

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.MIRA-BEJAIA  
Faculté Technologie  
Département de Génie électrique



# Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Energie renouvelable

Option : Energie renouvelable en électrotechnique

*Thème*

**Etude et calcul du rendement de l'alternateur de la  
central à vapeur de Cevital**

Présenté par

Promoteur

Encadreur de Cevital

1. Mr. BENNOUCHEN Mustapha    Mr. ALITOUCHE.K    Mr. MABED.A
2. Mr. BENCHIBANE Samir

*Année Universitaire : 2017/2018*

---

# *Remerciement*

*Nous louons DIEU, tout-puissant, de nous avoir donné la volonté et la santé pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier, tout d'abord l'ensemble du personnel du groupe CEVITAL pour nous avoir accueilli au sein de leur entreprise, afin d'y accomplir notre projet de fin d'études.*

*Nous remercions particulièrement l'encadreur de stage Mr. MABED Akli, pour sa disponibilité, ses conseils et pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long du projet.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur Mr. ALITOUCHE Karim, pour nous avoir conseillé et orienté tout le long de ce travail ; nous tenons à lui exprimer notre sincère reconnaissance pour son aide précieuse et sa disponibilité.*

*Nos vifs remerciements au membre de jurys de bien vouloir accepter d'évaluer notre travail.*

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à  
mes parents  
qui m'ont toujours appuyé  
dans  
mes choix, et encouragé,  
aussi mes frère, et  
toute la famille.

*Bennouchen Mustapha*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes parents*

*A mes frères et sœurs*

*A toutes ma grande famille*

*A tous mes amis*

*BENCHIBANE Samir*

---

## **Table des matières**

---

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale .....1

## **Chapitre I: Présentation de la centrale à vapeur de Cevital**

I.1 Introduction..... 2

I.2 Présentation de groupe Cevital ..... 2

    I.2.1 Situation géographique..... 2

    I.2.2 Activités de Cevital ..... 3

I.3 Différentes organes constituant le complexe Cevital ..... 3

I.4 La centrale à vapeur de Cevital (Turbo-alternateur)..... 6

    I.4.1 Description de la cogénération ..... 6

    I.4.2 La composition de la centrale à vapeur de Cevital..... 7

        I.4.2.1 La cogénération du groupe Cevital..... 7

        I.4.2.2 Turbine à vapeur ..... 9

        I.4.2.3 Réducteur ..... 9

        I.4.2.4 Alternateur ..... 9

    I.4.3 Les principaux systèmes assurant le fonctionnement du groupe turbo alternateur..... 10

        I.4.3.1 Système d'huile de lubrification ..... 11

        I.4.3.2 Système d'huile haute pression HP ..... 11

        I.4.3.3 Système vireur et groupes de soulèvement..... 11

I.5 Conclusion ..... 12

## **Chapitre II: Etude de l'Alternateur synchrone de Cevital**

II.1 Introduction .....13

II.2 Généralités sur les machines synchrones .....13

    II.2.1 Définition .....13

    II.2.2 Constitution.....13

    II.2.3 Principe de fonctionnement .....14

    II.2.4 Les alternateurs triphasés .....15

    II.2.5 Bilan des puissances – Rendement .....19

    II.2.6 Les domaines d'application des machines synchrones .....20

II.3 Alternateur de la centrale à vapeur de Cevital.....	20
II.3.1 Description de l’alternateur de Cevital.....	21
II.3.1.1 Constitution du Stator.....	21
II.3.1.2 Description du rotor.....	23
II.3.2 Système de refroidissement de l’alternateur.....	24
II.3.3 Principe de fonctionnement d’alternateur.....	25
II.3.4 Procédure de démarrage.....	27
II.3.5 Synchronisation de l’alternateur.....	28
II.3.6 Dispositif de controle.....	28
II.3.7 Caractéristiques de fonctionnement d’alternateur.....	31
II.3.8 Avantage de l’alternateur JISALT 435 MEGA.....	31
II.4 Conclusion.....	32

### **Chapitre III: Calcul du rendement de l'Alternateur**

III.1 Introduction.....	33
III.2 Les caractéristiques de l’alternateur.....	33
III.3 Etude de l’alternateur.....	34
III .3.1 Essai à court-circuit de l’alternateur.....	34
III.3.2 Essai en charge de l’alternateur.....	35
III.3.2.1 Rappel sur l’essai en charge.....	35
III.3.2.2 Procédure de l’essai en charge.....	37
III.3.2.3 Calcul des pertes de l’alternateur.....	38
III.3.2.4 Calcul des différentes puissances de l’alternateur.....	39
III.3.2.5 Calcul du rendement de l’alternateur.....	40
III.3.2.6 Interprétation des résultats en charge.....	44
III.4 Conclusion.....	44
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>45</b>

#### **Références bibliographiques**

---

## Liste des figures

---

## Liste des figures

### Chapitre I

Figure I.1. Situation géographique du complexe Cevital.....	3
Figure I.2. Organigramme du complexe Cevital.....	5
Figure I.3. Organigramme de la direction énergie.....	6
Figure I.4. Vue générale de deux groupes turbo-alternateur.....	6
Figure I.5. Principe de fonctionnement de la cogénération.....	7
Figure I.6. Principe de fonctionnement du groupe turbo-alternateur.....	9
Figure I.7. Composition du turbo-alternateur de Cevital.....	9

### Chapitre II

Figure II.1. Machine à pôles lisses.....	14
Figure II.2. Machines à pôles saillants.....	14
Figure II.3. Symboles et conventions.....	15
Figure II.4. Caractéristique à vide.....	16
Figure II.5. Caractéristique en charge.....	17
Figure II.6. Modèle d'une phase.....	17
Figure II.7. Diagramme de Fresnel.....	17
Figure II.8. Caractéristiques à vide et en court-circuit.....	18
Figure II.9. Alternateur non saturé.....	19
Figure II.10. Arbre des puissances.....	19
Figure II.11. La chaîne de production d'énergie électrique à base d'une MS3E.....	21
Figure II.12. Système de ventilation.....	25
Figure II.13. Schéma du système d'excitation.....	27
Figure II.14. Armoire d'excitation.....	30

### Chapitre III

Figure III.1. Schéma du câblage d'essai en court-circuit.....	34
Figure III.2. Courbe en court-circuit de l'alternateur.....	35
Figure III.3. Alternateur flottant sur le réseau.....	36
Figure III.4. L'alternateur surexcité fournit de la puissance réactive au réseau.....	36
Figure III.5. L'alternateur sous-excité absorbe de la puissance réactive.....	37
Figure III.6. Effet de couple mécanique sur le réseau.....	37
Figure III.7. Schéma du câblage de l'alternateur en charge.....	38

Figure III.8. Diagramme des puissances actives et réactives .....	42
Figure III.9. La courbe $\eta=f(P_u)$ .....	43
Figure III.10. La courbe de constructeur $\eta=f(P_u)$ .....	44

---

## Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

Tableau I.1. Caractéristiques de la turbine à vapeur de Cevital .....	9
Tableau I.2. Caractéristique de l'alternateur de Cevital .....	10
Tableau II.1. Unités des différentes puissances .....	19
Tableau II.2. Caractéristiques de l'alternateur .....	31
Tableau III.1 Plaque signalétique de l'alternateur de Cevital . .....	35
Tableau III.2. Les résultats de essai en court-circuit de l'alternateur.....	35
Tableau III.3. Les résultats des essais en charge de l'alternateur.....	41
Tableau III.4 Résumé des $\cos \varphi$ et $\sin \varphi$ .....	42
Tableau III.5. Les valeurs du rendement en fonction de la puissance utile .....	43
Tableau III.6. Les valeurs de rendement en fonction de la puissance débité $\eta=f(P_a)$ (constructeur) .....	44

---

## Liste des abréviations

---

## Liste des abréviations

SONELGAZ : Société nationale de l'électricité et du gaz	$I_{CC\text{ Eff}}$ : Courant de court-circuit efficace au stator
$S_n$ : Puissance apparente	$E$ : fém à vide
$P_n$ : Puissance active	$V$ : Tension à la borne du stator
$\cos \varphi$ : Facteur de puissance	$\underline{U}_X$ : Tension de la réactance synchrone
$U_n$ : Tension nominal	$\underline{U}_R$ : Tension de la résistance statorique
$I_n$ : Courant nominal	$\underline{E}_{Ch}$ : Tension de charge
$F$ : Fréquence	$\delta$ : Angle de décalage interne/angle électrique.
GTA : Groupe turboalternateur	$\phi$ : Déphasage entre le courant et la tension
HP : Haute pression	$R$ : Résistance d'un enroulement (V)
Fém : Force électromotrice	$X$ : Réactance synchrone (V)
$E_{\text{Eff}}$ : Valeur efficace de la f.é.m. à vide (V)	$L$ : Est une inductance
$K$ : Coefficient de Kapp	$\theta$ : L'angle mécanique
$N$ : Nombre de conducteurs actifs	$P_A$ : Puissance Absorbée sur l'arbre
$f$ : Fréquence de la tension induite en Hz	$P_{Je}$ : Perte Joule d'excitation
$\Phi_{\text{Max}}$ : Flux maximal embrassé par une spire en Wb.	$P_{Js}$ : Pertes Joule statoriques
$\varphi$ : Le flux	$P_u$ : Puissance utile
$E_{\text{eff}}$ : fém rémanente	$P_{FS} = P_{\text{fer}}$ : Pertes fer satoriques
$E_{\text{eff}} = \text{fém à vide}$	$P_m = P_{\text{mec}}$ : Pertes mécaniques
$I_e$ : Courant d'excitation	$P_{\text{em}}$ : Puissance électromagnétique
$P$ : Point de fonctionnement	$T_{\text{em}}$ : Couple électromagnétique
$n$ : La vitesse de rotation du rotor en tr/s	$\Omega$ : La vitesse de rotation rad/s
$V_{\text{eff}}$ : Tension efficace d'un enroulement (V)	$T_M$ : Couple mécanique
$I_{\text{eff}}$ : Courant efficace d'un enroulement (A)	$R_1$ : Résistance entre deux phases du stator
	$U_e$ : Tension d'excitation

$r$  : La résistance du circuit d'excitation

$\eta$  : Rendement

MS3E : Machine Synchrone à trois étages

TAV : Turbine à vapeur

MSAP : Machine Synchrone à aimant permanent

MSI : Machine synchrone inverse

MS : Machine Synchrone principale

$\Omega_s$  = La vitesse angulaire du champ magnétique tournant au stator

$\Omega_r$  : La vitesse angulaire du champ magnétique tournant au rotor

$P$  : Nombre de pair de pôle

CC : Courant continue

AVR : Excitation - Régulation

ECP : Excitation et régulation de la tension et / ou de la puissance réactive et/ou  $\cos \phi$ .

$\cos \phi$  : facteur de puissance

GPCP : Contrôle des capteurs sensitifs de l'alternateur et des équipements associés (température, pression)

GCP : Mesures et synchronisation.

GPP : Protections électriques de l'alternateur

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit

$I_{ex}$  : Courant d'excitation de machine principale

$I_a$  : Courant d'excitation qui sort de la machine à aimant permanent

$E_0$  : La tension induite

$V_b$  : La tension du réseau

$E_x$  : Différence de potentiel aux bornes de la réactance synchrone

$I$  : Courant de sortie de l'alternateur

$E_b$  : La tension du réseau

$P_{jr}$  : Les pertes joule rotorique

$R_s$  : Résistance entre deux enroulement statorique

$R_r$  : Résistance rotorique

$P_c$  : Pertes collectives

$P_{sup}$  : Pertes supplémentaires

$U$  : Tension de sortir au borne de l'alternateur

$P_{te tot}$  : Pertes totales

$P_a$  : Perte active

$Q$  : Puissance réactive

$S$  : Puissance apparente

$T_m$  : Couple mécanique

$I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  : Courants de sortie aux bornes de l'alternateur

$V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$  : Tensions de sortie aux bornes de l'alternateur

RQ : Remarque

---

## **Introduction générale**

---

## Introduction général

Le développement économique et industriel dans le monde actuel a contribué à une augmentation de la consommation de l'énergie électrique, qui a pour conséquence, un accroissement de puissance à générer par les réseaux d'alimentation, pour éviter la sur charge de ces derniers, les grandes entreprises cherche toujours d'être autonome énergétiquement.

Dans le souci de répondre aux besoins d'adaptation aux exigences mondiale et d'être compétitif sur le marché, Cevital-Bejaia a opté pour l'installation d'une centrale à vapeur au sein d'une cogénération qui comporte deux turbines à vapeurs couplées avec deux alternateurs, et afin de répondre à ses nécessités en matière d'énergie électrique et de vapeur.

L'alternateur ou la machine synchrone est un élément principal, parmi les éléments constituant la centrale à vapeur à pour objectif de convertir l'énergie mécanique fournit par la turbine en énergie électrique avec un rendement très haut. En effet, la maîtrise et l'identification de la quantité de pertes d'énergie électrique dans l'alternateur permettent de déterminer le rendement du système, de plus le choix de la plage de fonctionnement en mode de production de l'alternateur proche de son rendement nominal c'est très important, en vue d'économiser l'énergie.

Notre but est de faire une étude complète et détaillée sur l'alternateur de la centrale à vapeur basée sur le calcul de rendement de cette machine.

Pour cela nous allons adopter le plan suivant :

Dans le premier chapitre nous exposerons brièvement le complexe de Cevital Bejaia, puis nous donnerons un aperçu sur la centrale à vapeur de l'entreprise, ainsi que ses composantes principales.

Le second chapitre sera consacré aux généralités sur les machines synchrones en fonctionnement alternateur, suivi d'une description détaillée de l'alternateur utilisé dans la chaîne de conversion de l'énergie électrique au niveau de la centrale, en passant par sa constitution, principes de fonctionnement, système d'excitation et les procédures de démarrage, afin de pouvoir identifier ses paramètres internes.

Le troisième chapitre sera centré sur l'analyse fonctionnelle de l'alternateur, en s'intéressant à des essais expérimentaux, qui nous permettront de déterminer les différentes pertes pour calculer et évaluer le rendement de l'alternateur.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

---

## **Chapitre I : Présentation de la centrale à vapeur de Cevital**

---

## I.1 Introduction

Cevital comme toute autre industrie a besoin de développer son secteur d'activité et de faire des extensions pour ses installations pour augmenter la productivité et la compétitivité de ces produits et assurer la continuité de service pour faire face à la concurrence.

Ces extensions exigent une demande de puissance supplémentaire que le réseau SONELGAZ ne peut pas fournir, alors Cevital a opté pour une production autonome de l'énergie électrique en installant la cogénération.

Il a été procédé donc à l'installation de deux groupes blocs (turbine-alternateur, transformateur) de 25 MW de puissance chacun. Cette puissance installée étant largement supérieure au besoin du complexe. La rétrocession de l'excédent au réseau SONELGAZ est une possibilité envisagée.

## I.2 Présentation de groupe Cevital

### I.2.1 Situation géographique

Le complexe agro-alimentaire de Cevital se situe dans la ville historique de Bejaia à quelques 250 Km à l'est d'Alger installé au sein même du port, bénéficiant d'une situation idéale pour tous ses échanges commerciaux.



Photo en 2D



photo en 3D

Figure I.1. Situation géographique du complexe Cevital. [1]

## I.2.2 Activités de Cevital

Le complexe raffine du sucre de canne et du corps gras alimentaire. Il est doté de silos de stockage portuaire d'une capacité de 180.000 tonnes pour le sucre et les céréales. Sa raffinerie de sucre déploie actuellement une capacité de traitement de 1850 tonnes/jour. [2]

Elle produit un sucre cristallisé blanc parfaitement conforme aux normes internationales. Pour répondre aux attentes de ses clients industriels, une unité du sucre liquide 100% saccharose a été également lancée. Une autre raffinerie de sucre, d'une capacité de 3000 tonnes/jour est entrée en production depuis 2009, doté d'un silo de 230.000 tonnes additionnel. Le complexe Cevital est le plus important exportateur du sucre de la région. [2]

Avec la raffinerie d'huile végétale, Cevital dispose d'une capacité de 1800 tonne/jour pour les corps gras alimentaire liquide et solide. De par des installations ultramodernes, entièrement automatisé et un savoir-faire, Cevital permet de raffiner tous types d'huiles y compris les compositions nutritionnelles les plus sophistiquées. L'intégration de l'ensemble du processus de conditionnement est pratiquement totale. [2]

## I.3 Différents organes constituant le complexe Cevital

L'organigramme suivant donne une vue générale des différents organes constituant le complexe Cevital.

