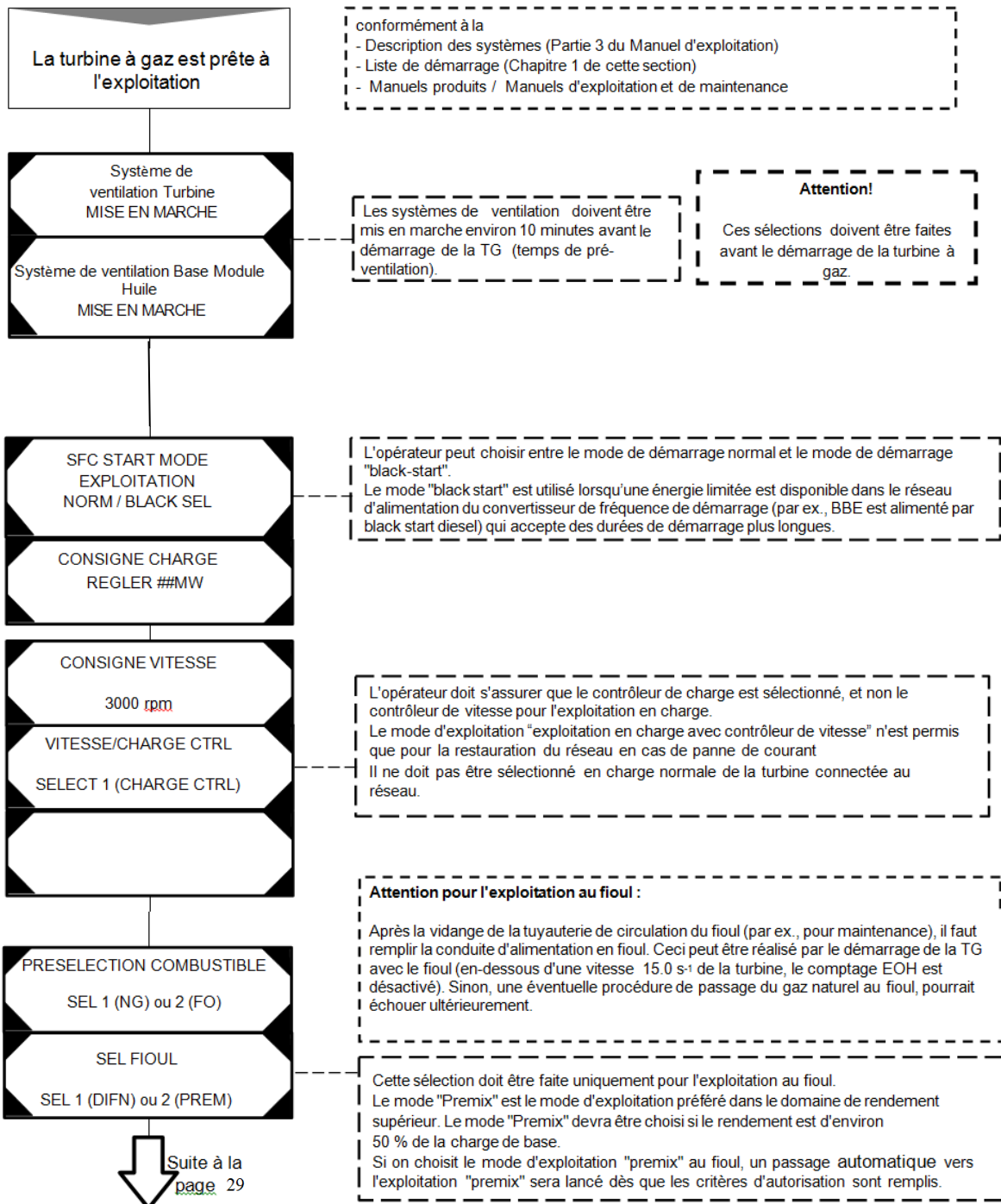
Le déclenchement est nécessaire lorsqu'une condition de fonctionnement présente un danger immédiat pour des personnes ou la turbine à gaz. Le déclenchement cause la fermeture du verrouillage des gaz, mettant ainsi un terme au fonctionnement de la turbine à gaz. La TG ralentit sans combustion, jusqu'à ce qu'elle atteigne la vitesse d'allumage et puisse être redémarrée, si nécessaire. Sinon, la TG ralentit jusqu'à la vitesse requise pour activer le mode de refroidissement ou effectuer un arrêt.

La turbine à gaz s'arrête si la soupape de décharge de pression MBP13AA501 s'ouvre par inadvertance pendant le fonctionnement de la centrale. Au terme de l'arrêt, la soupape d'arrêt d'urgence du gaz naturel est fermée, limitant ainsi le temps relâchement du gaz naturel via la soupape de décharge [5].

### **II.6. Procédure de démarrage**

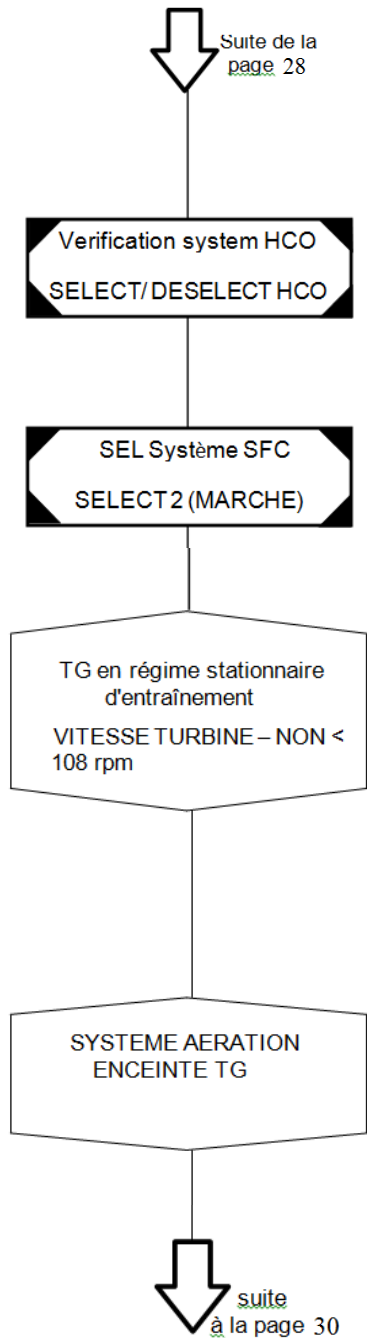
Contient six étapes [7] :

II.VI.1. Sélections avant démarrage





II.VI.2. Vérification des critères de déclenchement pour le démarrage de la turbine à gaz

