



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique



N° d'ordre : M...../GE/2023

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : <sup>1</sup>Energie Renouvelable en Electrotechnique et <sup>2</sup>Electrotechnique Industrielle

Par :

<sup>1</sup> ATTOU Soheyb

<sup>2</sup> SAADA Zohir

Intitulé du sujet :

**Contribution à la Détection des Défauts dans une Installation Electrique  
Interne de la Centrale Thermique de Marsat el hadjadj Oran**

Soutenu le 26 - 06 - 2023 devant le jury composé de :

Président :	Mr KOUADRIA Mohamed Abdeldjabbar	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mme NEDDAR Houaria	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr BENYAMINA Mansour	MCA	Université de Mostaganem
Co-encadreur :	Mr BENZIDANE Mohammed Ridha	Dr	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr Charref Ouahba	ING	Centrale Thermique Oran

Année Universitaire : 2022/2023

# Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir guidé dans la réalisation de ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements vont à notre encadreur monsieur Dr. Benyamina mansour et co-encadreur Benzidane Mohammed Ridah pour avoir accepté de suivre notre travail au cours de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études et pour ces patiences, leurs gentillesse tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont à nos deux encadreurs Mr. Bandahaoua samir et Mr. Ouahba charef pour avoir accepté de suivre notre travail au niveau de la centrale thermique de marsat el hadjadj Oran.*

*Merci à toutes les personnes que je n'ai pas cité et qui ont de près ou de loin participé à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicaces*

*En ce beau avec une grande joie, je dédie cette remise  
du diplôme à mon cherpère que Dieu le protège. À ma  
chère mère, la tendresse, la sincérité et la pureté.  
À mes deux frangins khelil et mohamed Amine  
et ma frangine. À mes deux neveux baraa  
et djaouad et leurs père charef. Et Mes deux  
grands-mères paternelles et maternelles  
zoulikha allah yarhmha  
Et à toute ma famille Attou, Belalem et.  
À tous ceux qui  
M'ont aidée et Encouragée.*

*Attou Soheyb*

# *Dédicaces*

*Je dédie mon travail :*

*A ma mère qui la lumière de ma vie, et espère mon succès  
chaque jour*

*A mon père qui m'a toujours épaulé, soutenu  
financièrement et moralement et  
donné son amour et son respect.*

*Une spéciale dédicace a toute ma famille sans oublie mon  
oncle maternel*

*A mes meilleurs ami(e)s : Oussama et Ghaniya*

*A tous mes amis du travail*

*A mes collègues de la promotion 2022 /2023 du M2 ELT.*

*A tous ceux que j'aime, et à tous ceux qui m'aime.*

*Saada zohir*

## **Résumé :**

Le progrès de l'électronique de puissance est basé essentiellement sur les convertisseurs statiques, dans les différents domaines, ne cesse d'augmenter. Parallèlement, il y avait énormément d'efforts scientifiques et techniques déployés pour la mise en place de techniques permettant la surveillance et le diagnostic des défauts pour éviter tous dysfonctionnement des systèmes électriques comme le cas de la centrale de Marsat El hedjadj.

Ce travail présente donc des méthodes de détection et localisation de défauts d'ouverture et de court-circuit des interrupteurs du redresseur et de l'onduleur à MLI

Principalement, la méthode d'analyse de la trajectoire du contour de Park est appliquée au système électrique, dans le but d'analyser les résultats simulés dans l'environnement Matlab/Simulink.