# CHAPITRE I : Présentation de la centrale à vapeur de Cevital

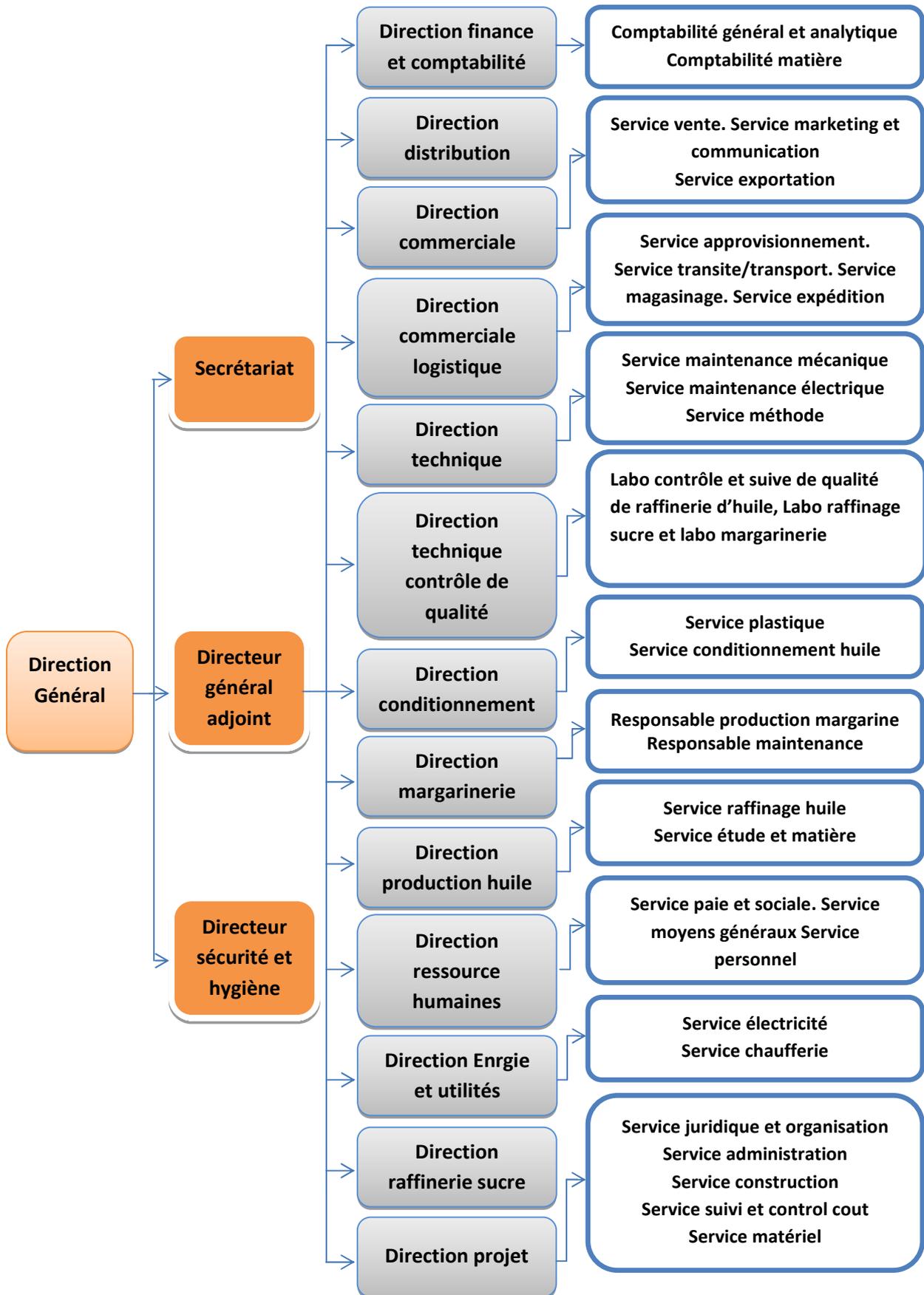


Figure I.2. Organigramme du complexe Cevital. [3]

# CHAPITRE I : Présentation de la centrale à vapeur de Cevital

- **Direction d'énergie**

La direction énergie est constituée de deux départements qui sont :

- Département électrique (production et distribution de l'énergie électrique) on distingue:
  - Le poste 60 kV.
  - Le poste 30 kV.
  - La cogénération.
- Département chaufferie (production et distribution de la vapeur).

Les différents départements de la direction énergie sont représentés dans l'organigramme suivant : [3]

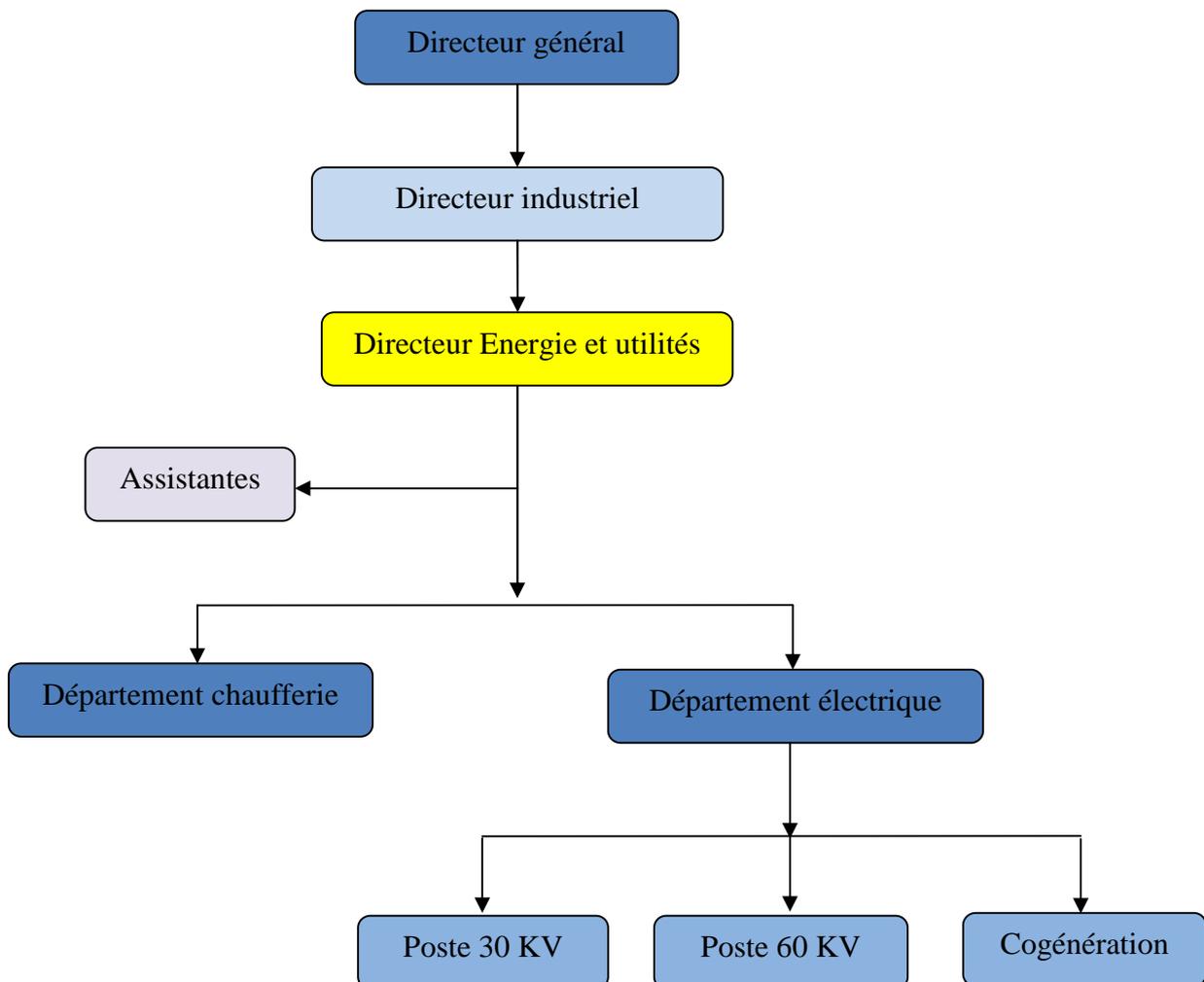


Figure I.3. Organigramme de la direction énergie. [3]

## I.4 La centrale à vapeur de Cevital (Turbo-alternateur)



Figure I.4. Vue générale de deux groupes turbo-alternateur.

### I.4.1 Description de la cogénération

La cogénération consiste à produire et à utiliser simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir d'une même énergie primaire et au sein de la même installation. Elle se base sur le fait que la production d'électricité (à partir d'un moteur thermique ou d'une turbine) dégage une grande quantité de chaleur habituellement inutilisée. La cogénération valorise cette chaleur afin d'atteindre un rendement énergétique global pouvant atteindre 85%. [4]

Une installation classique obtient un rendement électrique d'environ 35%, tandis que le reste de l'énergie (65%) est perdu sous forme de chaleur. Dans un système en cogénération, 30 à 35% de l'énergie primaire est transformée en électricité grâce à un alternateur, tandis que 65% se retrouve sous forme de chaleur, dont 50 à 55% est récupérée pour chauffer un circuit d'eau au travers d'un échangeur. Cette eau peut être utilisée pour le chauffage des bâtiments, de l'eau chaude sanitaire, ou pour des procédés industriels. L'électricité produite sera quant à elle consommée sur place ou revendue sur le réseau électrique public. [4]

# CHAPITRE I : Présentation de la centrale à vapeur de Cevital

La cogénération permet aussi d'optimiser la consommation du combustible initial et de réduire les rejets de gaz à effet de serre. Toutefois, les installations de cogénération doivent produire au plus près des lieux de consommation car la chaleur se transporte mal. [4]

La cogénération peut être utilisée à grande échelle (installations industrielles, centrales électrothermiques...), ainsi qu'à petite échelle : dans le résidentiel, la micro-cogénération peut produire une base de chaleur et d'électricité. [4]

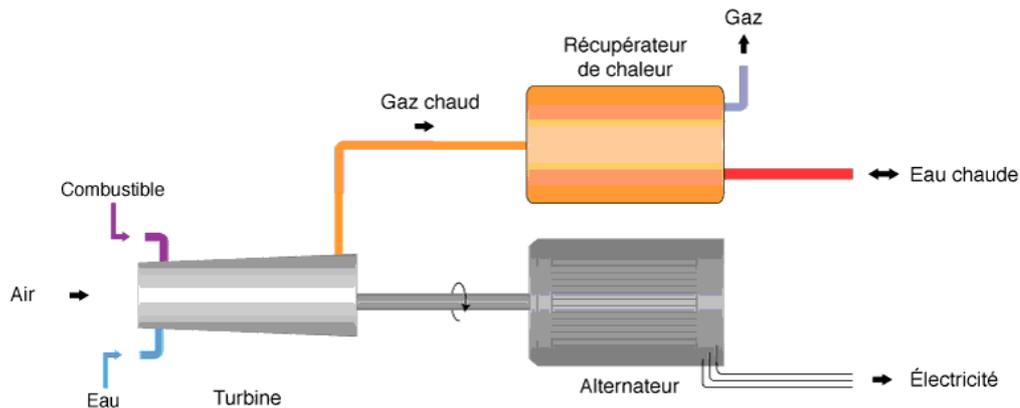


Figure I.5. Principe de fonctionnement de la cogénération. [4]

## I.4.2 La composition de la centrale à vapeur de Cevital

### I.4.2.1 La cogénération du groupe Cevital

L'installation de l'unité cogénération a pour but de satisfaire les besoins du complexe en matière d'énergie, elle sert essentiellement à produire de la vapeur, et avoir de l'énergie thermique qu'on exploite pour obtenir la vapeur utilisée dans tout le complexe qu'on utilise aussi dans les raffineries d'huile du sucre et la partie production d'électricité. [6]

Cette installation est composée de deux parties, qui sont :

- La partie production de vapeur.
- La partie production d'électricité. [6]

#### Partie production de vapeur

Elle sert à produire de la vapeur surchauffée à pression et température prédéterminées, ses principaux équipements sont :

- la bache eau ultra pure ;
- Turbo pompe ;

- Économiseur ;
- Le ballon (séparateur) ;
- Chaudière. [6]

## Partie production d'électricité

La partie production d'électricité se compose de deux groupes turbo-alternateur dans cette partie la vapeur produite dans la partie précédente est transporté sous haute température et haute pression vers une turbine où l'énergie thermique se transforme en énergie mécanique, celle-ci sera par la suite transformée en énergie électrique via un alternateur.

C'est se qu'on appelle le groupe turbo alternateur. [6]

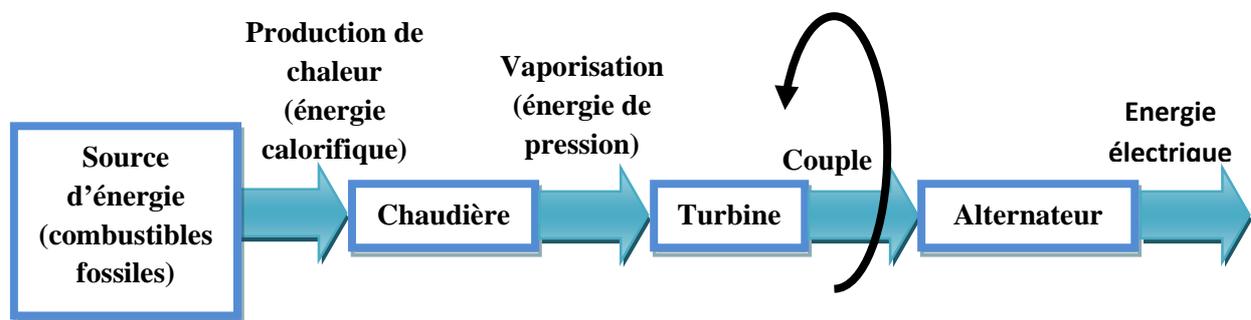


Figure I.6. Principe de fonctionnement du groupe turbo-alternateur. [6]

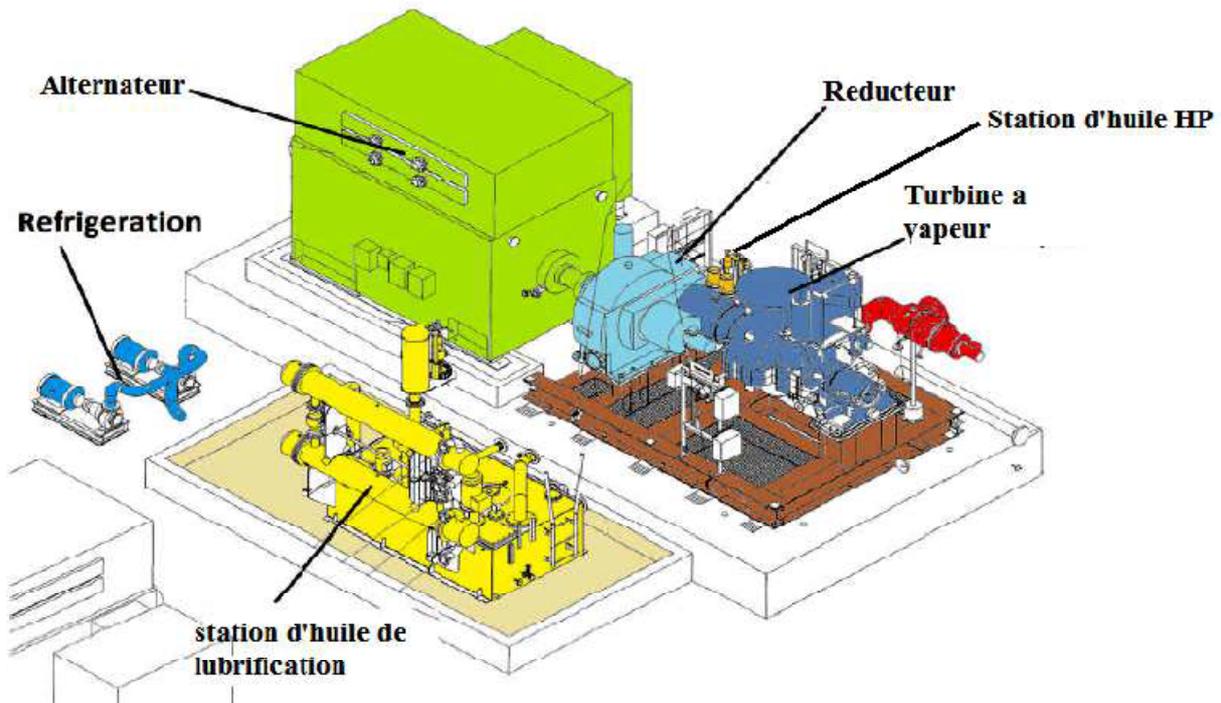


Figure I.7. Composition du turbo-alternateur de Cevital. [6]

## I.4.2.2 Turbine à vapeur

Les deux turbines utilisées dans le complexe Cevital sont à vapeur TYRMODYN à contre pression de type 6-7 MP5.