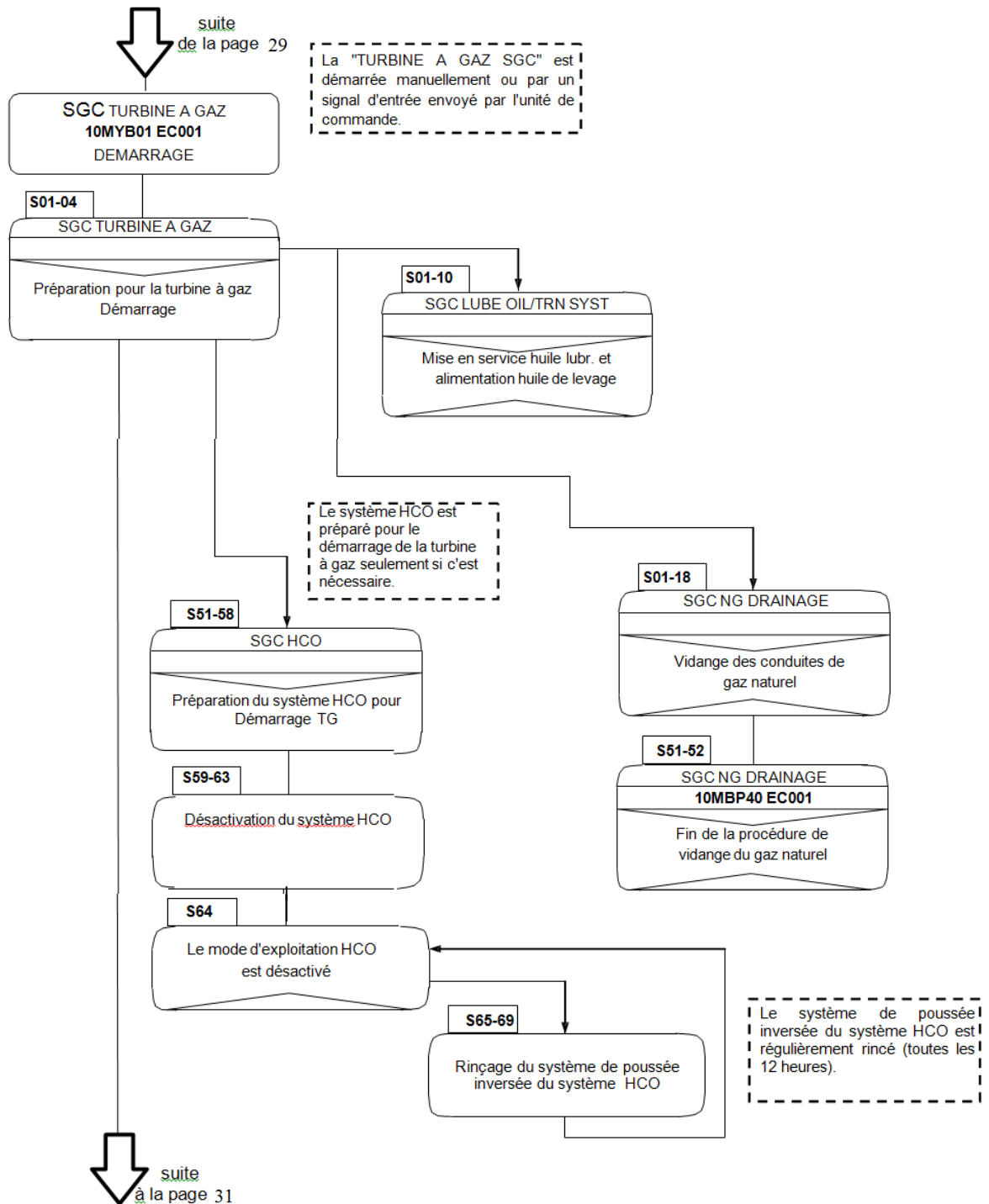


**Attention!**

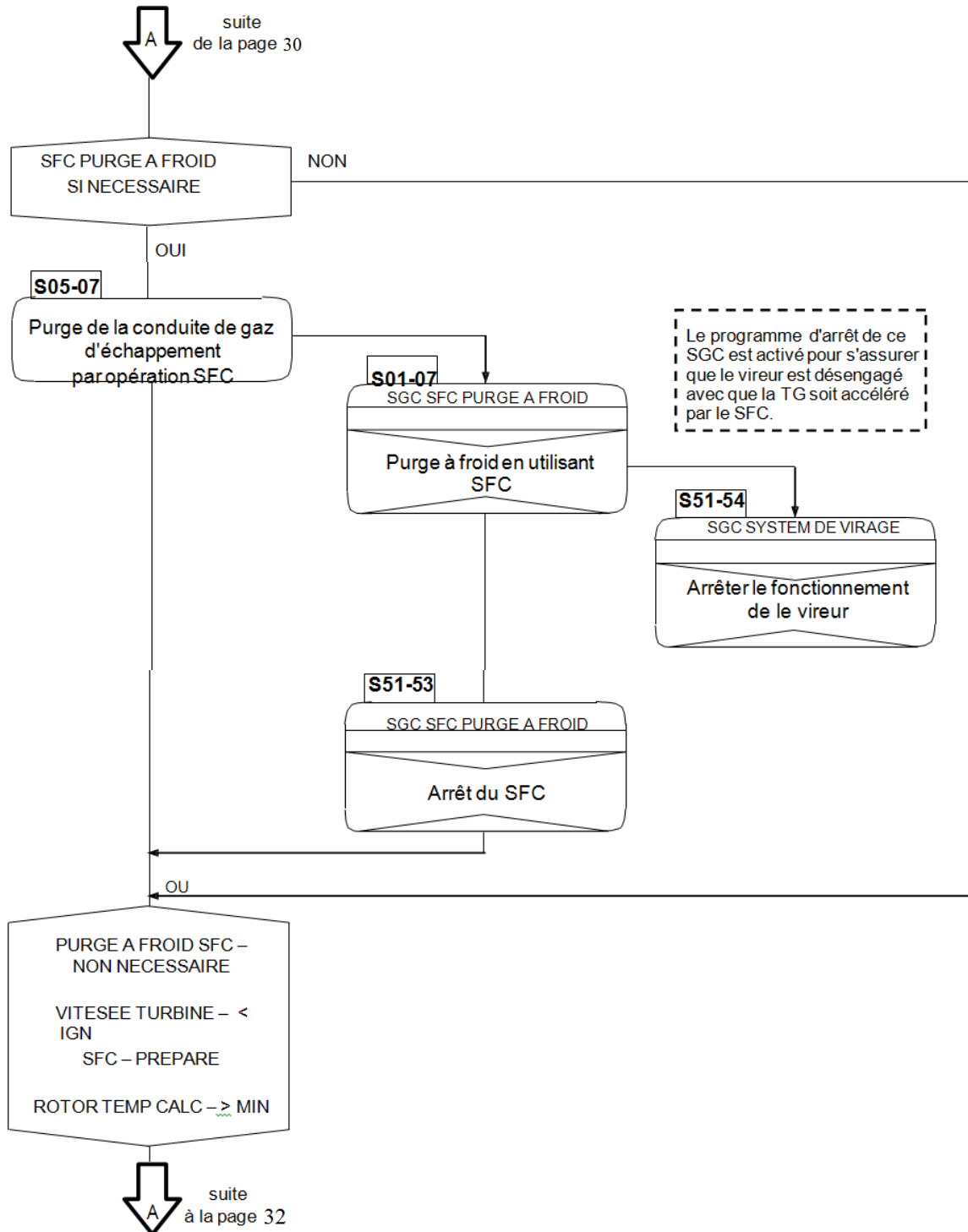
Si l'ensemble turbo-alternateur est au repos, le vireur doit être lancé par des commandes manuelles (voir Partie 3, Section 2.6, "Démarrage manuel du vireur" / Démarrage manuel du mode permanent d'entraînement en rotation à partir du repos").  
 Le convertisseur de fréquence de démarrage ne doit pas être mis en marche avant que l'arbre du turbo-alternateur n'ait atteint la vitesse stationnaire de rotation (1.80 s-1). Voir aussi Partie 3, Section 3, "Centrale électrique MK".  
 Après l'interruption du vireur pendant plus de 6 heures, le vireur en continu pendant 3 heures est impérativement nécessaire avant l'autorisation de démarrage de la turbine par le convertisseur de fréquence (condition pour la turbine à gaz).