**Mots Clés :** Diagnostic des défauts, Redresseur et Onduleur à MLI, Contour de Park

## **ملخص:**

تطور إلكترونيك الاستطاعة مرتكز أساسا على المبادلات الساكنة , في مختلف المجالات , بالموازاة مع ذلك مجهودات علمية وتقنية واسعة من أجل وضع تقنيات تسمح بمراقبة و تشخيص الاعطال لمنع أي خلل وظيفي على المستوى الأنظمة الكهربائية,

كما هو الحال بالنسبة لمحطة توليد كهرباء مرسى الحجاج بوهران

و الدائرة المغلقة لذلك يقدم هذا عمل طرقا لاكتشاف و تحديد اخطاء الفتح وقصر الدوائر كهربائية بالنسبة للمفاتيح المحددة في مقوم عاكس كهربائي

بشكل اساسي يتم تطبيق طريقة تحليل المسار كنتور لي PARK على نظام طاقة لعرض تحليل نتائج المحكاة في بيئة

الكلمات المفتاحية : تشخيص اعطاب المقوم المموج MLI مخطط PARK

## **Abstract:**

The progress of power electronics based mainly on static converters, continues to grow, in the different fields. At the same time, there were a lot of scientific and technical efforts made for the implementation of techniques allowing the monitoring and diagnosis of faults to avoid any malfunction of the electrical systems, as in our case of the Marsat El hedjadj power electrical central.

This work therefore presents methods for detecting and locating opening and short-circuit faults of the switches (IGBT) of the rectifier and the UPS inverter.

Mainly, the Park contour trajectory analysis method is applied to the power system, in order to analyzing the simulated results in the Matlab/Simulink environment.

**Key words:** Fault Diagnosis, PWM Rectifier and Inverter, Park outline.

Introduction générale.....1.2

**Chapitre I**

**Généralité sur la centrale thermique de « Marat el hadjadj Oran »**

I.1. INTRODUCTION .....03

    I.1.1.Localisation du Site. ....03

    I.1.2.Carte de la région d’Oran.....03

    I.1.3.Localisation de site 2.....04

I.2.Historique :.....04

    I.2.1.Objectif visé par le projet..... 04

    I.2.2. Organisation administrative de l’usine .....04

I.3.Étude sommaire de l’activité de production .....05

    I.3.1.Schéma d’implantation des équipements.....06

    I.3.2.Schéma électrique de centrale .....07

    I.3.3.Schéma synoptique du procédé de fabrication.....08

    I.3.4. Représentation des tuyauteries .....09

I.4.Description du principe du procédé de fabrication .....09

    I.4.1.Poste d’eau.....09

    I.4.2.Chaudière .....09

    I.4.3.Turbine .....09

    I.4.4.Alternateur .....10

    I.4.5.Les auxiliaires électriques .....10

I.5.Etude détaillée de l’activité de production .....10

I.6.Système filtration et pompage.....11

    I.6.1.Prise eau de mer.....11

    I.6.2.Dérilleur .....11

    I.6.3.Filtre rotatif.....11

I.7.Système eau de circulation..... 12

    I.7.1.Pompe de circulation .....13

I.8.Système eau d’extraction .....14

    I.8.1.Condenseur .....15

    I.8.2.Pompes d’extraction .....16

## Sommaire

I.9. Système eau alimentaire.....	16
I.9.1.Pompes alimentaire.....	18
I.10.Système vapeur .....	20
I.11.Conclusion .....	21

## Chapitre II

### Partie électrique interne de la centrale

II.1.Introduction.....	22
II.2. Convertisseur statique.....	22
II.2.1. Convertisseur AC/DC.....	23
II.2.2. Convertisseur DC/AC.....	23
II.3. Transformateur.....	23
II.3.1. Transformateur triphasé.....	24
II.4. Redresseur.....	24
II.4.1. Redresseur non commandé.....	25
II.4.1.1. Redresseur triphasé non commandé.....	25
II.4.1.1.1. Redresseur triphasé parallèle simple alternance (diode).....	25
II.4.1.1.2. Redresseur triphasé parallèle double alternance (diode).....	29
II.4.2. Redresseur commandé.....	32
II.4.2.1. Redresseur triphasé commandé.....	32
II.4.2.1.1. Redresseur triphasé parallèle simple alternance (thyristor).....	32
II.4.2.1.2.Redresseur triphasé parallèle double alternance (thyristor).....	34
II.5. Domaine d'utilisation.....	36
II.6. Onduleur.....	37
II.6.1. Composants généraux de l'onduleur.....	38
II.6.2.Types d'onduleurs.....	39
II.6.2.1. L'onduleur non autonome.....	39
II.6.2.2. L'onduleur autonome.....	39
II.6.3. Onduleur triphasé et principe de fonctionnement .....	39
II.6.4 Constitution d'onduleur.....	42
II.6.4.1. Partie puissance.....	42
II.6.4.2. Partie commande.....	42
II.7. Conclusion.....	43