Le rôle de la turbine à vapeur est de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique dans les aubes du rotor qui entraîne un arbre couplé à un alternateur via un réducteur, elle est constituée de : stator, rotor, paliers, butée. Ses principales caractéristiques sont illustrées dans le tableau 1. [6]

<b>Vitesse de rotation turbine</b>	<b>5900 tr/min</b>
<b>Survitesse électrique</b>	<b>6490 tr/min</b>
<b>La pression normale de fonctionnement</b>	<b>54 bar</b>
<b>La pression maximale de fonctionnement</b>	<b>60 bar</b>
<b>La température normale de fonctionnement</b>	<b>476 °C</b>
<b>La température maximale de fonctionnement</b>	<b>480 °C</b>
<b>Le taux moyen maximal de variation de la température vapeur admission</b>	<b>165°C/heure</b>
<b>Le taux maximal admissible</b>	<b>540°C/heure</b>

Tableau I.1. Caractéristiques de la turbine à vapeur de Cevital. [6]

## I.4.2.3 Réducteur

L'usage d'un réducteur est nécessaire pour réduire la vitesse de rotation de 5900 tr/min à 1500 tr/min. [6]

## I.4.2.4 Alternateur

L'alternateur installé au sein du complexe est de marque JISALT 435 MEGA. C'est une machine synchrone triphasée, à quatre pôles, à arbre horizontal et qui comporte une auto-ventilation.

L'alternateur est formé d'un bloc unique qui comprend :

## CHAPITRE I : Présentation de la centrale à vapeur de Cevital

- Un stator intégrant un caisson d'entrée et de sortie d'air installé sur sa partie supérieure ; des bus en cuivre provenant des sorties phase et neutre sont situés latéralement ;
- Un rotor et son dispositif d'accouplement ;
- L'alternateur d'excitation, le redresseur tournant et l'alternateur à aimants permanents (PMG) sont situés sur l'alternateur ;
  - Deux paliers ;
  - Un système de refroidissement au moyen d'un circuit de ventilation fermé ;
  - Un groupe de soulèvement qui permet de diminuer les efforts sur les coussinets.

Ses caractéristiques principales sont illustres dans le tableau ci-dessous. [6]

<b>puissance apparente Sn</b>	<b>31375 KVA</b>
<b>Puissance active Pn</b>	<b>25100 KW</b>
<b>Facteur de puissance cos <math>\varphi</math></b>	<b>0.8</b>
<b>Vitesse</b>	<b>1500 tr/min</b>
<b>Survitesse</b>	<b>1800 tr/min pendent 2 min</b>
<b>Tension nominal Un</b>	<b>11 KV</b>
<b>Courant nominal In</b>	<b>1647 A</b>
<b>Fréquence f</b>	<b>50 Hz</b>
<b>Indice de protection</b>	<b>IP 54</b>
<b>Indice de refroidissement</b>	<b>IC 8A1W7</b>
<b>Mode d'excitation</b>	<b>Tournante</b>

Tableau I.2. Caractéristique de l'alternateur de Cevital. [6]

### I.4.3 Les principaux systèmes assurant le fonctionnement du groupe turbo alternateur

Pour le bon fonctionnement du groupe turbo-alternateur, plusieurs système sont indispensables, vu que le GTA et constitué principalement de pièces mécaniques (engrenage, palier, buté...). La lubrification est essentielle, elle permet de réduire les frottements, l'usure entre les éléments qui sont en contact et en mouvement permanent. Elle permet aussi

d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion. [6]

- Un système d'huile HP
- Système vireur et groupes de soulèvement. [6]

### **I.4.3.1 Système d'huile de lubrification**

Il s'agit d'un ensemble d'éléments reliés entre eux, cet ensemble est composé d'un réservoir, pompes, réfrigérants, filtres, raccords, tuyaux et appareils de contrôle.

Il est destiné à alimenter en huile propre et à bonne température et basse pression le circuit de lubrification des paliers et butées de la turbine, du réducteur et de l'alternateur. [9]

### **I.4.3.2 Système d'huile haute pression HP**

Le système d'huile HP est destiné à alimenter les vérins d'admission de vapeur à la turbine en huile haute pression à 130 bars :

- Le vérin de commande de la vanne d'arrêt ;
- Le servo-vérin de commande des soupapes d'admission vapeur ;
- Le servo-vérin de commande de l'obturateur à grille. [6]

### **I.4.3.3 Système vireur et groupes de soulèvement**

#### **- Groupe de soulèvement**

Le rôle du groupe de soulèvement alternateur est de permettre de soulever le rotor alternateur, lorsque la machine est arrêtée, afin de réduire le couple de démarrage que le vireur doit fournir pour démarrer la ligne d'arbre complète. [9]

#### **- Rôle du vireur**

Lors du démarrage ou de l'arrêt turbine, il est nécessaire de virer la ligne d'arbre à faible vitesse pour éviter une déformation ou éventuellement redresser, le rotor turbine. [9]

#### **- Fonctionnement**

L'autorisation de démarrage est donnée si : soit le vireur, soit le groupe de soulèvement est en mode automatique et le système d'huile de lubrification est en service.

L'autorisation d'arrêt est donnée si la vanne d'arrêt est fermée, le disjoncteur alternateur ouvert et la vitesse de la turbine est inférieure à 350 tr/mn depuis plus de 10h. [9]

## I.5 Conclusion

Pour conclure nous avons décrit une présentation globale de complexe Cevital accordé à une stratégie économique concentrée sur la partie de la production d'énergie électrique et énergie thermique qui se traduit par un système de cogénération.

En effet la cogénération fait partir des techniques les plus efficace énergétiquement pour l'utilisation des énergies fossiles et a pour avantage principal son rendement optimisé (de 60 à 80%).

Ce chapitre nous servira comme une porte, nous permettant d'accéder à une composante principale dans le système de cogénération qui est l'alternateur synchrone.

---

## **Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone de Cevital**

---

# Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

## II.1 Introduction

Le complexe Cevital a diverses activités qui nécessitent la mobilisation d'une grande quantité d'énergie électrique. Pour assurer l'alimentation avec une telle puissance, Cevital utilise une centrale à vapeur à deux alternateurs.

Les machines synchrones triphasées en fonctionnement génératrices constituent la source primaire de toutes les énergies électriques que nous consommons. Ces machines constituent les plus gros convertisseurs d'énergie au monde, elles transforment l'énergie mécanique à l'entrée en énergie électrique avec des puissances importantes.

Dans ce chapitre nous ferons quelques rappels sur les alternateurs, leur modélisation et leurs caractéristiques. Ensuite, nous allons donner un aperçu sur la machine utilisée dans la centrale à vapeur de Cevital.

## II.2 Généralités sur les machines synchrones

### II.2.1 Définition

Toute machine électrique dont la vitesse de rotation du rotor est égale à la vitesse de rotation du champ tournant est appelé machine synchrone. Pour l'obtention d'un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique doit être généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. Deux modes de fonctionnement sont à distinguer pour les machines synchrones. [7]

En mode génératrice, elle produit un courant électrique dont la fréquence est déterminée par la vitesse de rotation du rotor. [7]

En mode moteur elle consomme un courant électrique pour faire tourner le rotor à une vitesse déterminé par la fréquence du courant. [7]

Les puissances des machines varient de quelques Watts pour les petits moteurs à plusieurs centaines de mégawatts pour les alternateurs de grande puissance. Par ailleurs, la structure de ces machines reste très semblable. Deux parties sont à distinguer, le stator est constitué d'un enroulement triphasé alimenté par des courants triphasés qui par interaction avec le champ magnétique rotorique crée un couple électromécanique, le rotor quant à lui est responsable de générer le champ d'induction. [7]

### II.2.2 Constitution

Deux parties séparées par un entrefer.

➤ Rotor ou roue polaire :

C'est la partie tournante. Parfois c'est un aimant permanent pour les petites machines, mais en général c'est un électroaimant sous forme d'un cylindre ferromagnétique massif recevant un

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

bobinage qui est alimenté en courant continu (excitation), génère  $p$  paires de pôles sud et nord alternés. Il existe des rotors à pôles saillants avec un nombre de paires de pôles  $p$  élevé, ou à pôles lisses (Figure II.1 et Figure II.2). [8]

### ➤ Stator :

C'est la partie fixe, sous forme d'une carcasse ferromagnétique feuilletée comportant un bobinage triphasé qui, parcouru par des courants triphasés équilibrés génère un champ tournant à répartition quasi-sinusoïdale de même nombre de pôles qu'au rotor. Les enroulements peuvent être couplés en étoile (cas le plus fréquent) ou en triangle. [8]

**Remarque :** Généralement, l'inducteur est au rotor et l'induit au stator. [8]

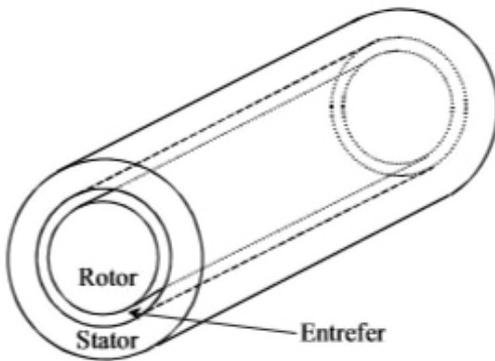


Figure II.1. Machine à pôle lisse. [8]

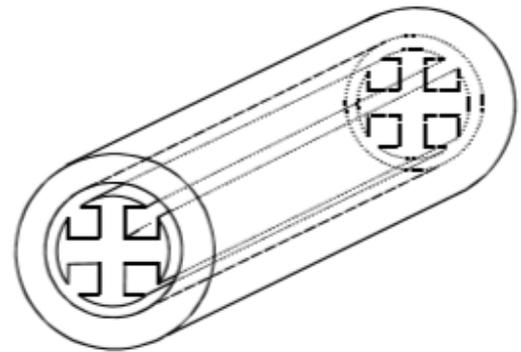


Figure II.2. Machine à pôle saillants. [8]

### II.2.3 Principe de fonctionnement

Si on entraîne le rotor à la vitesse constante  $\Omega$ , les enroulements statoriques, soumis au champ tournant rotorique, créent par induction un système triphasé de pulsation  $\omega = p\Omega$  ou  $f = pn$  ( $\omega$  et  $\Omega$  en rad/s,  $f$  la fréquence en Hz et  $n$  la vitesse en tr/s),  $p$  étant le nombre de paires de pôles du rotor. C'est le fonctionnement en alternateur, utilisé dans la production d'énergie électrique. [8]

### ➤ Réversibilité

Fonctionnement en moteur. Si on alimente le stator en triphasé et si on lance le rotor, celui-ci poursuit sa rotation à la vitesse de synchronisme  $\Omega = \omega/p$  du champ tournant (ce champ résulte des champs tournants rotorique et statorique). [8]

### ➤ Excitation de la machine

- Ce peut être une source extérieure qui alimente le rotor en courant continu via un système de bagues et de balais.
- Ce peut être la machine elle-même qui fournit sa propre excitation via une génératrice excitatrice ou un alternateur auxiliaire relié sur l'arbre. La machine est alors auto-excitée

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

➤ **Symboles et conventions** (Figure II.3). [8]

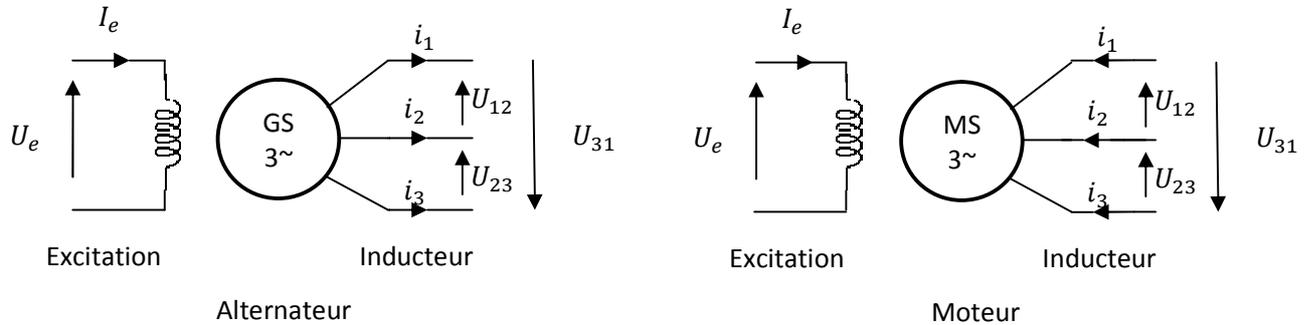


Figure II.3. Symboles et conventions. [8]

### Remarque :

Un alternateur, comme un transformateur, n'a pas de facteur de puissance intrinsèque. Idéalement, il devrait être égal à l'unité. En pratique, on tolère un fonctionnement avec un facteur de puissance parfois indiqué sur la plaque. [8]

### II.2.4 Les alternateurs triphasé

○ Alternateur à vide

• Tensions aux bornes des enroulements. Aux bornes de chaque enroulement, l'alternateur fournit des tensions triphasées équilibrées :

$$e_1(t) = E_{\text{eff}}\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$e_2(t) = E_{\text{eff}}\sqrt{2} \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$e_3(t) = E_{\text{eff}}\sqrt{2} \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

• La F.é.m. efficace aux bornes d'un enroulement. [8]

$$E_{\text{eff}} = KNf\Phi_{\text{Max}}$$

$E_{\text{Eff}}$  : valeur efficace de la f.é.m. à vide aux bornes de l'enroulement en V;

$K$  : coefficient de  $K_{\text{app}}$  qui dépend de la machine;

$N$  : nombre de conducteurs actifs de l'enroulement;

$f$  : fréquence de la tension induite en Hz ( $f = pn$  où  $n$  est la vitesse de rotation du rotor en tr/s);

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

$\Phi_{\max}$  : flux maximal embrassé par une spire (soit deux conducteurs actifs) en Wb.