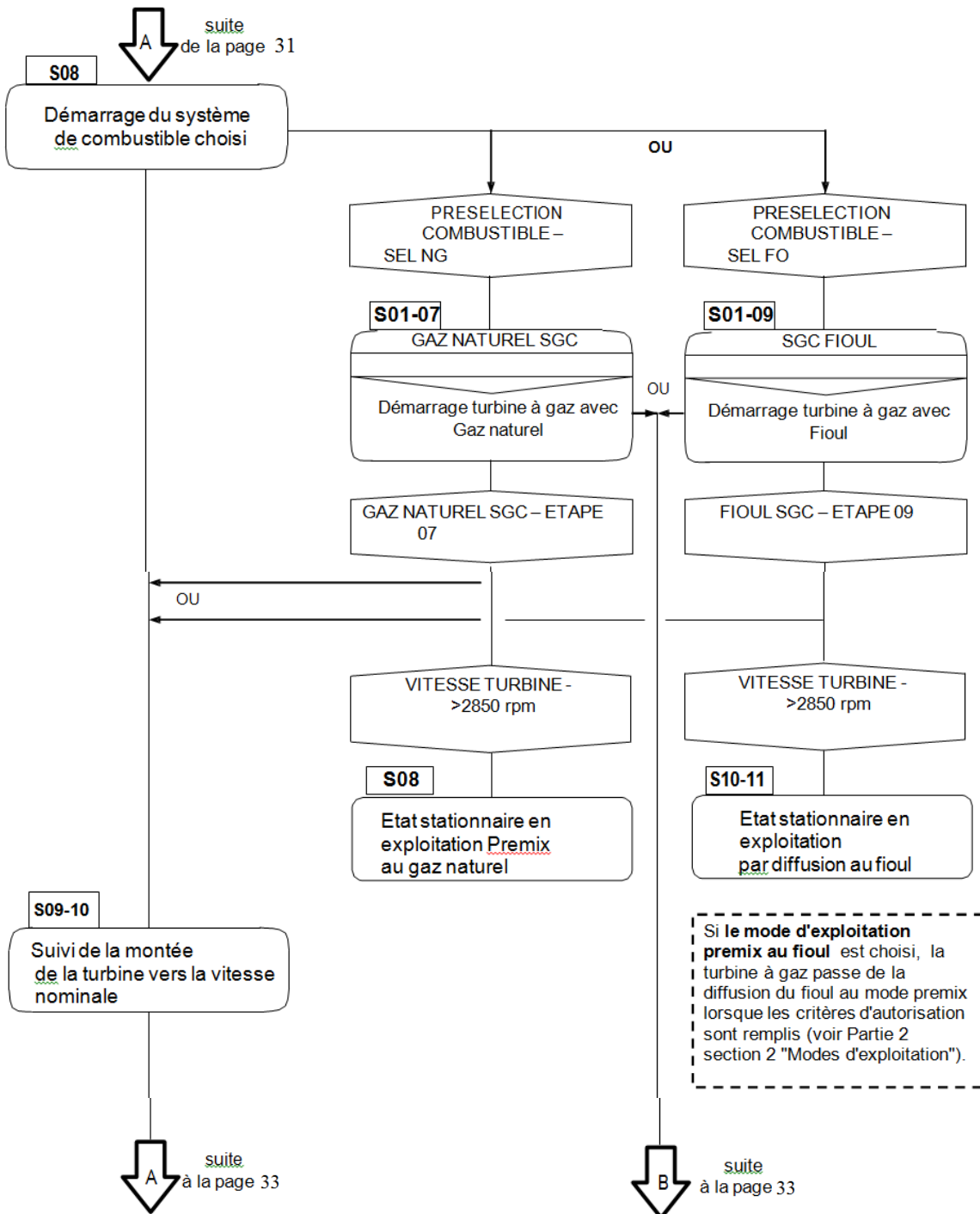
II.VI.3. Préparation pour le démarrage de la turbine à gaz



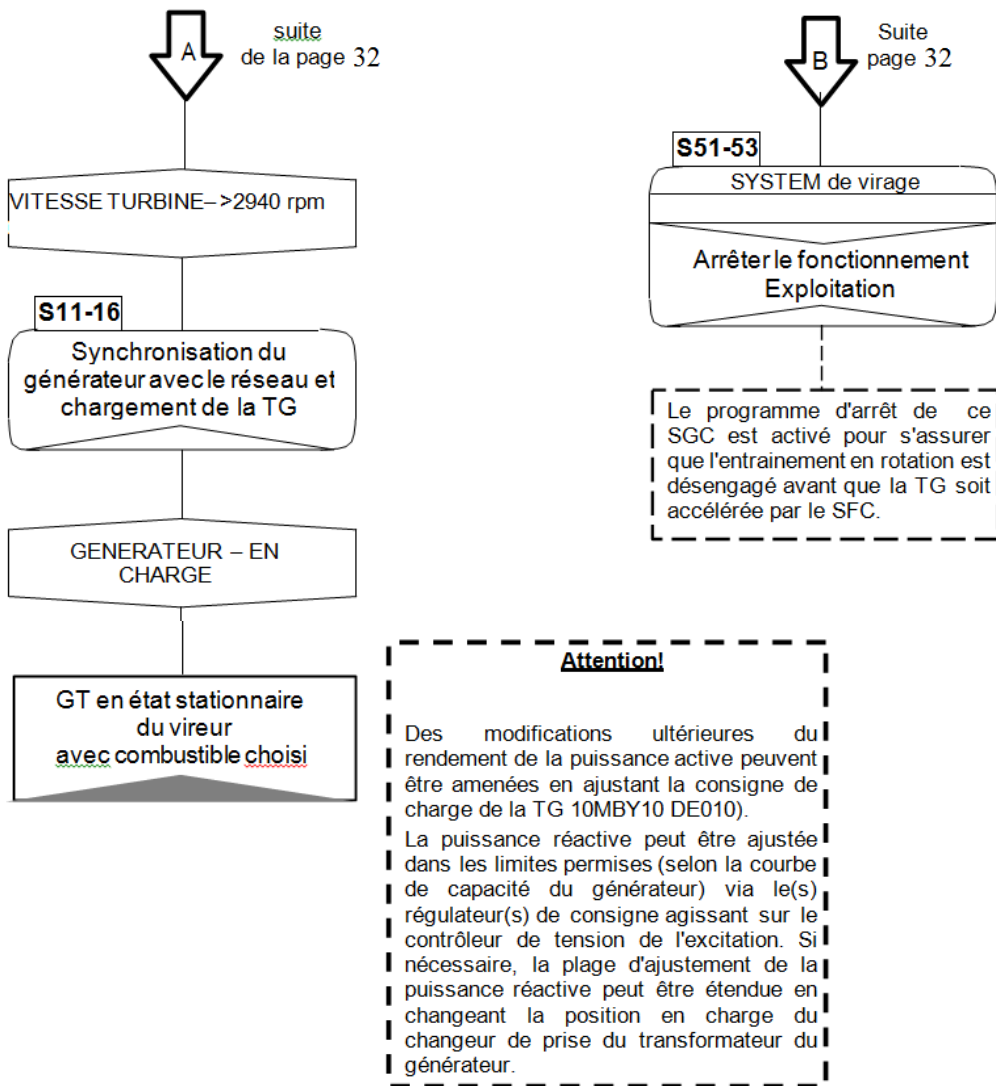
II.VI.4. Purge de la conduite de gaz d'échappement par opération SFC



II.VI.5. Démarrage du système de combustible choisi, Synchronisation du générateur avec le réseau



II.VI.6. Synchronisation du générateur avec le réseau



I.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les principales étapes de la production d'électricité et les différentes technologies utilisées aux niveaux local et mondial.

Et le prochain chapitre sera consacré à l'étude et à la modélisation de l'un des principaux composants de la production d'électricité et représenté dans le machine synchrone.

**Chapitre III :**  
**Etude et modélisation de**  
**l'alternateur**

### III.1. Introduction

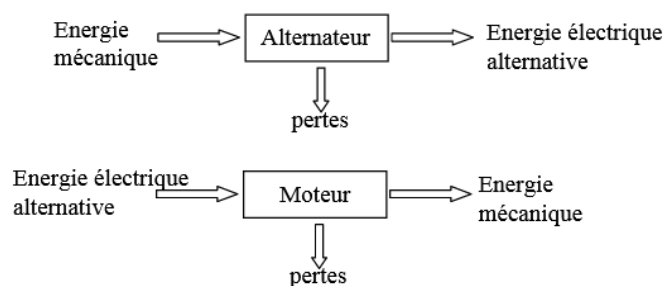
L'alternateur est une machine synchrone à courant alternatif qui est utilisée dans l'industrie tel que dans la production d'énergie électrique dans les centrales (hydraulique, thermique, nucléaire ...).

Cette machine constitue les plus gros convertisseurs d'énergie au monde. Plus de 95 % de l'énergie électrique est produite par des alternateurs. L'alternateur convertit l'énergie mécanique fournie au rotor en énergie électrique à courant alternatif. Le rotor de l'alternateur est entraîné en rotation par la turbine qui assure l'énergie mécanique, ce dernier fournit des tensions alternatives de fréquence proportionnelle à leur vitesse de rotation.