**Chapitre III**

**Les techniques de défauts dans les convertisseurs statiques**

III.1. Introduction.....	44
III.2. Modélisation de la redresseuse triphasée double alternance à diodes.....	44
III.3. Modélisation du filtre de tension redressée.....	45
III.4. Onduleur de tension triphasée à deux niveaux.....	45
III.5. Les différentes techniques de détection des défauts .....	46
III.5.1. Transformation de Park.....	46
III.5.2. Les réseaux de neurones artificiels (RNAs).....	48
III.5.3. Systèmes neurone-flous(Réseaux de neurones flous).....	50
III.5.3.1. La logique floue.....	50
III.5.3.2. Architecture d'ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inférence System) .....	51
III.6. Simulation de l'onduleur et le redresseur.....	52
III.6.1. Schéma de la simulation.....	53
III.6.2. Résultat de simulation.....	55
III.6.3. Interprétation des résultats.....	56
III.9. Conclusion.....	56

**Chapitre III**

**Détection et identification des défauts d'onduleur et redresseur par de méthode**

**Contour de Park**

IV.1. Introduction.....	58
IV.2. Défauts interne du convertisseur.....	58
IV.3. Description du système à étudier .....	59
IV.4. Étude du défaut dans le redresseur .....	59
IV.4. 1. Cas d'ouverture des interrupteurs du redresseur .....	59
IV.4. 2. Cas fermeture des interrupteurs du redresseur .....	61
IV.5. Étude du défaut dans l'onduleur .....	63

## Sommaire

IV.5.1. Cas d'ouverture des interrupteurs de l'onduleur .....	63
IV.5. 2. Cas fermeture des interrupteurs de l'onduleur :.....	64
IV.6. Interprétation de détection et localisation des défauts.....	67
IV.6.1.Cas redresseur .....	68
IV.6.2.Cas onduleur .....	68
IV.7. Conclusion .....	69