**Remarque :** Le flux est à répartition sinusoïdale  $\varphi(t) = \Phi_{\max} \cos(\omega t)$ . [8]

- Caractéristique à vide ou interne (Figure II.4)

Le point de fonctionnement P se situe dans le coude de saturation. Du fait de l'hystérésis, la courbe ne passe pas par l'origine. Il existe une fém rémanente  $E_{REff}$  (ainsi qu'un étroit cycle d'hystérésis, non représenté sur la figure). [8]

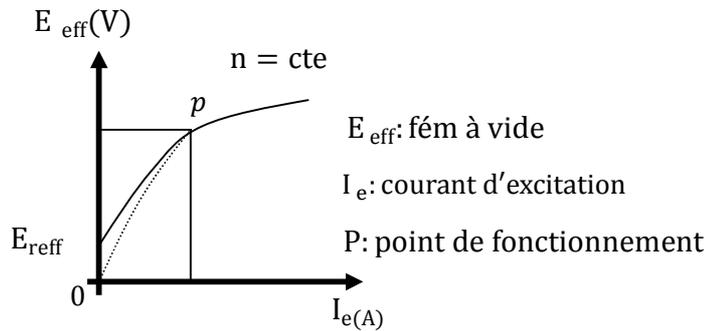


Figure II.4. Caractéristique à vide. [8]

### ○ Alternateur autonome en charge

• **Autonomie :** Un alternateur est autonome s'il alimente seul une charge. C'est par exemple le cas d'un groupe électrogène. En revanche, il ne l'est plus s'il est couplé sur le réseau. [8]

• **Réaction magnétique d'induit :** Lorsque l'alternateur débite, l'induit crée un champ tournant qui modifie le flux utile, donc la fém. C'est la réaction magnétique d'induit. La fém en charge est ainsi différente de la fém à vide, créée par la roue polaire seule. [8]

• **Caractéristique en charge ou externe :** L'alternateur n'étant pas une source parfaite, la réaction magnétique d'induit modifie la fém suivant la charge (Figure II.5).  $I_e$  devra être modifié pour stabiliser la tension. [8]

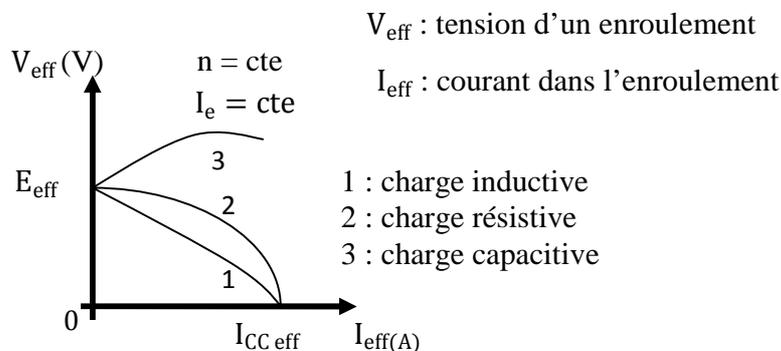


Figure II.5. Caractéristiques en charge. [8]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

○ **Modèle équivalent de la machine ramené au stator**

- **Modèle de Behn-Eschenburg ou de la réactance synchrone** (Figure II.6)

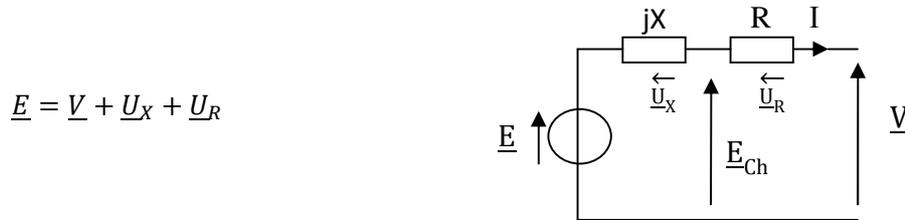


Figure II.6. Modèle d'une phase. [8]

- **Diagramme de Fresnel** (Figure II.7). D'après le modèle (Figure II.6), on a

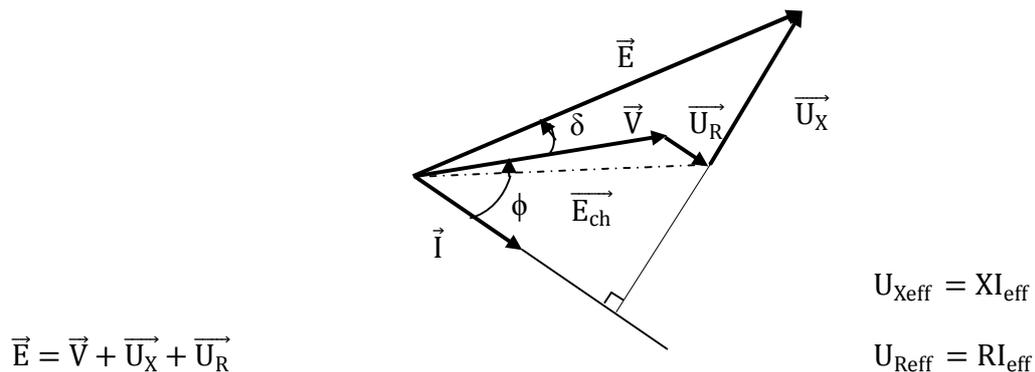


Figure II.7. Diagramme de Fresnel. [8]

$V_{\text{eff}}$  : tension d'un enroulement (V);  $I_{\text{eff}}$  : courant dans un enroulement (A);  $E_{\text{eff}}$  : fém. à vide (V);  $E_{\text{Ch eff}}$  : fém en charge (V);  $X$  : réactance synchrone ( $\Omega$ );  $R$  : résistance d'un enroulement ( $\Omega$ );  $X = L\omega$  où  $L$  est une inductance qui tient compte de l'ensemble des enroulements et des fuites. [8]

**Remarque :**

– Très souvent,  $R$  peut être supprimé du schéma car  $R \ll X$ . Dans ce cas, la fém en charge est égale à la tension d'un enroulement. [8]

– L'angle  $\delta$  est un angle électrique appelé angle de décalage interne. Il représente le décalage du rotor entre les fonctionnements à vide et en charge de la machine. En alternateur, le rotor avance

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

d'un angle  $\delta = p\theta$ ,  $\theta$  étant l'angle mécanique, alors qu'en moteur, il se décale en arrière de  $\delta$ . [8]

### • Détermination des éléments du modèle

R se détermine à chaud par une mesure en continu. À partir des caractéristiques à vide et de court-circuit  $I_{CC\text{ eff}} = f(I_e)$ , (Figure II.8), on détermine, pour  $I_{e1}$  donné,  $E_{1\text{ eff}}$  et  $I_{CC1\text{ eff}}$ . [8]

$$D'où : X = \sqrt{\frac{E_{1\text{ eff}}^2}{I_{CC1\text{ eff}}^2} - R^2}$$

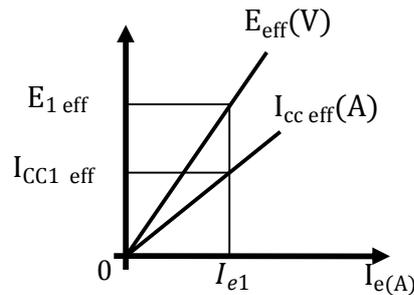


Figure II.8. Caractéristiques à vide et de court-circuit. [8]

**Remarque :** Si on ne peut pas mesurer la résistance R de l'enroulement, on peut toujours mesurer la résistance R1 entre 2 phases. On rappelle qu'avec un couplage étoile,  $R1 = 2R$  alors que  $R1 = 2R/3$  avec un couplage triangle. [8]

### • Validité du modèle

Le modèle est utilisable dans le cas d'un alternateur à pôles lisses non saturé. Dans ce cas, X est constante. Si l'alternateur est peu saturé, on peut linéariser la caractéristique à vide et confondre P et P' (Figure II.9). Si la saturation est plus importante, on peut conserver le modèle, mais X n'est plus constante et doit être déterminée pour chaque point de fonctionnement. [8]

**Remarque :** Ce modèle n'est pas le seul, ni le plus exact (modèle de Potier, qui tient compte de la saturation, ou modèle de Blondel pour les alternateurs à pôles saillants). [8]

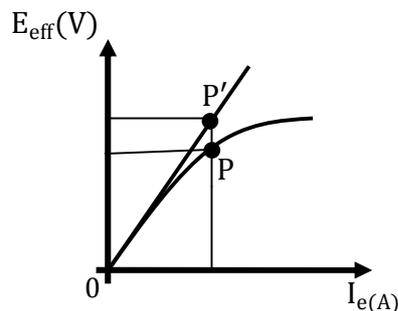


Figure II.9. Alternateur peu saturé). [8]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

### II.2.5 Bilan des puissances – Rendement

- Arbre des puissances (Figure II.10)

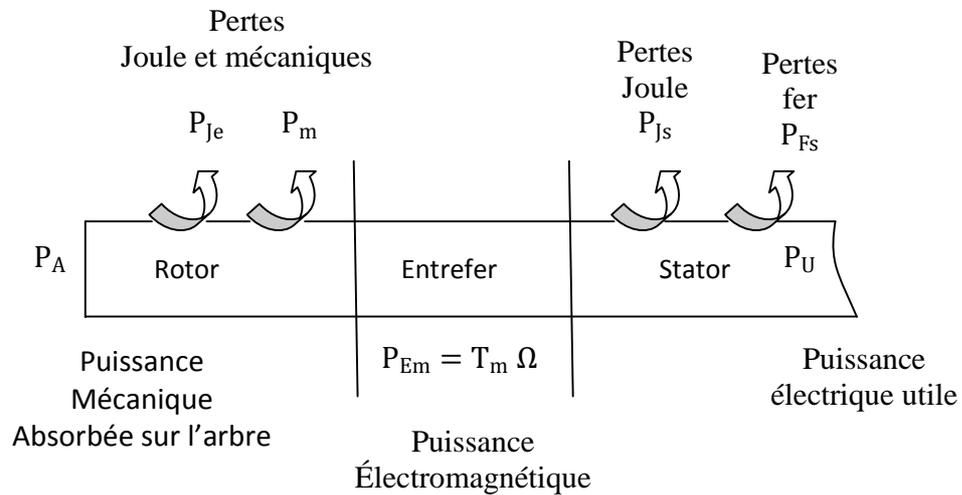


Figure II.10. Arbre des puissances. [8]

$P_A = T_M \Omega$	Unités : $W = Nm \text{rads}^{-1}$
$P_{Je} = U_e I_e$	Unités : $W = VA$
$P_{Js} = \frac{3}{2} R_1 I_{\text{eff}}^2$	Unités : $W = \Omega A^2$
$P_u = \sqrt{3} U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$	Unités : $W = VA$

Tableau II.1. Unités des différentes puissances. [8]

$U_{\text{eff}}$  : tension entre phase;  $I_{\text{eff}}$  : courant en ligne;  $R_1$  : résistance entre deux phases du stator;  $U_e$  : tension d'excitation;  $I_e$  : courant d'excitation;  $T_M$  : couple mécanique de la machine d'entraînement. [8]

#### Remarques :

– Si  $r$  est la résistance du circuit d'excitation et  $U_e$  la tension d'excitation, alors :

$$P_{Je} = U_e I_e = r I_e^2 = U_e^2 / r$$

– À tension et fréquence constantes,  $p_{FS}$  et  $p_m$  sont constantes.

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

– La formule  $P_{Js} = \frac{3}{2}R_1 I_{\text{Eff}}^2$ ,  $R_1$  étant la résistante entre deux phases (toujours mesurable), est indépendante du couplage des enroulements du stator. [8]

• **Rendement** : Le rendement est toujours excellent (proche de 100%)

$$\eta = \frac{P_U}{P_A} = \frac{P_U}{P_U + (P_m + P_{Je} + P_{Fs} + P_{Js})}$$

**Remarque :**

Si l'alternateur n'est pas auto-excité,  $P_A = T_M \Omega + P_{Je}$

• **Détermination des pertes**

– À vide, avec  $I_e$  nominal, on mesure  $P_{A0} \approx P_m + P_{Fs}$

– À vide, avec  $I_e = 0$ , on mesure  $P'_{A0} \approx P_m$  On en déduit  $P_{Fs} = P_{A0} - P'_{A0}$

– Les résistances peuvent être déterminées par un essai en continu.

### II.2.6 Les domaines d'application des machines synchrones

❖ **Fonctionnement alternateur**

- Equipent toutes les centrales électriques
- Les groupes électrogènes.

❖ **Fonctionnement moteur**

- Réservés aux installations industrielles de puissance (1-10 MW)
- Dans quelque application industrielle comme des pompes, concasseurs, convoyeurs, etc...
- les petits moteurs synchrone dans des servo mécanismes (car ils nous permettent de réaliser des déplacements constant).

### II.3 Alternateur de la centrale à vapeur de Cevital

L'alternateur de la centrale à vapeur de Cevital représente une machine synchrone à trois étages (MS3E) en fonctionnement alternateur, c'est la partie principale de la chaîne de conversion d'énergie électrique au niveau de la centrale. [5]

La MS3E est composée d'un alternateur principal et d'un système d'excitation auxiliaire composé d'une machine synchrone à aimant permanent et d'une machine synchrone inversée (excitatrice), le tout entraîné par le même arbre de sortie de la turbine à vapeur. [5]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

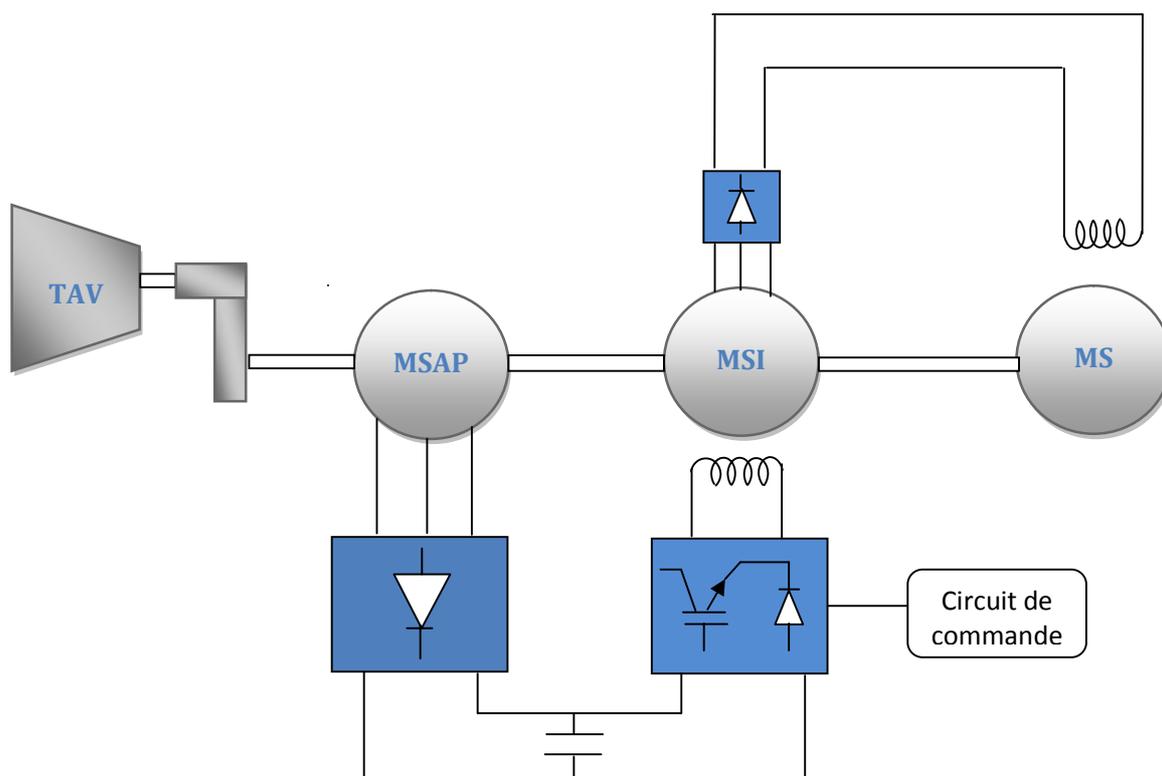


Figure II.11. La chaîne de production d'énergie électrique à base d'une MS3E. [5]

### II.3.1 Description de l'alternateur de Cevital

L'alternateur est formé d'un bloc unique qui comprend :