### III.2. Généralité sur les machines synchrones

#### III.2.1. Machine synchrone

La machine synchrone est une machine réversible de conversion électromécanique. Elle est principalement utilisée dans le domaine de production d'énergie électrique à partir d'énergie mécanique où elle porte le nom d'alternateur lorsque sa vitesse est fixe (exemple de centrale thermique, hydraulique, nucléaire, etc). Lorsque sa vitesse est variable (exemple de centrale éolienne), elle est dite génératrice synchrone. Elle est rarement utilisée dans le domaine de production d'énergie mécanique à partir d'énergie électrique où elle porte le nom de moteur synchrone car sa vitesse de rotation doit être proportionnelle à la fréquence d'alimentation [14].



**Figure(III.1) :** Les fonctionnements machines synchrone.

#### III.2.2. Moteur synchrone

Les machines synchrones peuvent fonctionner comme générateur ou comme moteur. Lorsqu'on l'utilise comme moteur, on alimente le stator sous une tension alternative pour créer un champ statorique tournant, entraînant le rotor à tourner en synchronisme avec le champ tournant du stator d'où vient le nom moteur synchrone. Cette vitesse est donc liée à la fréquence de la tension d'alimentation du stator en dépit de la charge mécanique entraînée [8].

#### III.2.3. Alternateur synchrone

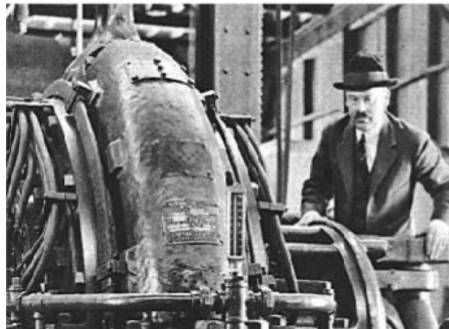
Utilisation d'une machine synchrone en alternateur :

La quasi-totalité de l'électricité produite en Algérie est issue d'alternateur de type synchrone. Ces alternateurs de très forte puissance (jusqu'à 1500 MVA) diffèrent des machines synchrones classiques essentiellement [9]:

- Par leur géométrie : l'augmentation de la puissance des alternateurs entraîne nécessairement une augmentation de leur taille. Afin de réduire les problèmes liés à l'accélération normale à la périphérie du rotor, les fabricants limitent le rayon des machines, ce qui entraîne une augmentation de la longueur.
- Par leur système d'excitation.
- Par leur refroidissement.

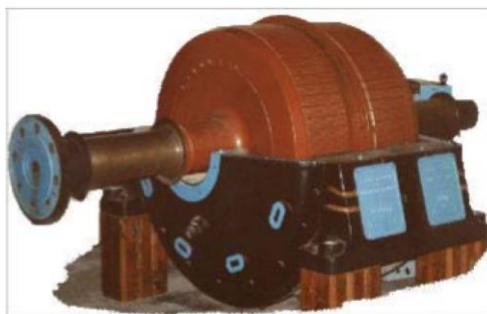
### III.3. Histoire de l'alternateur [13]

- 1765 – Mallet : Machine à produire du courant alternatif.
- 1821 – Faraday fait tourner, à Londres, un fil ou cercle un courant électrique sous l'action du champ magnétique.
- 1832 – Hippolyte Pixii (française, 1808 – 1835) fait tourner un aimant devant une bobine, celle-ci fournit une tension alternative.
- 1867 – Werner von SIEMENS (allemand, 1816 – 1892) remplace l'aimant de la machine de Pixii par un électro-aimant alimenté par le courant produit par la machine elle-même (auto excitation).
- 1882 – Nikola Tesla (Ingénieur en électronique yougoslave, 1856 – 1943) utilisation de courants polyphasés et de champs magnétiques tournant.
- Sebastian ZIANI DE FERRANTI (anglais d'origine italienne, 1864 – 1930), âgé de 18 ans seulement, invente l'alternateur dont le principe est utilisé dans les alternateurs industriels actuels.



**Figure(III.2) :** Alternateur année 1913.

- 1913 – Ernst Alexanderson teste un des premiers alternateurs de puissance de son invention. Ces machines tournent à 2000 tours/minute.



**Figure(III.3) :** La forme d'alternateur dans 1919.

- 1967 - Alternateur triphasé Ducellier.

**III.4. Description des parties essentielles d'un alternateur**

Un alternateur est composé des ensembles suivants [5]:

- le stator (L'induit) : il est composé de la carcasse, du circuit magnétique et des bobinages.
- le rotor (L'inducteur) : il est composé d'un circuit magnétique, de masses polaires et du bobinage polaire.

**III.4.1. Le rotor**

Le rotor peut être à pôles lisses ou à pôles saillants ; dans le premier cas, il comporte un nombre réduit de pôles (2 ou 4) ; dans le deuxième cas, il peut comporter un très grand nombre. Le circuit magnétique est fermé par le stator, sa forme a été choisi de manière à diminuer la longueur des lignes de champ et à éviter les fuites magnétiques. Comme le champ magnétique est fixe par rapport au rotor, on n'a pas de pertes par courant de Foucault dans le rotor, pour cette raison le rotor à pôles lisses est toujours massif. Après sa sortie de fonderie sous forme de cylindre, on y pratique des rainures pour loger les conducteurs des enroulements. Par contre le rotor à pôles saillants est généralement feuilleté pour faciliter sa construction [16].

**III.4.1.A. Pôles saillants**

Ils sont utilisés pour les faibles vitesses de rotation. (Turbines hydrauliques) [16].



**Figure(III.4) :** Rotor à pole saillant.

**III.4.1.B. Pôles lisses**

Ils sont utilisés pour les vitesses de rotation élevées. (Turbines à vapeurs de centrales nucléaires ou thermiques) moins de pôles [16].



**Figure(III.5) :** Rotor à pole lisse.

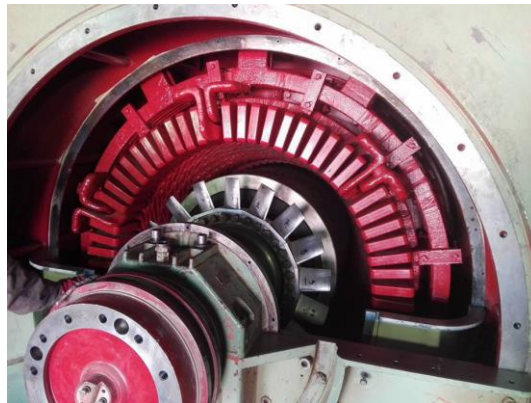


Le champ magnétique est créé par un aimant permanent ou par un électroaimant alimenté par un courant continu  $I_e$ , appelé courant d'excitation. Le rotor tourne à la fréquence  $f$ , et crée un nombre  $p$  de paires de pôles [12].

### III.4.2. Le stator

Le stator comprend un circuit magnétique constitué par un empilage de tôles en forme de couronne, isolées les unes des autres pour limiter les courants de Foucault. L'ensemble des couronnes avec leur isolation est fortement serré, il constitue le circuit magnétique du stator. Dans sa partie intérieure, le circuit magnétique comporte des encoches uniformément réparties dans lesquelles vient se loger l'enroulement triphasé du stator. Le circuit magnétique du stator est en fer afin d'augmenter le champ magnétique engendré par le rotor, il supporte le bobinage du stator. Le bobinage d'un stator triphasé comprend trois bobines décalées l'une par rapport à l'autre de  $120^\circ$ , généralement couplé en étoile [5].

Les deux extrémités de l'enroulement aboutissent chacune à une borne à la plaque de bornes de la machine. Elles constituent l'entrée et la sortie de l'enroulement. Elles ne sont pas connectées ensemble : l'enroulement est ouvert. C'est à l'utilisateur de réaliser le couplage [5].



**Figure(III.6) :** Stator d'un alternateur.

### III.5. Principe de l'alternateur

L'alternateur convertit l'énergie mécanique et magnétique en courant et tension alternatifs, grâce à la rotation d'un champ électromagnétique (rotor), à l'intérieur du stator triphasé. Courant et tension alternatifs sont transformés en courant et tension continus par passage de l'énergie alternative à travers un système triphasé de redressement [].

Généralement, on utilise 6 diodes dc redressement au silicium. Un système de régulateur permet de délivrer un courant, sous une tension constante, en fonction des charges demandées par les consommateurs (batterie, accessoires). Ce système utilise généralement trois diodes auxiliaires d'excitation pour le pilotage en champ inducteur de l'alternateur [11].