### Chapitre I :

**Figure 1.1 :** Carte de la région d'Oran

**Figure 1.2 :** La direction de centrale

**Figure 1.3 :** schéma global du central thermique

**Figure 1.4 :** Schéma électrique de centrale

**Figure 1.5 :** Schéma électrique de centrale

**Figure 1.6 :** Le cycle thermique de la production de l'électricité

**Figure 1.7 :** Station de filtration

**Figure 1.8 :** Circuit de pompes d'extraction

**Figure 1.9 :** Circuit de condenseur

**Figure 1.10 :** Circuit eau d'alimentaire

**Figure 1.11 :** Circuit pompes alimentaires

**Figure 1.12 :** Circuit eau vapeur

### Chapitre II :

**Figure 2.1 :** Familles de convertisseurs statiques

**Figure 2.2 :** Transformateur monophasé et triphasé

**Figure 2.3 :** transformateur triphasé

**Figure 2.4:** Schéma fonctionnel d'un redresseur

**Figure 2.5 :** Redresseur P3 non commandé

**Figure 2.6 :** Formes d'ondes d'un redresseur triphasé P3 (charge R)

**Figure 2.7 :** Formes d'ondes d'un redresseur triphasé P3 (charge R-L  $\rightarrow \infty$ )

**Figure 2.8 :** Redresseur PD3 non commandé

**Figure 2.9 :** Formes d'ondes d'un redresseur triphasé PD3 (charge R-L  $\rightarrow \infty$ )

**Figure 2.10 :** Formes d'ondes des courants pour un redresseur triphasé PD3 (charge R-L  $\rightarrow \infty$ )

## Liste des Figures

**Figure 2.11:** Redresseur P3 commandé

**Figure 2.13 :** Redresseur PD3 commandé

**Figure 2.14 :** Montage triphasé PD3 commandé avec une charge RL et Formes d'ondes

**Figure 2.15 :** Redresseur de courant DC/découpage

**Figure 2.16 :** schéma de principe de l'onduleur

**Figure 2.17 :** chargeur de batterie de l'onduleur

**Figure 2.18 :** Représentation d'un onduleur triphasé

**Figure 2.19 :** Chronogrammes des tensions de sortie composées d'un onduleur triphasé

**Figure 2.20:** Chronogrammes des tensions de sortie simples d'un onduleur triphasé

### Chapitre III :

**Figure 3.1 :** Schéma d'un redresseur à diodes

**Figure (3.2) :** Schéma d'un filtre passe bas

**Figure (3.3) :** Schéma de l'onduleur de tension triphasée à deux niveaux

**Figure (3.4) :** Représentation des deux systèmes triphasé et biphasé.

**Figure 3.5 :** Représentation biologique d'un neurone

**Figure 3.6 :** Modèle mathématique d'un neurone

**Figure 3.7 :** L'architecture ANFIS

**Figure 3.8 :** Schéma bloque de simulation globale.

**Figure 3.9:** Les états de la commande du redresseur

**Figure 3.10 :** Tensions simples à l'entrée et à la sortie du transformateur

**Figure 3.11 :** Tension simple  $V_a(t)$  à l'entrée et à la sortie du transformateur

**Figure 3.12 :** Tension de sortie du redresseur

**Figure 3.13 :** Tensions simples délivrées par l'onduleur

**Figure 3.14 :** Tension composée délivrées par l'onduleur

**Figure 3.15 :** Les états de commande de l'onduleur

### Chapitre IIIII :

**Figure 4.1 :** Schéma du système (redresseur -onduleur de tension)

**Figure.4.2. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de circuit ouvert dans les interrupteurs du redresseur (a)T1, (b) T2, (c)T3, (d) T4, (e)T5 et (f) T6.

## Liste des Figures

**Figure. 4.3. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de court-circuit des interrupteurs du redresseur (a)T1, (b) T2, (c)T3, (d) T4, (e)T5 et (f) T6.

**Figure.4.4. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de circuit ouvert dans les interrupteurs de l'onduleur (a)T1, (b) T2, (c)T3, (d) T4, (e)T5 et (f) T6.

**Figure.4.5. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de court-circuit des interrupteurs de l'onduleur (a)T1, (b) T2, (c)T3, (d) T4, (e)T5 et (f) T6.

## Introduction Générale

Grâce aux progrès considérables réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, il a été possible de l'exploiter dans les différents secteurs industriels.

L'électronique de puissance est basée sur l'usage des composants de type semi-conducteurs qui sont des interrupteurs électroniques, soient commandables, ou non commandables associés intégralement dans un convertisseur statique. Ces derniers sont utilisés afin d'améliorer la conversion d'énergie, et le contrôle du transfert de puissance dans certains domaines tel que l'alimentation des secteurs industriels comme l'usine de Marsat ELHadjadj. Ces applications furent pendant longtemps limitées à la technique de haute fréquence, mais à la suite de l'apparition de nouveaux interrupteurs de puissance tel que les GTO, MOSFET et les IGBTs et leur développement, de nouvelles techniques peuvent être envisagées. Parmi ces convertisseurs les plus étendus, les redresseurs et les onduleurs qui sont des convertisseurs commandables permettant la conversion de l'énergie de la forme AC/DC ou DC/AC.

La commande des convertisseurs statiques et la défaillance des composants sont des causes principales de création des défauts dans un convertisseur qui soient un circuit ouvert, court-circuit ou vieillissement des composants. Ces types de dysfonctionnements induisent des contraintes d'endommagement pour le système de conversion, ces défauts doivent être rapidement détectés et localisés et afin d'empêcher la répartition de danger de ces défauts.