- Un stator intégrant un caisson d'entrée et de sortie d'air installé sur sa partie supérieure, des bus en cuivre provenant des sorties phase et neutre sont situés latéralement
- Un rotor et son dispositif d'accouplement
- Deux paliers
- Un système de refroidissement au moyen d'un circuit de ventilation fermé. [9]

#### II.3.1.1 Constitution du Stator

##### ➤ Carcasse

La carcasse présente une construction parallélépipédique soudée. Il est conçu pour loger le noyau magnétique et l'ensemble flasques-paliers, de manière à assurer une rigidité parfaite du montage et pour supporter les contraintes statiques et dynamiques telles qu'un couple de court-circuit biphasé. [9]

Elle présente une construction soudée qui est composée d'un assemblage de flasques fait de tôles épaisses et une traverse acier à haute caractéristique mécanique. Deux de ces flasques, sont conçues pour supporter le noyau magnétique. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

Cette construction est terminée par une enveloppe externe qui sert à canaliser le flux d'air de refroidissement. Les flux d'air chaud et froid circulent à travers les ouvertures de cette enveloppe. La base et l'installation correcte au sol sont assurées par des semelles. [9]

Sa partie active comporte deux plaques magnétiques en silicium assemblées à froid présentant de faibles pertes. Ces plaques sont coupées en plusieurs segments et présentent des encoches et isolées par phosphatation, après avoir subi un ébavurage (cet opération permet d'enlever l'excès des traces métal). [9]

Cette procédure est plus efficace que l'application d'un vernis organique et permet :

- Une très bonne isolation électrique entre les tôles
- Une plus grande maîtrise des pertes fer
- Une très bonne résistance aux températures, aux produits chimiques et aux radiations
- Une excellente prévention de tout court-circuit entre les tôles après leurs empilages
- Une amélioration du facteur de foisonnement des tôles compte tenu de la faible épaisseur du revêtement. [9]

### ➤ Enroulements statoriques

L'isolation à la terre est réalisée mécaniquement à l'aide d'un ruban papier-mica/verre. [9]

Le nombre de couches dépend de la tension aux bornes de l'alternateur, Conformément à une norme définie dans les laboratoires de constructeur. [9]

Une fois l'isolation est réalisée, La surface des enroulements est recouverte de :

- Ruban conducteur électrique sur ses parties droites.
- Revêtement semi-conducteur (distributeur de tension) sur les développantes, Les enroulements sont alors insérés dans les encoches du noyau magnétique du stator et fixé à l'aide de cales de réglage et de coins d'assemblage dans un stratifié (plaque) verre-époxy. [9]

Les développantes sont solidement fixées ensemble avec un anneau de soutien, elles sont situées sur le passage de l'air de refroidissement pour l'assurer (une position pour bien assuré le captage d'air de refroidissement) correctement. [9]

Les branchements (branchements en série – transfert de phase – accouplement) sont, effectués par un câble haute-tension fixé sur les développantes, les câbles préalablement isolés sont directement reliés aux prises de sortie, l'ensemble du bobinage, les connexions subissent le procédé d'imprégnation JISLASTIC. Le procédé d'isolation JISLASTIC comprend :

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

- **Rubans de papier Mica**

Ces rubans sont constitués de papier mica et d'un support en verre collés ensemble à l'aide d'un liant durcissant à chaud contenant de la résine époxy compatible et se Co-polymérisant (redevient un polymère qui est un bon isolant) avec la résine du revêtement. [9]

La teneur en mica (élément actif de la barrière d'isolation) est supérieure à 80 % alors que la teneur de la matière de support et du liant est inférieure (15 % et 5 % respectivement), ce qui permet d'obtenir un ruban présentant une excellente qualité d'isolation. [9]

Le tissu de verre support mécanique indispensable pour l'application des rubans et pour la résistance mécanique de la paroi d'isolation est traitée de façon spécifique de manière à assurer une bonne mouillabilité avec la résine. [9]

- **Ruban conducteur**

À l'intérieur de l'encoche, les enroulements sont recouverts d'un ruban conducteur et/ou de peinture. Les premiers centimètres de leurs débords (les côtés) sont également recouverts de rubans Semi-conducteurs et/ou de peinture afin d'éviter tout effet corona. [9]

- **Résine**

Le revêtement est réalisée avec une résine époxyde modifiée de catégorie F, Elle permet une bonne pénétration dans le matériau compte tenu de sa fluidité, Ce qui confère à la paroi d'isolation de bonnes propriétés en termes de rigidité, d'épaisseur, d'adhérence des couches, de conductivité thermique et permet une bonne résistance aux décharges partielles. [9]

### II.3.1.2 Description du rotor

- **Arbre**

L'arbre est constitué d'une pièce forgée ou laminée. Cet arbre est conçu pour supporter les diverses conditions de fonctionnement normales ou transitoires. [9]

Des bras sont usinés dans la masse de l'arbre pour améliorer sa rigidité et pour supporter de façon uniforme le noyau magnétique. [9]

La longueur et le diamètre de l'extrémité de l'arbre sont suffisants pour permettre le montage de l'accouplement. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

### ➤ Circuit magnétique – Bobines

Le circuit magnétique est constitué de tôles magnétiques coupées au laser, empilées et pressées en une seule pièce. Ces tôles en acier sont bloquées au moyen de deux plaques de maintien monobloc et de tiges de serrage. [9]

Les bobines inductrices se composent de plusieurs couches de câbles en cuivre et sont isolées à l'aide d'un ruban en tissu de verre. Ces bobines sont ensuite insérées et calées dans les encoches du noyau magnétique. L'isolation à la masse est réalisée par du papier polyamide préalablement installé dans les encoches. [9]

Les développantes sont maintenues en position grâce à des frettes en fibre de verre qui assurent une résistance élevée à la force centrifuge. Le rotor est, dans un dernier temps, imprégné sous vide et sous pression de résine époxyde présentant les mêmes propriétés que la résine décrite pour le stator. [9]

### ➤ Enroulements amortisseurs

Ils se composent de tiges en cuivre insérées dans les encoches circulaires qui ont été préalablement perforées dans les tôles du rotor, dans la zone du pôle. Ces tiges sont reliées par brasage sur les plaques de serrage du noyau magnétique du rotor. [9]

L'amortisseur est un organe qui n'a pas d'utilité en régime normal d'une machine synchrone; il n'intervient qu'au cours de certains fonctionnements anormaux tels que la marche asynchrone temporaire après rupture de synchronisme, le fonctionnement permanent sur charge non équilibrée sur les trois phases et les oscillations. [7]

### ➤ Paliers

Les deux paliers lubrifiés sont fournis avec un coussinet anti-frottement cylindrique. En règle générale, une bague de lubrification permet de stopper l'alternateur à n'importe quel moment sans endommager les paliers en cas de défaut de lubrification. Les deux paliers sont isolés pour éviter tout courant induit dans l'arbre. [9]

Des joints flottants sont utilisés pour éviter les fuites d'huile. Ces joints sont des pièces d'usure qui peuvent être facilement remplacées. [9]

### II.3.2 Système de refroidissement de l'Alternateur

L'alternateur est refroidi au moyen d'un circuit de ventilation fermé. L'air froid provenant du système de refroidissement de l'alternateur est conduit par deux compartiments d'arrivée d'air ; il traverse les développantes du stator, les événements de ventilation du rotor, les événements de ventilation du stator, pour ensuite être renvoyé vers le système de refroidissement de l'alternateur par le

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

compartiment de sortie d'air. Ce type de système de ventilation présente des caractéristiques radiales. [9]

Le système de refroidissement de l'alternateur est un échangeur de chaleur AIR/EAU. L'air chaud sortant du stator amène des calories vers les tubes de l'échangeur. L'eau circulant à l'intérieur de ces tubes évacue ces calories. [9]

Des ventilateurs sont insérés dans la masse magnétique du rotor de manière à obtenir le flux approprié pour le refroidissement de l'alternateur. [9]

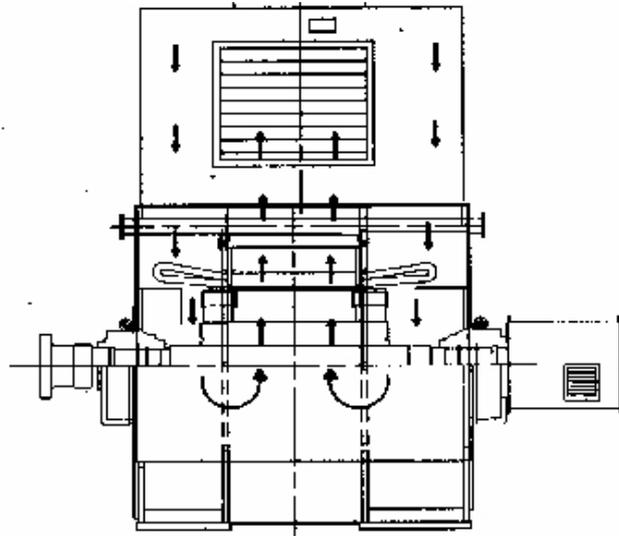


Figure II.12. Système de ventilation. [9]

### II.3.3 Principe de fonctionnement d'Alternateur

Le rotor étant accouplé au moteur primaire (turbine), Il entraîne avec lui les pôles à la vitesse  $\Omega_r$ . On obtient un champ sinusoïdale tournant dans la machine et les vitesses rotorique et celle du champ sont toujours confondues ( $\Omega_s = \Omega_r$ ). [10]

Les trois phases statoriques, décalées de  $2\pi/3p$  et  $4\pi/3P$  dans l'espace, sont donc le siège d'une fém triphasée équilibrée. De plus, la vitesse de rotation impose la fréquence des fém recueillies, à savoir :

$$\Omega_s = \Omega_r = \frac{\omega}{p} \Rightarrow \omega = p\Omega_s \Rightarrow f = \frac{p\Omega_s}{2\pi} = \frac{p\Omega_r}{2\pi} . [10]$$

Les courants induits, de pulsation  $\omega = p\Omega_s$  vont, eux aussi, créer un champ tournant (il s'agit du champ de réaction d'induit, à l'instar de la machine à courant continu) à la vitesse

$$\Omega = \omega/p = (p\Omega_s)/p = \Omega_s. [10]$$

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

Finalement, du point de vue du stator, les deux champs tournants, rotorique et statorique, tournent à la même vitesse qui est celle, réelle, du rotor : on a affaire à un vrai fonctionnement synchrone. [10]

Par contre, du point de vue rotor, les deux champs sont immobiles : le fer rotorique n'est donc soumis à aucune inversion de l'aimantation, et il est parfois inutile de feuilletter l'armature rotorique. Ce procédé est généralement adopté pour les rotors lisses, d'autant plus que les vitesses prévues pour ces types de rotors exigent une résistance mécanique que ne peut satisfaire les rotors feuilletés. [10]

### ➤ Description de l'excitation

La fonction de base de l'excitation est alors de fournir le courant continu aux bobines créant un champ au rotor de la machine synchrone principale; de plus, l'excitation assure le contrôle de la tension et de la puissance réactive, ainsi que certaines fonctions protectrices du réseau (respect des limites des machines), le tout par le biais de la tension d'excitation. [13]

D'un point de vue d'installation électrique, le système d'excitation devrait contribuer au contrôle efficace de la tension et à l'amélioration de la stabilité du système. Cela implique aussi le maintien de la stabilité transitoire en cas de perturbations et de faibles signaux. [13]

Le système d'excitation contient :

- **Machine à aimant permanent (PMG Permanent Magnet Courant)**

La PMG a pour but d'alimenter le circuit de puissance du régulateur. De manière à générer, après régulation, un courant qui viendra piloter l'alternateur inverse d'excitation. [12]

- **L'alternateur inverse d'excitation**

L'alternateur d'excitation est un alternateur inverse, inverse de par le fait qu'il est excité en courant continu par le stator. [12]

Une tension triphasé est créée dans le rotor, qui est redressé par l'intermédiaire de diode tournante, puis envoyé dans le rotor principal de la machine. [12]

- **L'alternateur principal**

L'alternateur principal est excité par le rotor en courant continu qui est par un phénomène électromagnétique transformé en une tension triphasé d'une fréquence dépendante de la vitesse d'entraînement. [12]

En augmentant l'excitation de L'alternateur on augmente la tension de sortie principal, augmenter ou diminuer l'excitation revient donc une fois couplé au réseau, à augmenter ou diminuer notre production de puissance réactive. [12]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

### Remarque :

- La régulation de tension automatique s'effectue dans une armoire électrique. [9]
- Alternateur de type inversé avec bobine d'excitation au stator et induit tournant montée à l'intérieur de l'alternateur sur le côté opposé à l'accouplement et bénéficie du courant d'air froid en provenance de la machine principale. [9]
- Une roue à diodes, également montée sur le bout de l'arbre, est reliée sur son côté alternatif, à l'induit de l'alternateur de champ et, sur son côté CC, à la bobine d'excitation de l'alternateur principal au travers d'un orifice percé dans l'arbre. [9]
- 

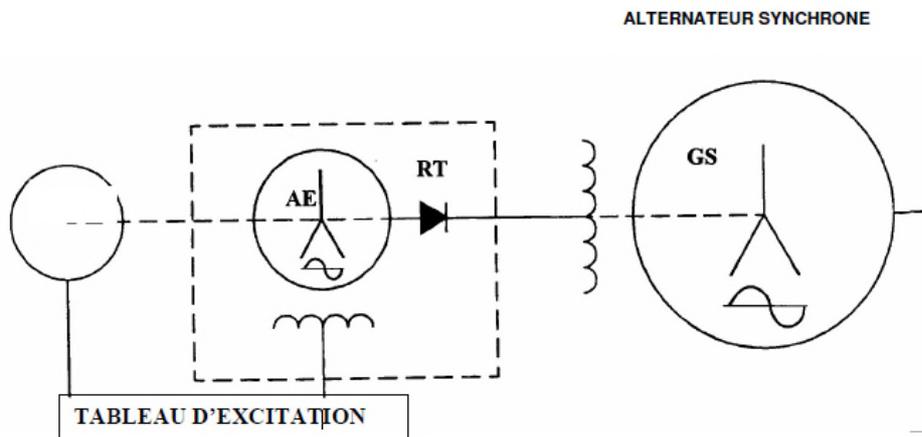


Figure II.13. Schéma du système d'excitation. [9]

### II.3.4 Procédure de démarrage

#### ➤ Opérations à effectuer avant le démarrage de la turbine

Avant le démarrage de la turbine ainsi que la centrale, on doit effectuer un ensemble d'opérations qui sont indiquées par ordre comme suite :

- Mise en service les systèmes d'huile de lubrification
- Démarrage de la pompe de soulèvement et du vireur
- Mise en service du système d'huile HP
- Opérations préalables avant le démarrage de la turbine
- Réchauffage du circuit de vapeur
- Préchauffage de la turbine
- Poursuite de réchauffage du circuit admission vapeur
- Préparation au démarrage du groupe. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

### ➤ Démarrage du Turbo-alternateur

Après avoir réalisé la procédure de démarrage, on démarre la turbine par l'ouverture de la vanne d'arrêt, puis les soupapes d'admission de vapeur.

En effet, lorsque la turbine atteint 90% de sa vitesse nominale (5900 tr/min), on ferme les pompes auxiliaires en entraînant la machine synchrone à aimants permanents (MSAP). [9]

### II.3.5 Synchronisation de l'Alternateur

#### ➤ Emplacement

Le système de synchronisation peut être installé avec le système d'excitation AVR, à l'intérieur de la même armoire, ou dans une armoire séparée. [9]

#### ➤ Utilisation

Il existe deux façons de synchroniser l'alternateur au réseau :

- Par synchronisation locale.
- Par synchronisation à distance. [9]

En mode local il est possible de synchroniser l'alternateur automatiquement par le biais du dispositif de synchronisation automatique ou manuellement par l'intervention de l'opérateur.