Le stator est fixe, à enroulement statorique triphasé, il fournit le courant utilisable alternatif.

Le pont de diodes, ou pont redresseur double alternance, comprend un minimum de six diodes de puissance et de trois diodes d'excitation. Il a pour rôle de redresser le courant alternatif triphasé fourni par le stator [11].

Les balais ont pour rôle d'amener le courant d'excitation jusqu'au rotor, ceux-ci sont pressés contre les bagues collectrices [11].

**III.5.1. Principe des alternateurs de grande puissance**

Les alternateurs commerciaux sont construits avec un inducteur fixe ou un inducteur rotatif. L'inducteur est composé de deux ou de plusieurs pôles produisant un champ magnétique constant. Un alternateur à inducteur fixe a la même apparence extérieure qu'une génératrice à courant continu [11].

Les pôles saillants produisent le champ magnétique qui est coupé par les conducteurs situés sur l'induit. L'induit porte un enroulement triphasé dont les bornes sont connectées à trois bagues montées sur l'arbre. Un groupe de balais fixes recueille la tension triphasée qui est appliquée à la charge. L'induit est entraîné par un moteur à explosion ou toute autre source de force motrice [11].

La valeur de la tension triphasée dépend de la vitesse de rotation et de l'intensité du champ magnétique. La fréquence dépend de la vitesse et du nombre de pôles de l'inducteur. Les alternateurs à inducteur fixe sont utilisés pour des puissances inférieures à 5 KVA. Pour des puissances plus importantes, il est plus économique, plus sécuritaire et plus pratique d'employer un inducteur tournant [11].

**III.6. Force électromotrice**

**III.6.1. Forces électromotrices théoriques**

Pour exprimer la force électromotrice, on suppose que les f.é.m induites dans tous les brins actifs sont en phases d'une part (soit une seule encoche par pôle et par phase) et que ces f.é.m sont rigoureusement sinusoïdales (soit un champ radial rigoureusement sinusoïdal) [21].

Pour mieux expliquer le phénomène, on a deux conducteurs d'une même spire occupent au même instant la même position par rapport à deux pôles consécutifs, compte tenu du couplage, les deux f.é.m s'additionnent arithmétiquement [21].

Si les différentes spires sont superposées, donc tous les conducteurs d'un même pôle sont dans la même encoche, la valeur efficace de la f.é.m totale est la somme arithmétique des valeurs efficace. Soit N le nombre total de conducteur, il y a N/2 spires [21]:

Où :

$$E = 4,44 f \varphi N/2 \tag{III.1}$$

Alors :

$$E = 2,22 f N \varphi \tag{III.2}$$

N : Nombre total de conducteurs.

$\varphi$  : Flux total sous un pôle.

Il peut remplacer  $f$  par  $p n$  pour trouver :

$$E = 2,22 p n N \varphi \tag{III.3}$$

Où :

$p$ : Nombre pair de pole.

$n$  : Vitesse de rotation en (tr/s).

### III.6.2. Force électromotrice réelle

L'expression suivante montre la force électromotrice réelle :

$$E = 2.22 K_d K_f f N \varphi \quad (\text{III.4})$$

Ou:

$K_d$  : Facteur de distribution.

$K_f$  : Facteur de forme.

Le produit ( $k = 2.22 K_d K_f$ ) est nommé coefficient de  $K_{app}$ . Il doit être évalué pour chaque alternateur. Notons cependant que pour un alternateur triphasé,  $K_d < 1$  et  $K_f > 1$  ont un produit voisin de l'unité. La f.é.m. réelle ne diffère de la théorique que de quelques pour cent. Finalement, on exprime la f.é.m. réelle par la relation suivant [8] :

$$E = K f N \varphi \quad (\text{III.5})$$

### III.7. Excitation des alternateurs

La valeur de la tension induite dans un enroulement d'alternateur dépend de trois facteurs [5]:

- la vitesse de rotation de l'alternateur.
- l'intensité du champ magnétique.
- la longueur du conducteur placé dans le champ magnétique.

$$E = BLV \quad (\text{III.6})$$

Etant donné que la vitesse de rotation de l'alternateur doit demeurer constante et que la longueur du conducteur est fixe, le facteur déterminant est l'intensité du champ magnétique. L'intensité du champ magnétique ou densité des lignes de force dépend du courant d'excitation, qui lui-même dépend de la tension d'excitation (loi d'Ohm). C'est donc dire qu'en faisant varier le courant d'excitation (ou la tension), on peut faire varier la tension aux bornes de l'alternateur. Le système d'excitation de l'alternateur est la source du courant continu créant le champ dans l'alternateur [5].

Il y a deux types d'excitation :

- L'excitation dynamique.
- L'excitation statique.

#### III.7.1. L'excitation dynamique

Dans la plupart des systèmes à excitation dynamique la source de courant continu est une génératrice à courant continu fixée en bout d'arbre de l'alternateur. L'usure des balais constitue un inconvénient de ce système [5].

Les anciens alternateurs à bagues ont une extrémité du bobinage réunie à une bague A et l'autre à une bague B. Les bagues sont calées sur l'arbre du rotor avec interposition d'un isolant. Des balais frottent sur les bagues et permettent l'amenée du courant dans le

bobinage. Les connexions des balais de la bague A seront réunies par exemple au pôle positif de la source de courant continu, les connexions des balais de la bague B étant réunies au pôle négatif [5].

### III.7.2. L'excitation statique.

Les alternateurs sans bagues ni balais ont leurs extrémités de bobinages reliées aux pôles positive et négative du pont de diodes tournantes. L'excitatrice est un alternateur triphasé à inducteur fixe (stator) et à induit tournant (rotor). La tension triphasée induite dans le rotor est redressée par des diodes, permettant de fournir le courant d'excitation  $I_r$  au rotor de l'alternateur principal [5].

### III.8. Refroidissement des alternateurs

Même si le rendement des alternateurs est excellent (proche de 99% pour un alternateur 1000MW) les puissances dissipées sous forme pertes joules sont énormes (proche de 1MW pour un alternateur 1000MW) et ceci dans un volume restreint. Il est donc nécessaire de mettre en place des systèmes d'évacuation des calories basés sur l'utilisation de fluides caloporteurs circulants dans le stator, dans le rotor ainsi que dans les conducteurs statoriques [9].

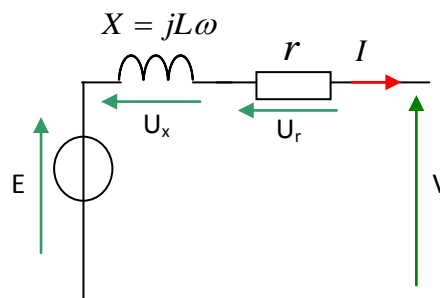
### III.9. Modèle équivalent de l'alternateur

$E$  : f.é.m. à vide (V)

$V$  : tension aux bornes d'un enroulement de la machine (V)

$R$  : résistance de l'enroulement ( $\Omega$ )

$X$  : réactance synchrone ( $\Omega$ )



Figure(III.7) : Schéma équivalent de l'alternateur.

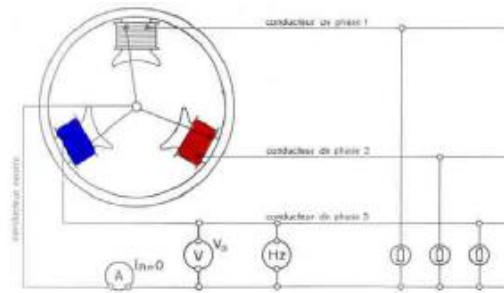
### III.10. Couplage

#### III.10.1. Couplage des alternateurs

Couplage des alternateurs L'alternateur peut être couplé en triangle ou en étoile, la plupart des constructeurs utilisent le raccordement étoile car il offre les avantages suivants [5]:

1) Une tension plus basse dans le bobinage de chacune des phases d'où isolation moindre.

- 2) Coût de construction plus économique.
- 3) Possibilité de protection du bobinage par retour du neutre de l'alternateur (masse stator).



Figure(III.8) : Couplage des alternateurs.

### III.10.2. Couplage des alternateurs sur le réseau

Pour brancher un alternateur sur le réseau ou le coupler avec un autre alternateur, il faut respecter les conditions suivantes [8] :

- 1-la tension de l'alternateur doit être égale à celle du réseau.
- 2-la fréquence de l'alternateur doit être la même que celle du réseau.
- 3- la tension de l'alternateur doit être en phase avec celle du réseau.

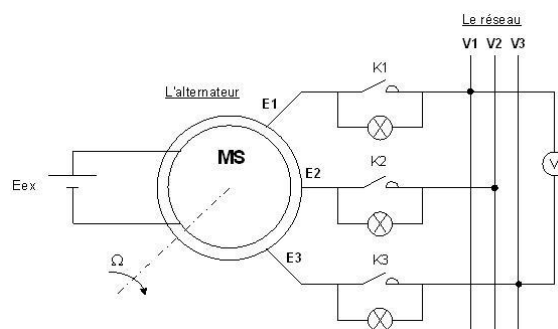
La procédure de synchronisation en agissant sur le régulateur de vitesse de la turbine, on amène tout d'abord l'alternateur à une vitesse voisine de la vitesse synchrone, afin que sa fréquence soit proche de celle du réseau. On règle ensuite l'excitation de façon que la tension induite soit égale à celle du réseau. On observe que les tensions ont même fréquence et même phase au moyen d'un synchroscope [8].

Une fois couplé à un grand réseau (réseau infini), un alternateur fait partie d'un système comprenant des centaines d'autres alternateurs qui alimentent des milliers de charges. Il est alors impossible de préciser la nature de la charge (grosse ou petite, résistive, inductive ou capacitive) branchée aux bornes de cet alternateur en particulier [8].

La tension et la fréquence appliquées aux bornes de la machine étant constantes, on ne peut plus faire varier que deux paramètres [8] :

- 1- le courant d'excitation.
- 2- le couple mécanique exercé par le système d'entraînement mécanique du rotor.

La figure (III.9) représenté le couplage d'un alternateur sur le réseau électrique en utilisation la technique de synchronisation avec des lampes.



Figure(III.9) : Couplage d'une machine synchrone sur un réseau.

### III.11. Bilan de puissance d'un alternateur

#### III.11.1. Puissance utile $P_u$

L'alternateur alimente une charge triphasée équilibrée qui a pour facteur de puissance  $\cos\varphi$ , qui absorbe une intensité  $I$  et qui est alimenté par une tension entre phases (ou tension composée)  $U$ . La puissance utile est donc [4]:

$$P_u = U I \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (\text{III.7})$$

$U$  : Tension entre deux bornes de phases.

$I$  : Intensité du courant de ligne.

$\cos \varphi$  : Facteur de puissance imposé par la charge.

$$\text{En triphasé : } P_u = UI \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (\text{III.8})$$

#### III.11.2. Puissance absorbée $P_a$

La puissance absorbée est mécanique :

$$P_a = \Omega_s \cdot T_M = 2\pi n_s T_M \quad (\text{III.9})$$

$\Omega_s$  : pulsation de rotation en rad.s<sup>-1</sup>.

$n_s$ : vitesse en trs.s<sup>-1</sup>.

$T_M$  : couple utile sur l'arbre en N.m.

Si l'alternateur n'est pas auto-excité il faut encore tenir compte de l'énergie électrique absorbée par l'excitation (rotor) [4].

$$P_a = \Omega_s \cdot T_M + U_e I_e = 2\pi n_s T_M + U_e I_e \quad (\text{III.10})$$

#### III.11.3. Différentes pertes de l'alternateur

Les pertes dans toute machine électrique se traduisent toujours par un échauffement qui doit être limité si on ne veut pas détruire les matériaux constituant les différentes parties de la machine [5].

Les différentes pertes d'un alternateur sont [5] :

- les pertes par effet Joule dans l'induit et dans l'inducteur.
- les pertes par courant de Foucault.
- les pertes par hystérésis.
- les pertes par ventilation de l'alternateur.
- les pertes par frottement de l'arbre de l'alternateur dans ses paliers.
- les pertes supplémentaires.

#### III.11.4. Représentation graphique des différentes pertes

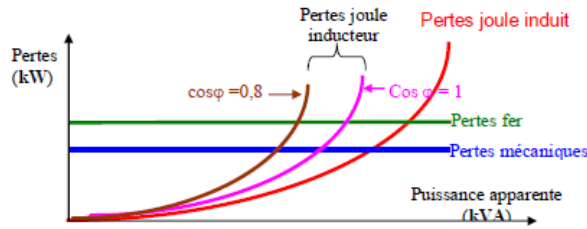
Les pertes de puissance de l'alternateur se divisent en deux catégories [5]:

III.11.4.A. Les Pertes supplémentaires

Elles ne sont pas mesurables ni calculables.

III.11.4.B. Les pertes dites mesurables

Pertes fer, Pertes joules de l'induit, Pertes joules de l'inducteur et les Pertes mécaniques. Les pertes fer et mécaniques sont indépendantes de la charge.



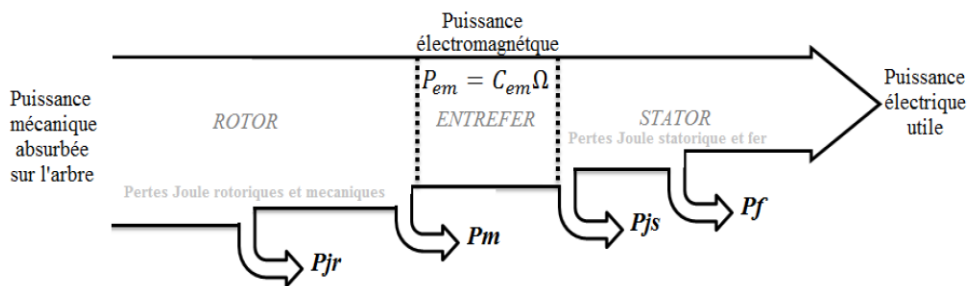
Figure(III.10) : Les différentes pertes.

Les pertes joules de l'induit croissent avec la charge. Les pertes par excitation croissent avec la charge et dépendent du facteur de puissance (surexcitation ou sous excitation pour maintenir constante la tension aux bornes de la charge).

III.11.5. Rendement

La puissance P nécessaire pour l'entraînement de l'alternateur est égale à la puissance utile augmentée des pertes. On peut donc dire que le rendement est égal au rapport de la puissance utile à la puissance utile augmentée des pertes totales p. Nous pouvons écrire que le rendement est égal [5]:

$$\eta = \frac{\sqrt{3} UI \cos\phi}{\sqrt{3} UI \cos\phi + P_{fer} + P_m + P_{ja} + P_{je}} \tag{III.11}$$



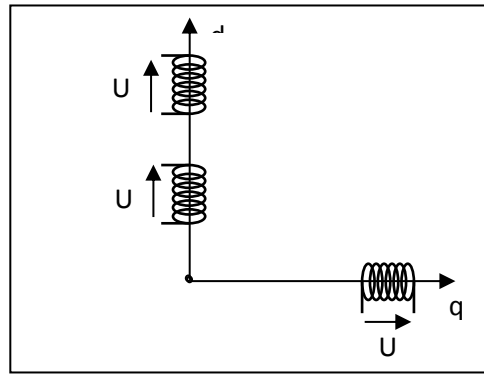
Figure(III.11) : Bilan des puissances d'un alternateur.