Si le projet a été conçu pour un système de synchronisation à disjoncteurs multiples, il est possible de choisir le disjoncteur à partir duquel s'effectuera le couplage. Pour sélectionner le disjoncteur à fermer, actionner les interrupteurs en fonction du réseau sur lequel l'alternateur doit être synchronisé. [9]

- **Synchronisation automatique**

#### Mode LOCAL

La synchronisation s'effectuera automatiquement lorsque l'interrupteur de commande locale/à distance (« local - remote ») sera placé sur la position LOCAL et que le mode AUTO (interrupteur « auto / manu ») aura été sélectionné à partir du panneau de commande de l'alternateur.

La séquence de synchronisation débute dès que l'opérateur appuie sur le bouton « synchro start ».

Le synchroniseur automatique réalisera le couplage et la fermeture du disjoncteur. [9]

#### Mode A DISTANCE

La synchronisation s'effectuera automatiquement lorsque l'interrupteur de commande locale/à distance (« local - remote ») sera placé sur la position « REMOTE ».

Le panneau recevra l'ordre de synchronisation du système de commande principal, la synchronisation s'effectuant automatiquement, ce qui impliquera la fermeture du disjoncteur. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

- Synchronisation Manuelle

La synchronisation manuelle s'effectuera lorsque l'interrupteur de commande locale/à distance (« local - remote ») sera placé sur la position LOCAL et que le mode MANUEL (interrupteur « auto / manu ») aura été sélectionné à partir du panneau de commande de l'alternateur.

La séquence de couplage débute dès que l'opérateur appuie sur le bouton « synchro start ». L'opérateur devra égaliser les tensions en actionnant les commandes +/-U (interrupteurs ou bouton « +U/-U ») ; il devra également égaliser les fréquences en actionnant les commandes de régime +/- (interrupteurs ou bouton « +V/-V »). Lorsque les tensions et les fréquences sont égalisées et que le phasemètre prend une position verticale (déphasage =  $0^\circ$ ), l'opérateur peut actionner la commande de fermeture du disjoncteur à l'aide de l'interrupteur de fermeture du disjoncteur. [9]

- L'ensemble des commandes de synchronisation elles situent sur l'armoire d'excitation et de régulation au niveau de la salle de contrôle.

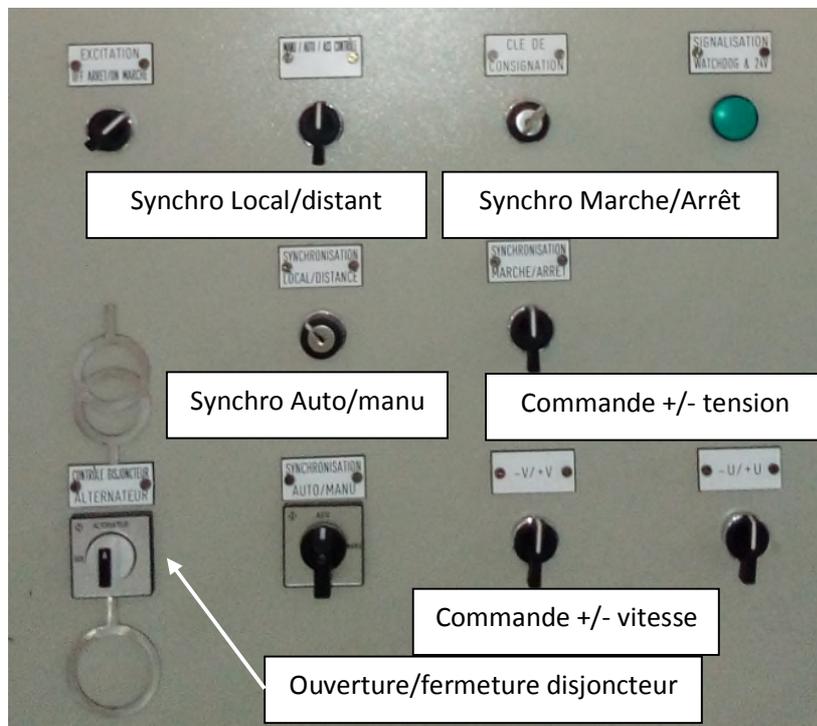


Figure II.14. Armoire d'excitation. [12]

### Remarque :

Le mode A DISTANCE + AUTO sera la position normale de fonctionnement des interrupteurs. Pour la mise en service, la maintenance ou même en cas de doutes, le fait d'activer le mode LOCAL, en mode AUTO ou MANUEL, permet à l'opérateur de contrôler le fonctionnement des dispositifs de synchronisation. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

### ➤ Condition de synchronisation

L'opérateur pourra exciter la machine lorsque les conditions suivantes seront réunies :

- ❖ Il n'y a pas de défaut actif / les éventuels défauts ont été acquittés.
- ❖ L'autorisation de démarrage de la turbine est active ; cela implique une certaine vitesse de turbine ( $> 90\%$  de la vitesse nominale)  $> 5310\text{tr/min}$  et l'installation des protections externes.
- ❖ Le disjoncteur de la machine est en position ouverte. [9]

L'excitation est provoquée en fermant le circuit (« excitation on ») en mode à distance ou bien en appuyant sur le bouton **START** (« excitation on ») situé sur le panneau de commande. [9]

L'opérateur peut supprimer l'excitation du système lorsque le disjoncteur est en position ouverte en réinitialisant l'entrée « excitation on » en mode à distance ou en pressant le bouton **STOP** (« excitation off ») en mode local. [9]

Le régulateur stoppe automatiquement l'excitation de la machine dès qu'un défaut se produit ou que l'autorisation est retirée. [9]

### II.3.6 Dispositif de contrôle

#### ▪ Armoires basse tension

Elles permettent de contrôler les paramètres du groupe alternateur et de disposer de protections de sécurité :

- ECP: Excitation et régulation de la tension et / ou de la puissance réactive et/ou  $\text{Cos. } \phi$ .
- GPCP : Contrôle des capteurs sensitifs de l'alternateur et des équipements associés (température, pression, comme décrits ci-dessus).
- GCP : Mesures et synchronisation.
- GPP : Protections électriques de l'alternateur. [9]

#### ▪ Armoires moyenne tension

Raccordée par des barres conductrices à la machine, l'armoire phase / neutre contient tous les transformateurs de courant et de tension à moyenne tension, si ceux-ci ont été fournis. La résistance et/ou le transformateur de mise à la terre peut (peuvent) également être installé(s) à l'intérieur de cette armoire. Une armoire basse tension (faisant partie intégrante de l'armoire) collecte tous les signaux basse tension pour l'armoire AVR (excitation - régulation), la synchronisation, les mesures et la protection. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

### II.3.7 Caractéristiques de fonctionnement d'Alternateur

Elles sont données par le tableau suivant :

Numéro de fabrication	56X.EIEJ0981 S1, S2	unité
Machine	Alternateur synchrone	
Type	JISALT MEGA 435	
Nombre de phases	3	
Puissance apparente	31 375	KVA
Puissance active	25 100	KW
Facteur de puissance	0.8	(en fourniture du réactive)
Vitesse	1500	t/mn
Survitesse	1800	t/mn durée 2 mn
Tension nominal	11	KV
Fréquence	50	Hz
Classe d'isolement	F	
Classe d'échauffement	B	
Indice de protection	IP 54	
Indice de construction	IM 1005	
Indice de refroidissement	IC 8A1W7	
Mode d'excitation	Tournante	
Type d'excitation	ETAA	

Tableau II.2. Caractéristiques de l'alternateur. [9]

### II.3.8 Avantage de l'alternateur JISALT 435 MEGA

L'application de la procédure JISALT 435 MEGA garantit :

- ✓ Des enroulements solides et robustes
- ✓ Une résistance mécanique élevée face aux contraintes électrodynamiques.
- ✓ Des conditions de sécurité optimales
- ✓ Une forte protection contre les vibrations, L'abrasion, l'humidité et la pollution industrielle. [9]

## Chapitre II : Etude de l'alternateur synchrone du Cevital

---

### II.4 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons décrit les généralités sur les machines synchrones.

En deuxième partie nous avons présenté les différents éléments constitutifs l'alternateur utilisée au sein du complexe Cevital, ainsi que leur principe de fonctionnement.

Cette description détaillée va nous permettre d'aborder le dimensionnement et le calcul des différents paramètres de l'alternateur de Cevital tel que le rendement dans le chapitre trois.

---

## **Chapitre III : Calcul du rendement de l'alternateur**

---

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va aborder la partie étude expérimentale de l'alternateur. On relève les paramètres de la machine puis on calcule ses différentes pertes et puissances afin de déterminer son rendement.

### III.2 Les caractéristiques de l'alternateur

<b>A</b>									
<b>AREVA</b>									
<b>ALTERNATEUR SYNCHRONE</b>									
TYPE		JISALT 435 MEGA							
FABRICATION N°		56X.EI0981							
N° D'ORDRE		S1	ANNEE		2005				
DEGRE DE PROTECTION				IP	54				
REFROIDISSEMENT				IC	8	A1	W7		
FORME DE CONSTRUCTION				IM	1005				
MODE D'EXCITATION				BRUSHLESS					
CLASSE		STATORE			ROTOR				
D'ISOLATION		F		F					
D'ECHAUFFEMENT		K	70	K	80				
TEMPERATURE		AIR	°C		50				
ENTREE		EAU	°C		40				
ALTITUDE m		<1000	DUTY		S1				
CONSTANTE D'ENERGIE CINETIQUE :				s	0.85				
MASSE DE L'ALTERNATEUR		Kg	55700						
MOMENT D'INERTIE (MR <sup>2</sup> )		kg.m <sup>2</sup>	2174						
MADE IN France									
<b>ALTERNATEUR SYNCHRONE</b>									
<b>D'EXCITATION</b>									
TYPE		AE 71-12-12							
FABRICATION N°		56X.EI0981							
NUMERO D'ORDRE N°		S1							
ANNEE		2005							
CLASSE D'ISOLATION STATOR				F					
CLASSE D'ISOLATION ROTOR				F					
TEMPERATURE MAXI ENTREE D'AIR				°C	50				
NORME		C E I							
MASSE DE L'ALTERNATEUR D'EXCITATION		Kg	850						
PUISSANCE MAXI		KVA	101.6						
COUPLAGE		☐							
TENSION MAXI		V	127						
COURANT MAXI		A	462						
FREQUENCE		Hz	150	PHASES		3			
FACTEUR DE PUISSANCE				0.97					
VITESSE		RPM	1500						
SURVITESSE		RPM	1800						
TENSION EXCITATION		V	36.5						
COURANT EXCITATION		A	15.8						

Tableau III.1. Plaque signalétique de l'alternateur de Cevital.

## III.3 Etude de l'alternateur

### III.3.1 Essai en court-circuit de l'alternateur

Dans cet essai la vitesse de rotation est constante, les bornes de l'alternateur sont mises en court-circuit, et le courant d'excitation doit varier graduellement de zéro jusqu'à l'obtention du courant de court-circuit nominal. La figure III.1 nous montre l'évolution du courant de court-circuit «  $I_{cc}$  » en fonction du courant d'excitation «  $I_{ex'}$  » ( $I_{cc}=f(I_{ex'})$ ).

L'excitation est provoquée en fermant le circuit d'excitation sur le panneau de commande.

❖ **Schéma du câblage :**

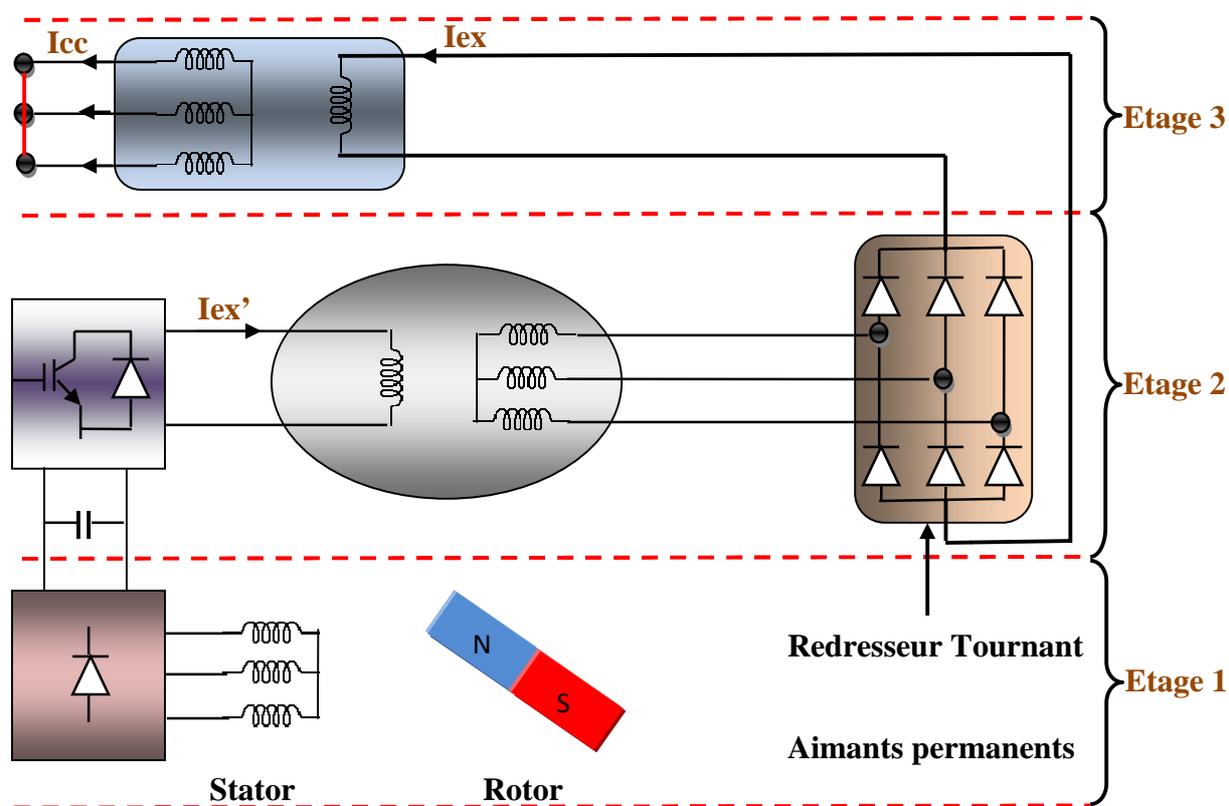


Figure III.1. Schéma du câblage de l'essai en court-circuit.

❖ **Résultats expérimentaux :**

Le tableau ci-après nous donne les résultats obtenu à partir de l'essai en court-circuit :

Courant à la borne de sortie alternateur $I_{cc}$ (A)	40	206	382	758	1022	1212	1436	1634	1716
Courant d'excitation $I_{ex'}$ (A)	0	1,15	2,4	4,9	6,6	7,65	9,1	10,4	11

Tableau III.2. Les résultats de l'essai en court-circuit de l'alternateur.

❖ **Courbe** : à partir du Tableau III.2 on peut tracer la courbe  $I_{cc}=f(I_{ex'})$  :

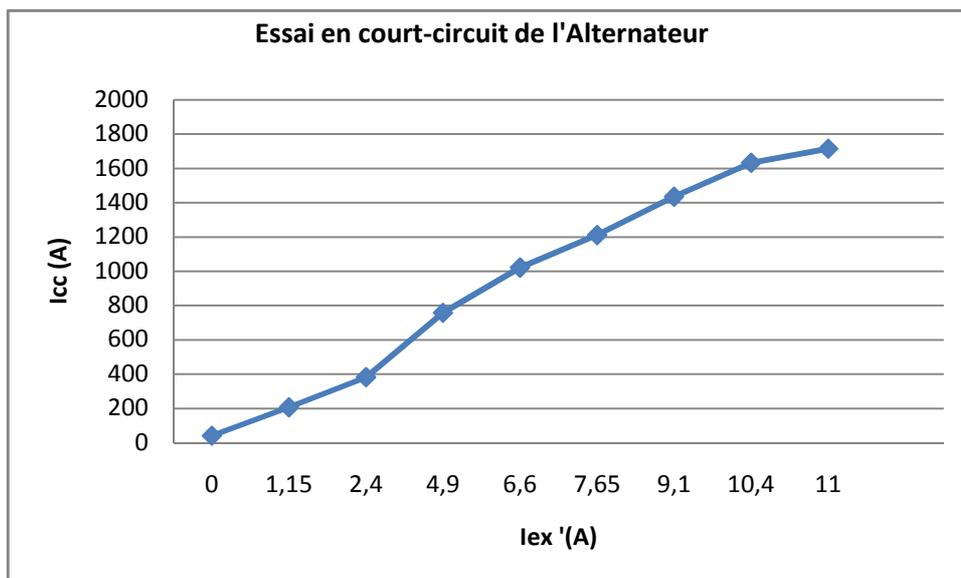


Figure III.2. Courbe en court-circuit de l'alternateur.