**III.12. Modélisation de la génératrice synchrone (alternateur sans amortisseur)**

Tenant compte du référentiel choisi (D, Q) et de nature de la construction de la machine synchrone (alternateur) c'est-à-dire pour les génératrices synchrone sans amortisseur on adapte que [22] :

$$V_{Kd} = V_{Kq} = 0$$

On a selon le système d'axes présenté sur la Figure(III.7) un système de trois équations définies comme suit [22] :



**Figure(III.12) :** Représentation d'un alternateur dans le repère (d q).

$$\begin{cases} -U_{ds} = R_s \cdot I_{ds} + \frac{d(L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_f)}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot I_{qs} \\ -U_{qs} = R_s \cdot I_{qs} + \frac{d(L_s \cdot I_{qs})}{dt} + \omega \cdot (L_s \cdot I_{ds} + M \cdot I_f) \\ U_f = R_f \cdot I_f + \frac{d(L_f \cdot I_f + M \cdot I_{ds})}{dt} \end{cases} \quad (III.12)$$

Mise sous forme matricielle :

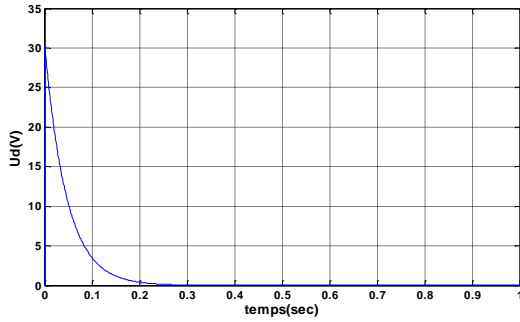
$$\begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} \quad (III.13)$$

Mise sous forme d'équation d'états :

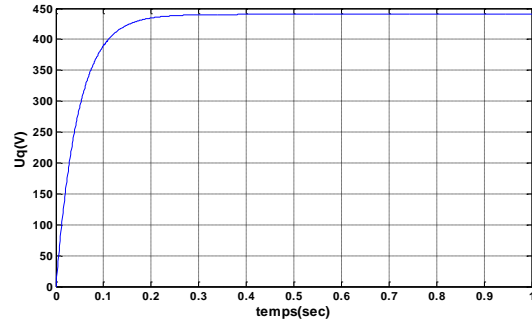
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix} \quad (III.14)$$







c) Tension Ud (V)



d) Tension Uq (V)

**Figure(III.14) :** Résultats de simulation de l'alternateur à vide.

### III.12.3. Modèle de la génératrice synchrone en charge

La génératrice alimente une charge réelle R-L avec une tension d'excitation constante supposée :  $-U_{exe}=220$  (volt).

Le système (I.6) sera :

$$\begin{bmatrix} -U_{ds} \\ -U_{qs} \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ds} & 0 & M \\ 0 & L_{qs} & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & R_s & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} \quad (III.17)$$

Avec :

$$\begin{cases} U_{ds} = R_{ch} \cdot I_{ds} + L_{ch} \cdot \frac{dI_{ds}}{dt} \\ U_{qs} = R_{ch} \cdot I_{qs} + L_{ch} \cdot \frac{dI_{qs}}{dt} \end{cases} \quad (III.18)$$

Si on remplace les expressions d' $U_{ds}$  et  $U_{qs}$  dans le système (I.17)

On aura le système suivant :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (L_{ds} + L_{ch}) & 0 & M \\ 0 & (L_{qs} + L_{ch}) & 0 \\ M & 0 & L_f \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (R_s + R_{ch}) & -\omega \cdot L_{qs} & 0 \\ \omega \cdot L_{ds} & (R_s + R_{ch}) & \omega \cdot M \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_f \end{bmatrix} \quad (III.19)$$

#### III.12.3.A. Equation du mouvement

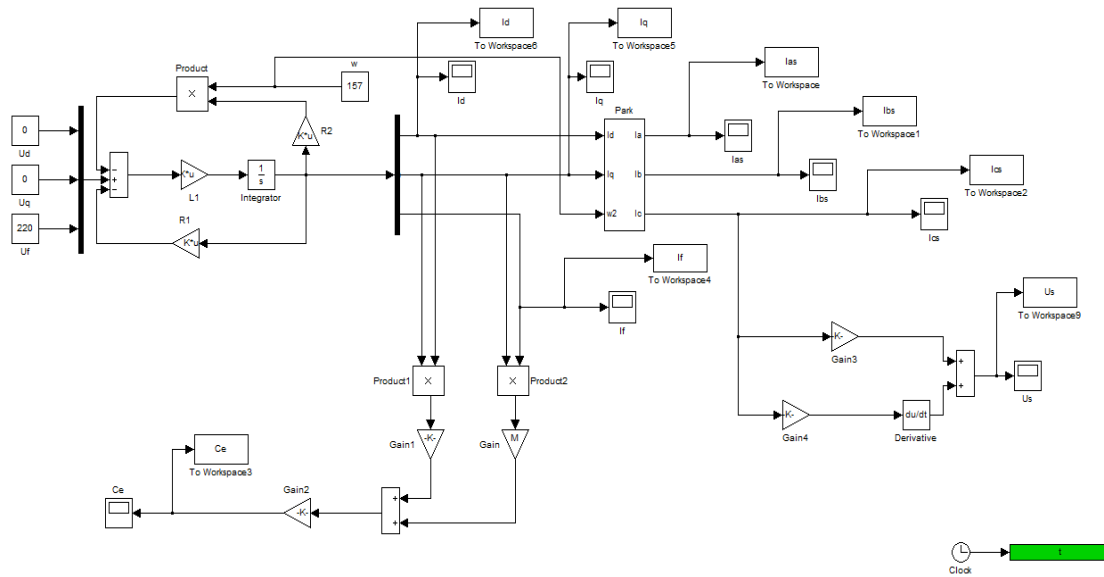
$$C_{em} - Cr = J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (III.20)$$

$\omega_m$  : La pulsation mécanique du rotor.

$C_{em}$  : Le couple électromagnétique.

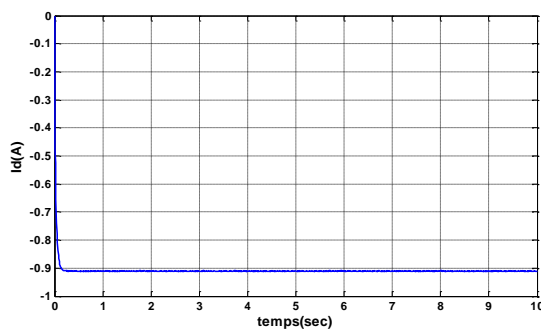
Où :

$$C_{em} = \frac{3}{2} \cdot P \left[ L_d \cdot I_d \cdot I_q - (L_q I_q + M_f I_f) \cdot I_d \right] \quad (III.21)$$

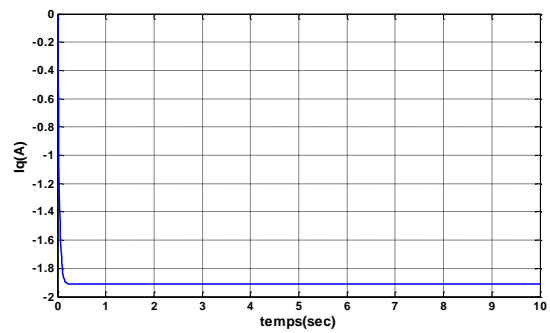


Figure(III.15) : Modèle de l'alternateur en charge (R -L).

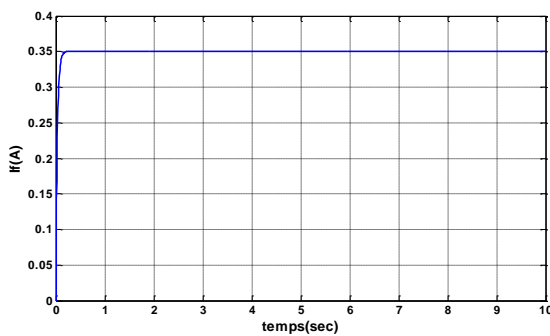
III.12.4. Résultats de fonctionnement en charge de L'alternateur



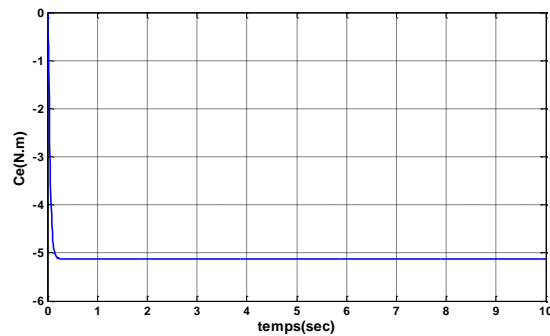
a) Courant Id (A)