❖ **Interprétation des résultats**

Etant donné que théoriquement la f.é.m. est proportionnelle au courant d'excitation, on trouve ce résultat confirmé par l'essai pratique.

### III.3.2 Essai en charge de l'alternateur

#### III.3.2.1 Rappel sur l'essai en charge

Une fois l'alternateur est couplé au réseau la tension et la fréquence appliquée aux bornes de la machine étant constantes, on ne peut plus faire varier que deux paramètres :

- Le courant d'excitation  $I_{ex}$
- Le couple mécanique exercé par la turbine. [11]

❖ **Effet du courant d'excitation:**

Lorsqu'on synchronise un alternateur, la tension induite  $E_0$  égale et en phase avec la tension  $E_b$  du réseau (Figure III.2). Il existe donc aucune différence de potentiel  $E_x$  aux bornes de la réactance synchrone. Par conséquent, le courant  $I$  est nul et, bien que l'alternateur soit raccordé au réseau, il n'y débite aucune puissance. On dit alors qu'il « flotte » sur le réseau. [11]

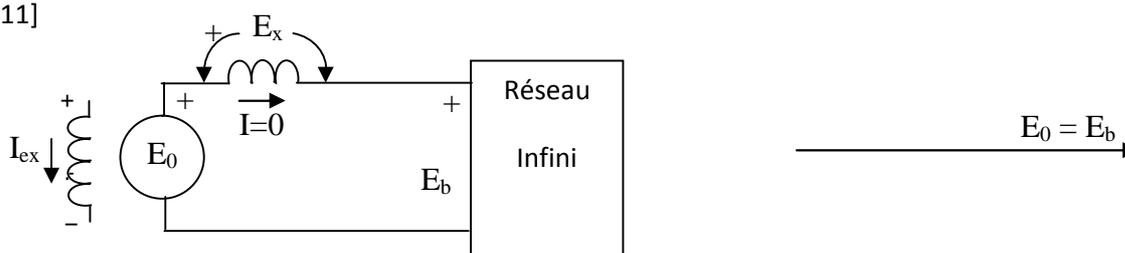


Figure III.3. Alternateur flottant sur le réseau. [11]

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

Si l'on augmente le courant d'excitation, la tension  $E_0$  augmente et la réactance  $X_s$  est soumise à une tension  $E_x = E_0 - E_b$ . Un courant  $I = (E_0 - E_b)/X_s$  s'établit dans le circuit et, puisque la réactance synchrone est inductive, ce courant est déphasé de  $90^\circ$  en arrière de  $E_x$  (Figure III.3). Il est par le fait même déphasé de  $90^\circ$  en arrière de  $E_b$ . L'alternateur « voit » donc le réseau comme une inductance, ou encore, ce qui revient au même, le réseau « voit » l'alternateur comme une capacitance. [11]

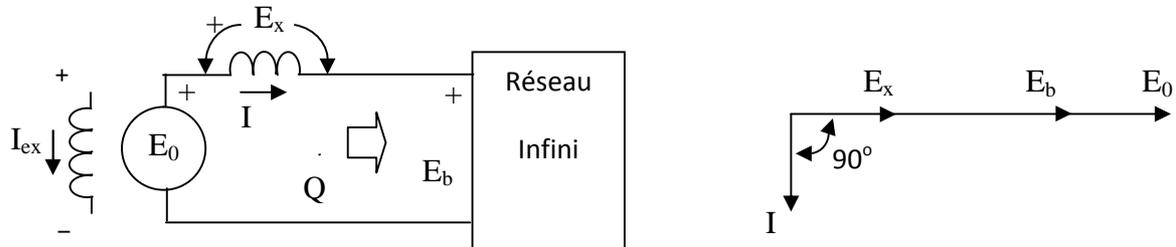


Figure III.4. L'alternateur surexcité fournit de la puissance réactive au réseau. [11]

Donc, lorsque l'on surexcite un alternateur, il fournit au réseau une puissance réactive d'autant plus grande que le courant d'excitation est plus élevé. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, il est impossible de changer la puissance active débitée par un alternateur en agissant sur son excitation. [11]

En fin, si l'on diminue le courant d'excitation de façon que  $E_0$  devienne plus petite que  $E_b$ , le courant  $I$  reste déphasé de  $90^\circ$  en arrière de  $E_x$  (Figure III.4). Cependant, il maintenant de  $90^\circ$  en avance sur  $E_b$  de sorte que l'alternateur voit le réseau comme une capacitance. Donc, lorsque en sous-excité un alternateur il absorbe de la puissance réactive. Cette puissance réactive produit une partie du champ magnétique nécessaire à la machine, l'autre partie étant fournie par le courant  $I_x$ . [11]

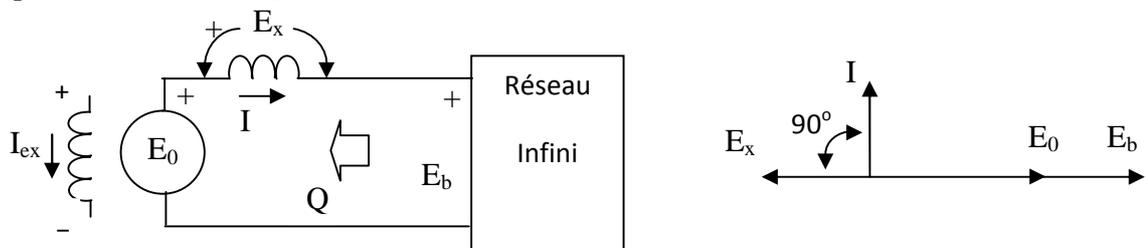


Figure III.5. L'alternateur sous-excité absorbe de la puissance réactive de réseau. [11]

### ❖ Effet de couple mécanique :

Imaginant de nouveau que l'alternateur flotte sur le réseau,  $E_0$  et  $E_b$  étant égales et en phase. Si l'on ouvre les vannes de la turbine afin d'augmenter le couple mécanique, le rotor accélère et la tension  $E_0$  atteint sa valeur maximale un peu plus tôt que précédemment. Tant que le rotor accélère, le vecteur  $E_0$  glisse graduellement en avant du vecteur  $E_b$ . [11]

Supposant que le rotor cesse d'accélérer lorsque l'angle entre  $E_0$  et  $E_b$  est différent de zéro. L'alternateur continue à tourner à la vitesse synchrone, mais l'angle de décalage  $\delta$  entre  $E_0$  et

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

$E_b$  reste constant. Bien que deux tensions aient même valeur, l'angle de décalage  $\delta$  produit une différence de tension. [11]

$$E_x = E_0 - E_b$$

Aux bornes de la réactance synchrone (Figure III.5a). Il en résulte un courant  $I = E_x / X_s$ , toujours déphasé de  $90^\circ$  en arrière de  $E_x$ . Mais l'on constate, sur la Figure III.5b, qu'il est maintenant presque en phase avec  $E_b$ . Il s'ensuit que l'alternateur débite une puissance active dans le réseau. Comme le courant est légèrement en avance sur  $E_b$ , l'alternateur absorbe en même temps une faible puissance réactive du réseau. [11]

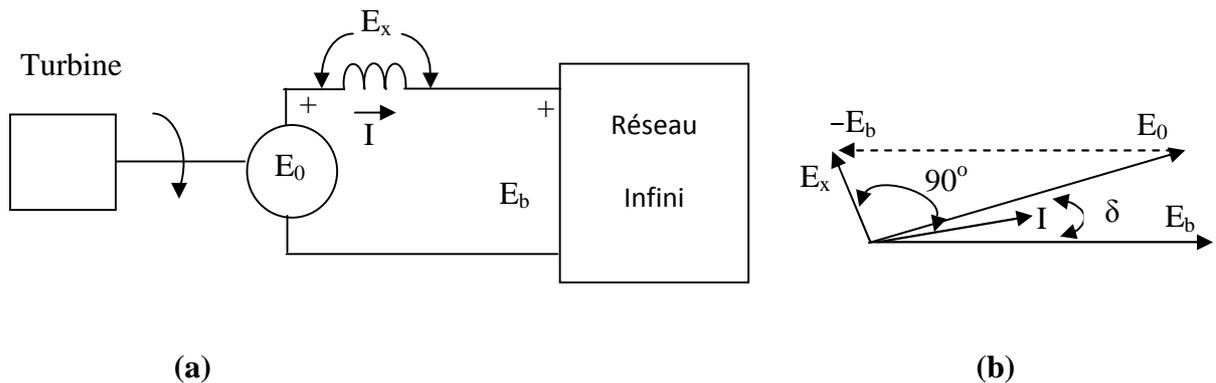


Figure III.6. Effet de couple mécanique sur le réseau. [11]

### III.3.2.2 Procédure de l'essai en charge

Dans cet essai, l'alternateur est au mode de production normal, la vitesse de rotation constante à 1500 tr/min, en va agir sur la commande « -vite ou +vite » sur le panneau d'opérateur à la salle de contrôle, pour commandé l'ouverture et la fermeture des vanne de la turbine afin de contrôler la puissance utile, en parallèle on relève les paramètres (tension de sortie; courant de sortie,  $\cos \varphi$  et le courant d'excitation) pour différentes puissances utile (résumé dans le tableau III.2) .

- On va commander d'une façon d'avoir varié la puissance à cinq essais en charge de l'alternateur et on va relevés les grandeurs de chacun.
- Les valeurs des tensions, les courant et le facteur de puissance sont relevé à partir du l'écran d'affichage dans la salle de contrôle.
- Les présents essais à pour but de donner l'état actuelle de rendement par rapport au rendement dimensionné par le constructeur

❖ **Schéma du câblage :**

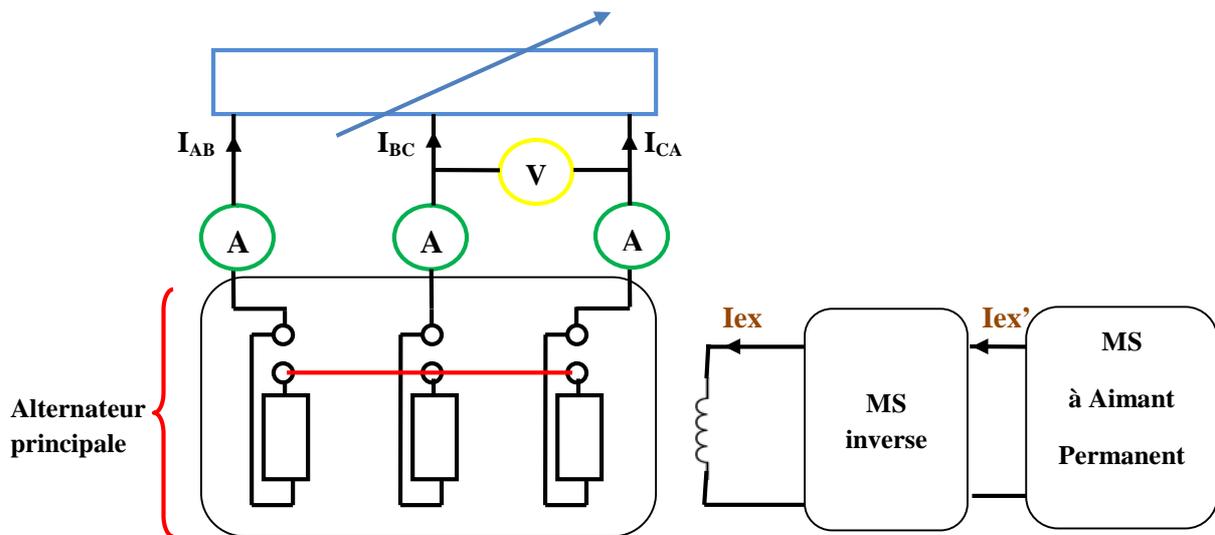


Figure III.7. Schéma du câblage de l'alternateur en charge. [7]

- ❖ Pour le calcul des pertes, puissances ainsi que le rendement des cinq essais en charge de l'alternateur, est expliqué pour un seul essai.

### III.3.2.3 Calcul des pertes de l'Alternateur

D'après les données du constructeur les pertes totales de l'Alternateur. Sont calculées au point nominal, elles sont égale à 473 KW. Maintenant on va déterminer les  $P_{js}$ ,  $P_{jr}$  et  $P_c$  pour une puissance inférieure à la puissance nominal

➤ **Les pertes joule statoriques  $P_{js}$**

$$P_{js} = \frac{3}{2} R_s I_s^2 = \frac{3}{2} * 0,0177 * 6182 = 10,14 \text{ KW} \Rightarrow \boxed{P_{js} = 10,14 \text{ KW}}$$

**RQ :**  $R_s$  est donnée par le fabricant :  $R_s = 0,0177\Omega$ .

➤ **Les pertes joule rotorique  $P_{jr}$**

$$P_{jr} = R_r I_{ex}^2 = 0,222 * 324,6452 = 23,397 \text{ KW} \Rightarrow \boxed{P_{jr} = 23,397 \text{ KW}}$$

**RQ :**  $R_r$  est donnée par le fabricant :  $R_r = 0,222\Omega$ .

➤ **Les pertes collectives  $P_c$**

Les pertes collectives sont les pertes mécaniques ( $P_{mec}$ ) + les pertes fer ( $P_{fer}$ )

$$P_c = (P_{mec} + P_{fer})$$

D'après les valeurs données par le constructeur on a :

Les pertes mécaniques :  $P_{mec} = 125 \text{ KW}$

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

Les pertes fer :  $P_{fer} = 130$  KW

$$D'où : P_c = 125 + 130 = 255 \text{ KW} \Rightarrow P_c = 255 \text{ KW}$$

### ➤ Les pertes supplémentaires

Les pertes supplémentaires sont données au point nominal à une valeur approximative de 55 KW

$$\Rightarrow P_{sup} = 55 \text{ KW}$$

**Remarque :** Dans notre calcul, on prend les pertes collectives et les pertes supplémentaires constantes

### III.3.2.4 Calcul des différentes puissances de l'Alternateur

#### ❖ Puissance utile $P_u$

$$P_u = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

$$P_u = \sqrt{3} * 10959 * 618 * 0,73 = 8563,334 \text{ KW} \Rightarrow P_u = 8563,334 \text{ KW}$$

#### ❖ Puissance Absorbé $P_a$

$$P_a = P_u + \text{Perte tot}$$

On a :

$$\text{Perte}_{tot} = (P_{js} + P_{jr} + P_{mec} + P_{fer} + P_{sup})$$

$$\text{Perte}_{tot} = 10,14 + 23,397 + 125 + 130 + 55 \Rightarrow \text{Perte}_{tot} = 343,537 \text{ KW}$$

D'ou

$$P_a = 8563,334 + 343,537 \Rightarrow P_a = 8906,871 \text{ KW}$$

#### ❖ Puissance réactive $Q$

$$\cos \varphi = 0,73 \Rightarrow \sin \varphi = 0,6834$$

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi ; Q = \sqrt{3} 10959 * 618 * 0,6834 = 8016,688 \text{ KVar}$$

$$\Rightarrow Q = 8016,688 \text{ KVar}$$

#### ❖ Puissance apparente $S$

$$S^2 = P_a^2 + Q^2 \Rightarrow S = \sqrt{P_a^2 + Q^2} = \sqrt{8906,871^2 + 8016,688^2} \Rightarrow S = 11983,306 \text{ KVA}$$

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

Essais	$P_u$ (KW)	$P_{js}$ (KW)	$P_{jr}$ (KW)	$P_c$ (KW)	$P_{sup}$ (KW)	$P_a$ (KW)	$\eta$ (%)
--------	------------	---------------	---------------	------------	----------------	------------	------------

❖ On détermine le couple moteur  $T_m$

$$P_a = P_m = T_m * \Omega_m$$

$$T_m = \frac{P_a}{\Omega_m} = \frac{8906,871 * 10^3}{1500 * \frac{2\pi}{60}} = 56702,901 \text{ Nm} \Rightarrow T_m = 56702,901 \text{ Nm}$$

### III.3.2.5 Calcul du rendement de l'alternateur

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + \text{Pertes tot}}$$

$$\eta = \frac{8563,334}{8563,334 + 343,537} = 0,9614 \Rightarrow \eta = 96,14\%$$

**Remarque :** la méthode suivie est appliquée pour tous les autres essais.

Le tableau ci-après nous donnera un résumé des résultats des autres essais :

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

$I_{AB}=618 \text{ A}$ $V_{AB}=10959 \text{ V}$ $\text{Cos } \varphi=0,73$ $I_{ex}=324,645 \text{ A}$	8563,334	10,14	23,397	255	55	8906,871	96,14
$I_{AB}=653 \text{ A}$ $V_{AB}=10918 \text{ V}$ $\text{Cos } \varphi=0,75$ $I_{ex}=328,556 \text{ A}$	9261,432	11,321	23,964			9606,717	96,4
$I_{AB}=705 \text{ A}$ $V_{AB}=11011 \text{ V}$ $\text{Cos } \varphi=0,78$ $I_{ex}=336,379$	10487,479	13,196	25,119			10835,794	96,78
$I_{AB}=745 \text{ A}$ $V_{AB}=10970 \text{ V}$ $\text{Cos } \varphi=0,8$ $I_{ex}=344,202 \text{ A}$	11324,356	14,735	26,301			11675,392	96,99
$I_{AB}=785 \text{ A}$ $V_{AB}=10980 \text{ V}$ $\text{Cos } \varphi=0,82$ $I_{ex}=352,025 \text{ A}$	12241,833	16,36	27,510			12595,703	97,19

Tableau III.3. Les résultats des essais en charge de l'alternateur.