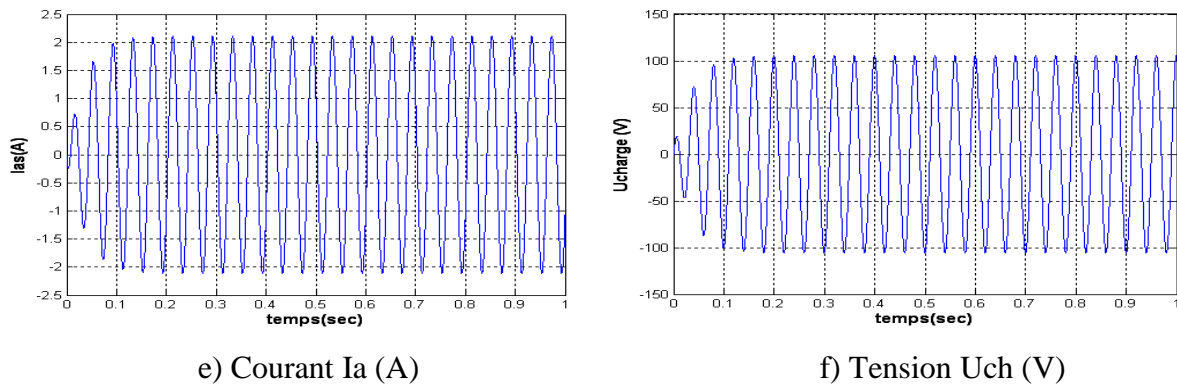
b) Courant Iq (A)



a) Courant If (A)



d) couple électromagnétique (N.m)



**Figure(III.16) :** Résultats de simulation de l'alternateur en charge.

### III.12.5. Les résultats

La variation de la grandeur électrique aux bornes de la génératrice synchrone au cours de ce régime de fonctionnement présente dans les premiers instants un accroissement presque linéaire. À la cour de cette accroissement il se produit la transformation de l'énergie cinétique du rotor tournant en énergie électromagnétique ou inversement.

### III.13. Conclusion

Actuellement, la production de l'électricité est basée sur l'utilisation d'un système électromécanique qui s'appelle alternateur, ce qui montre son importance dans le domaine industriel. Dans ce chapitre, nous avons vu une étude complète concernant l'alternateur, ce dernier est entraîné par une turbine qui fournit l'énergie mécanique à l'entrée de l'alternateur, celui-ci transforme cette énergie en énergie électrique, c'est-à-dire la génération d'électricité. Et enfin, nous avons modélisé de l'alternateur sans amortisseur.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

D'après ce mémoire, nous avons conclu que : Le turboalternateur est un système électromécanique qui est composé par deux sous-systèmes, le premier est la turbine et son principe de fonctionnement est de convertir l'énergie thermique fournie par la chambre de combustion en énergie mécanique et le deuxième est l'alternateur qui transforme cette énergie mécanique en énergie électrique c'est pour ça, ce système est considéré comme un élément très important dans le domaine de génération de l'électricité.

D'abord, nous avons commencé par la présentation de la centrale électrique d' Oumache Biskra, nous a permis de mieux comprendre les étapes et transformations nécessaires pour la production de l'électricité, le rôle des divers organes qui participes à ces transformations (alternateur, compresseur, turbine ....etc.), ainsi que l'importance des auxiliaires intervenant dans un cycle de production.

Ensuite, nous avons vu d'étude de l'alternateur synchrone et simulation de l'alternateur sans amortisseur.

# **Annexe**

## Annexe

**Les paramètres de l'alternateur étudié en simulation sont les suivants :**

$$R_s = 9.9 \Omega$$

$$L_d = 0.74 \text{ H}$$

$$L_q = 0.1818 \text{ H}$$

$$p = 2$$

$$J = 0.001 \text{ Kg.m}^2$$

$$L_{ch} = 0.0006$$

$$L_f = 29$$

$$R_{ch} = 50$$

$$R_f = 628$$

$$M = 4.003$$

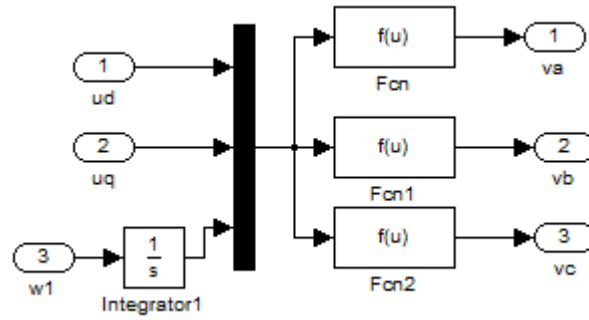
**Transformation diphasé- triphasé « Park inverse »**

$$[X_{abc}] = [p(\theta)]^{-1} [X_{dqo}] \quad (\text{III.22})$$

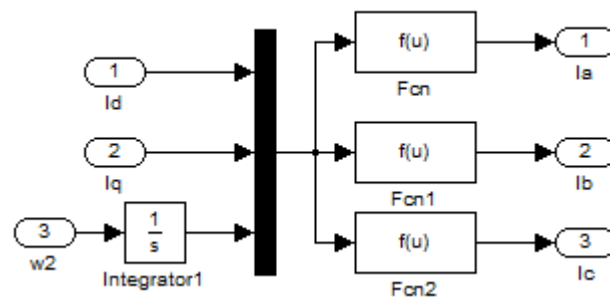
Et la matrice de passage inverse de Park  $[p(\theta)]^{-1}$  est donnée par :

$$[p(\theta)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin \theta & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.23})$$





**Figure (III.17)** : Bloc de transformation de Park inverse (d; q) vers (abc).



**Figure (III.18)** : Bloc de transformation de (id; iq) vers (iabc).

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- [1] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Formation sur site introduction du system BOP ».
- [2] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Formation de base pour personnel de conduite et de maintenance de centrale ».
- [3] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « ECMS ».
- [4] Moteur de recherche GOOGLE « modes de production de l'énergie électrique ».
- [5] **Bapio BAYALA** « LA MACHINE SYNCHRONE » FORMATION CONTINUE – TECHNICIENS SUPERIEURS –INGENIEURS ELECTROTECHNICIENS
- [6] Documentation de projet Oumache, Ref : « BIS EM 511 528 ».
- [7] Documentation de projet Oumache, Ref : « BIS EM 501 901 ».
- [8] **Khalfa Djalal Eddine** « Commande de la puissance injectée par un générateur synchrone connecté au réseau électrique » Mémoire de Master, MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2017.
- [9] **Cours PDF** « Technologies et différents modes d'alimentations des machines synchrones »
- [10] (Centrale nucléaire, Centrale géothermique, Centrale éolienne), URL: [www.Wikipédia.com](http://www.Wikipédia.com).
- [11] **SLIMANI Nadhir** « Etude de la production et de contrôle de l'énergie électrique d'une centrale électrique, Etude de cas centrale électrique Aoumache2-Biskra » Mémoire de Master, Université Mohamed KHIDER Biskra, 2017.
- [12] **M.S Cours Word** « Cours alternateur »
- [13] **OLYMPIADES DE PHYSIQUE** Compte rendu pour Paris « Les alternateurs de voiture, Comment passer d'un alternateur pédagogique à un alternateur de voiture? ».
- [14] **Cours PDF**« Caractéristiques de la Machine Synchrone ».
- [15] **GHENISSA Hocine** « Etude comparative de l'alimentation en électricité d'un site isole par voie classique et système photovoltaïque cas de wilaya de Biskra LABRECH-TOLGA » Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [16] Etudes supérieures (Ingéniorat électricité 4ème année Machines électriques II)  
« Théorie des machines synchrones- Alternateur »

[17] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Description du convertisseur de fréquence statique SFC ».

[18] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Description de l'équipement d'excitation SEMIPOL® D3 SEE ».

[19] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Système de démarrage statique pour groupe ».

[20] Manuel de formation professionnel relative au projet Oumache « Présentation de la centrale turbines à gaz Oumache (Biskra) ».

[21] **ELKALI laid** « Etude et modélisation d'un turbo-alternateur » Mémoire de Master, Université de M'SILA, 2014.

[22] **boutera youcef, Khettache laid** « Modélisation et Simulation de la Génératrice Synchrones » Mini projet.