### ❖ Positionnement des points de fonctionnement sur le diagramme des puissances actives réactives

D'après le Tableau III.3 on peut déduire les  $\text{Cos } \varphi$  et  $\text{Sin } \varphi$  suivant :

## CHAPITRE III : Calcul du rendement de l'alternateur

Essai Cos $\varphi$ , Sin $\varphi$	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
$\text{Cos } \varphi = \frac{P_a}{S}$	0,73	0,75	0,78	0,8	0,82
$\text{Sin } \varphi = \frac{Q_a}{S}$	0,68	0,66	0,62	0,6	0,57

Tableau III.4 Résumé des Cos  $\varphi$  et Sin  $\varphi$ .

- **Courbe :** à partir du Tableau III.4 on peut tracer la courbe Cos  $\varphi = f(\text{Sin } \varphi)$  des cinq essais de l'alternateur sur le diagramme suivant :

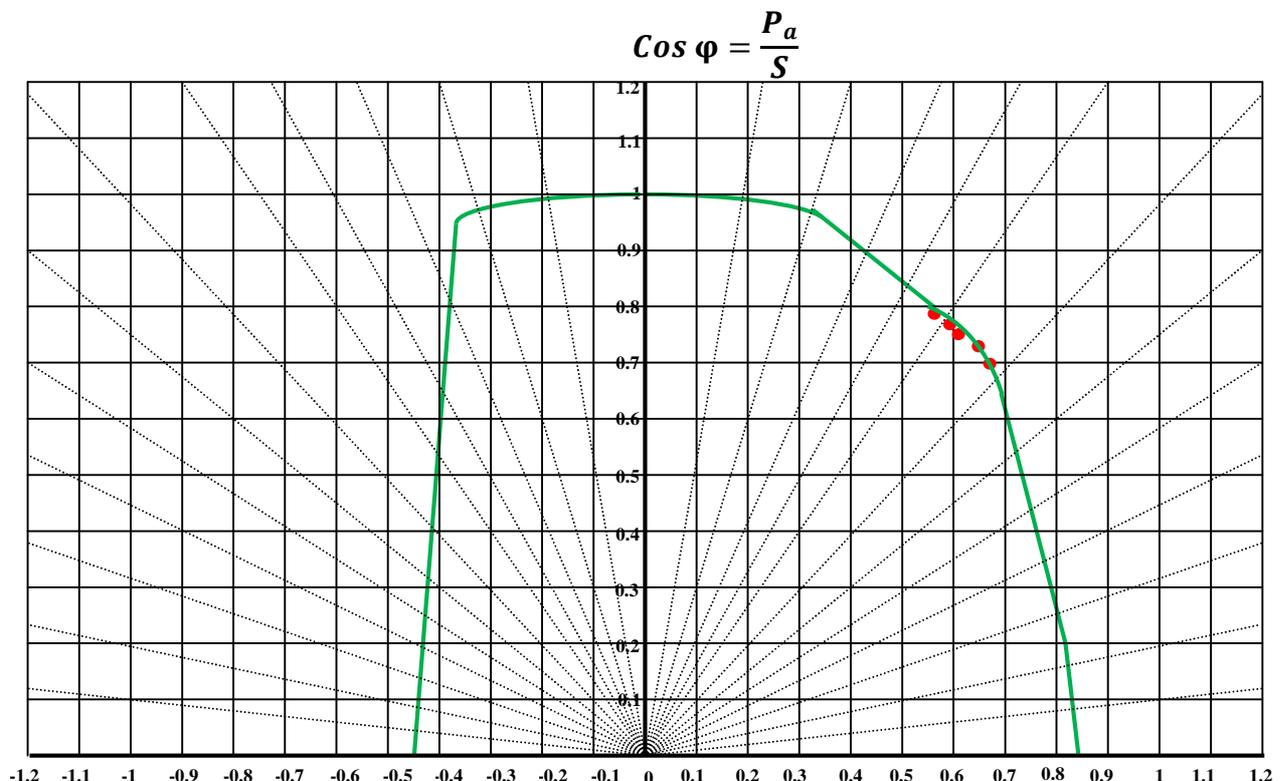


Figure III.8. Diagramme des puissances actives et réactives.

$$\text{Sin } \varphi = \frac{Q}{S}$$

- **Interprétation des résultats de la courbe Cos  $\varphi = f(\text{Sin } \varphi)$  :**

La courbe verte de la Figure III.8, est destinée par le constructeur aux utilisateurs, afin qu'ils puissent confirmer le régime fonctionnel normal de l'alternateur.

D'après nos résultats Cos  $\varphi = f(\text{Sin } \varphi)$  qui sont des points en rouge sur la figure III.8, on voit bien qu'ils sont ajustés sur la courbe verte du diagramme des puissances, donc l'alternateur il est dans des conditions de fonctionnement acceptables.

### ❖ Rendement

On résume à partir du Tableau III.3 ce que nous intéresse pour analyser l'état du rendement de l'alternateur :

$\eta$ (%)	96,14	96,4	96,78	96,99	97,19
Pa (MW)	8,563	9,261	10,487	11,324	12,241

Tableau III.5. Les valeurs du rendement en fonction de la puissance utile.

- **Courbe** : à partir du Tableau III.5 on peut tracer la courbe  $\eta = f(P_u)$  :

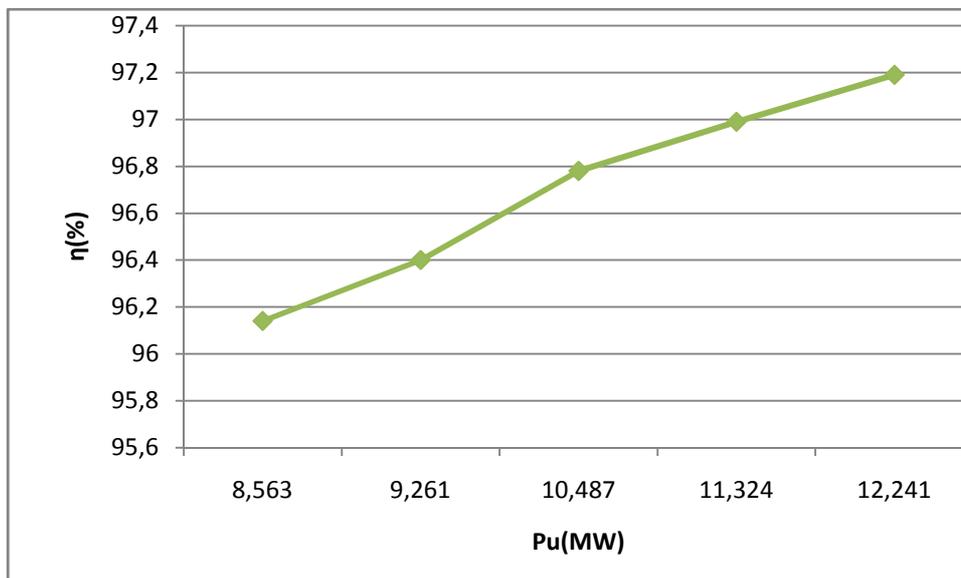


Figure III.9. La courbe  $\eta=f(P_u)$ .

Tableau des valeurs de constructeur du rendement en fonction de la puissance à  $\cos \varphi$  nominal :

$\eta$ (%)	95,62	97,45	97,97	98,15
Pa (MW)	6,25	12,25	18,75	25

Tableau III.6. Les valeurs de rendement en fonction de la puissance débitée  $\eta=f(P_a)$  (constructeur).

- **Courbe** : à partir du Tableau III.6 on peut tracer la courbe suivante :

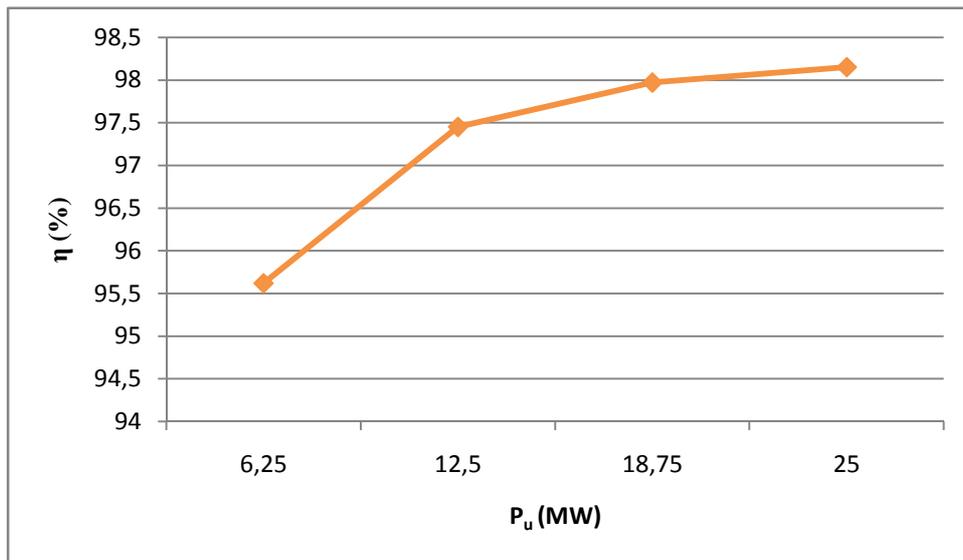


Figure III.10. La courbe de constructeur  $\eta=f(P_u)$ .

### III.3.2.6 Interprétation des résultats en charge

Le rendement de l'alternateur dépend de la puissance utile (donc de la charge), cela signifie que le rendement atteignable augmente avec l'augmentation de la puissance débitée.

Pour une plage de fonctionnement actuelle de la puissance utile [8MGW 12,5 MGW] les valeurs de rendement sont proches de celles données par le constructeur.

L'analyse comparative du rendement et des puissances au moment de production (en charge) confirment que la machine conserve ses caractéristiques initiales.

## III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé une étude expérimentale de l'alternateur de Cevital.

Nous avons calculé le bilan des puissances de l'alternateur à partir des essais expérimentaux pour différents charges.

D'après tout nos résultats, on a confirmé que l'alternateur est en bon état de fonctionnement.

---

## **Conclusion général**

---

### Conclusion général

Le présent travail a porté sur l'étude et le calcul du rendement de L'alternateur du complexe Cevital. Ce calcul se présente comme une opération d'entretien pour vérifier son état à l'heure actuelle lors des conditions normales de production(en charge).

Tout au long de notre travail nous avons essayé de comprendre le mode de fonctionnement de tout le système de production d'énergie au sein de l'entreprise, Cependant, cette étude nous a permis, au premier lieu, de comprendre le mode de fonctionnement de la cogénération au sein du complexe et d'élaborer une analyse fonctionnelle de l'Alternateur synchrone a trois étage.

Le travaille réalisé nous a permis d'acquérir des informations et des connaissances sur les différentes machines synchrones. Aussi, à travers ce travail, nous avons amélioré largement nos connaissances concernant la méthodologie de calcul des pertes et diverses puissances, ainsi que le rendement des alternateurs de productions à grandes puissances sur le plan réel.

Nous avons enfin, pu confirmer le bon état du rendement de l'alternateur de Cevital après l'avoir comparé avec les valeurs du constructeur.

---

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] Photo-Application Androïde : Google earth.
- [2] Chaîne Youtube : « Algérie toujours », 2009, Réalisation Mthieu Ravey, production Audio FOCUS, « film de Civetal une société algérienne produite l'huile, sucre, margarine et l'eau minérale ».
- [3] D. HARKAT, M. BOURDACHE : « Etude et redimensionnement de la boucle moyenne tension du complexe Cevital », Mémoire de master en électrotechnique option réseaux électriques, Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2016 / 2017, 86 pages.
- [4] Site web : FONDATION D'ENTREPRISE ALCEN POUR LA CONNAISSANCE DES ENERGIES, Titre Accueil : Électricité et hydrogène, Site : [www.connaissacedesenergies.org](http://www.connaissacedesenergies.org), 2011-2018.
- [5] M. LOUNAS : « Etude de fonctionnement d'un turboalternateur au sein d'une central de cogénération », Mémoire de master en électromécanique, Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2012, 71 pages.
- [6] I. ABID, F.KERROUCHE : « Dimensionnement, Automatisation et Supervision des auxiliaires de deux Groupes Turbo-alternateurs au sein de l'entreprise Cevital », Mémoire de master en Automatisation industrielle et électromécanique, Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2017, 94 pages.
- [7] A. Tsamda, E.A. Bouziane : « Etude expérimentale et simulation des essais d'une machine synchrone, Mémoire de master en électrotechnique, Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2016 – 2017, 62 pages.
- [8] G. CHATEIGNER, M. BOES, D. BOUIX, J. VAILLANT, D. VERKINDERE : « Manuel de génie électrique. », édition DUNOD, Paris, janvier 2006, suite du tirage : juin 2007, 610 page. ISBN : 978-2-10-048499-7.
- [9] Dossier Constructeur Cevital, « Turbine à vapeur », Bejaia, 2765 pages.
- [10] D. STATORE-NAMANE : « Machine à courant alternatif », Ellipses Edition Marketing S.A, Paris, 2010, 350 pages, ISBN : 978-2-7298-5282-5.
- [11] T. Wildi : « ÉLECTROTECHNIQUE », 3ème édition, Bibliothèque nationale de Canada, Institut de recherche d'Hydro- Québec, 2000, 1161 pages, ISBN DBU 2-8041-3171-8.
- [12] Manuel (catalogue) d'exploitation de l'alternateur de Cevital.
- [13] K. OURAMDANE : « Modélisation et optimisation du système d'excitation du groupe turbine-alternateur du simulateur analogique d'hydro-Québec », Université du Québec en Abitibi Témiscamingue, 2015, 160 pages.