Auparavant, la détection des défauts est effectuée via l'emploi des capteurs, qui sont coûteux généralement. Par contre, ces dernières années les méthodes de diagnostic furent développées pour la détection et la localisation des défauts dans les convertisseurs statiques. Le contour de trajectoire de tension de charge de Park peut être exploité en diagnostic comme outil principal de classification et de surveillance. En effet, le problème de surveillance peut être considéré comme étant un problème de reconnaissance des formes et de classification où les classes correspondent aux différents modes de défaillance du système et des formes représentant le comportement du système.

Suite à ces considérations, ce présent travail s'inscrit dans le cadre de cette récente thématique de recherche qui est la surveillance des équipements industriels pour apporter une contribution à l'étude de la détection et de la localisation des défauts du redresseur et d'onduleur.

## Introduction Générale

La technique de détections de défauts adoptés dans le présent mémoire concerne la méthode de vecteur de contour de Park qui consiste à détecter et localiser l'interrupteur défaillant.

Par ailleurs, ce présent mémoire est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur la centrale thermique de « Marat el hadjadj Oran ».

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés à la présentation des différentes parties électriques de la centrale. Ceci en vue de l'étude des convertisseurs associés au système d'alimentation interne de la centrale de Marat el hadjadj Oran.

Dans le troisième chapitre, nous avons commencé a présenté les différentes techniques de diagnostic de défaut dans les convertisseurs statique tel que le redresseur et l'onduleur, l'étude est suivie par la simulation de l'ensemble alimentation alternatif, redresseur, filtre de tension passe bas, l'onduleur à commande MLI et une charge de type étoile équilibrée.

Finalement, le quatrième chapitre est dédié à la présentation des résultats de simulation concernant le diagnostic des défauts d'onduleur et redresseur dans les deux cas (circuit ouvert et court-circuit) des interrupteurs, en utilisant la méthode de contour de Park.

Et enfin on terminera notre mémoire par une conclusion générale qui résumera l'intérêt de notre étude.

## I.1 Introduction

La centrale thermoélectrique de MARSAT EL HADJADJ consiste à produire l'électricité par l'alternateur à partir d'une transformation d'énergie calorifique en énergie mécanique à travers la turbine

Elle est constituée de cinq tranches de production ayant chacune une puissance de 168 MW. Ce chapitre présente les grandes parties qui rentrent dans le système de production électrique de la centrale de Marsat el hadjadj.

### I.1.1. Localisation du Site

La centrale thermoélectrique de mers el hadjdj est située au bord de la mer à 14 Km environ de la zone industrielle d'Arzew et à 50Km à l'est d'Oran.

Cette centrale se compose de cinq tranches identiques produisant chacune 168 MW.

Pour le réseau national et 8 MW pour les auxiliaires de la centrale.

L'énergie produite est transmise avec des lignes de 225 KV vers une sous station.

### I.1.2. Carte de la région d'Oran



Figure 1.1 : Carte de la région d'Oran

**I.1.3. Localisation du site**

P1 à P4 portes d'accès à la zone industrielle

**I.2. Historique****I.2.1. Objectifs visés par le projet**

La centrale est composée de cinq groupes d'une capacité de production totale de 840 MW (168Mw pour chaque tranche).

**I.2.2. Organisation administrative de l'usine**

La centrale thermique est dirigée par un Directeur d'unité.

Pour l'accomplissement de sa mission il dispose de :

**A. Structures techniques :**

- Division exploitation
- Division maintenance

Celles-ci sont coordonnées, selon le schéma d'organisations par un Directeur adjoint de centrale.

**B. Structures fonctionnelles :**

- Assistant prévention sécurité unité.
- Subdivision Finance comptabilité et contrôle de gestion.
- Subdivision approvisionnement /stocks.
- Subdivision Moyens
- Service Ressources Humaine

Celles-ci sont directement sous la responsabilité du Directeur de centrale

I.3. Etude sommaire de l'activité de production

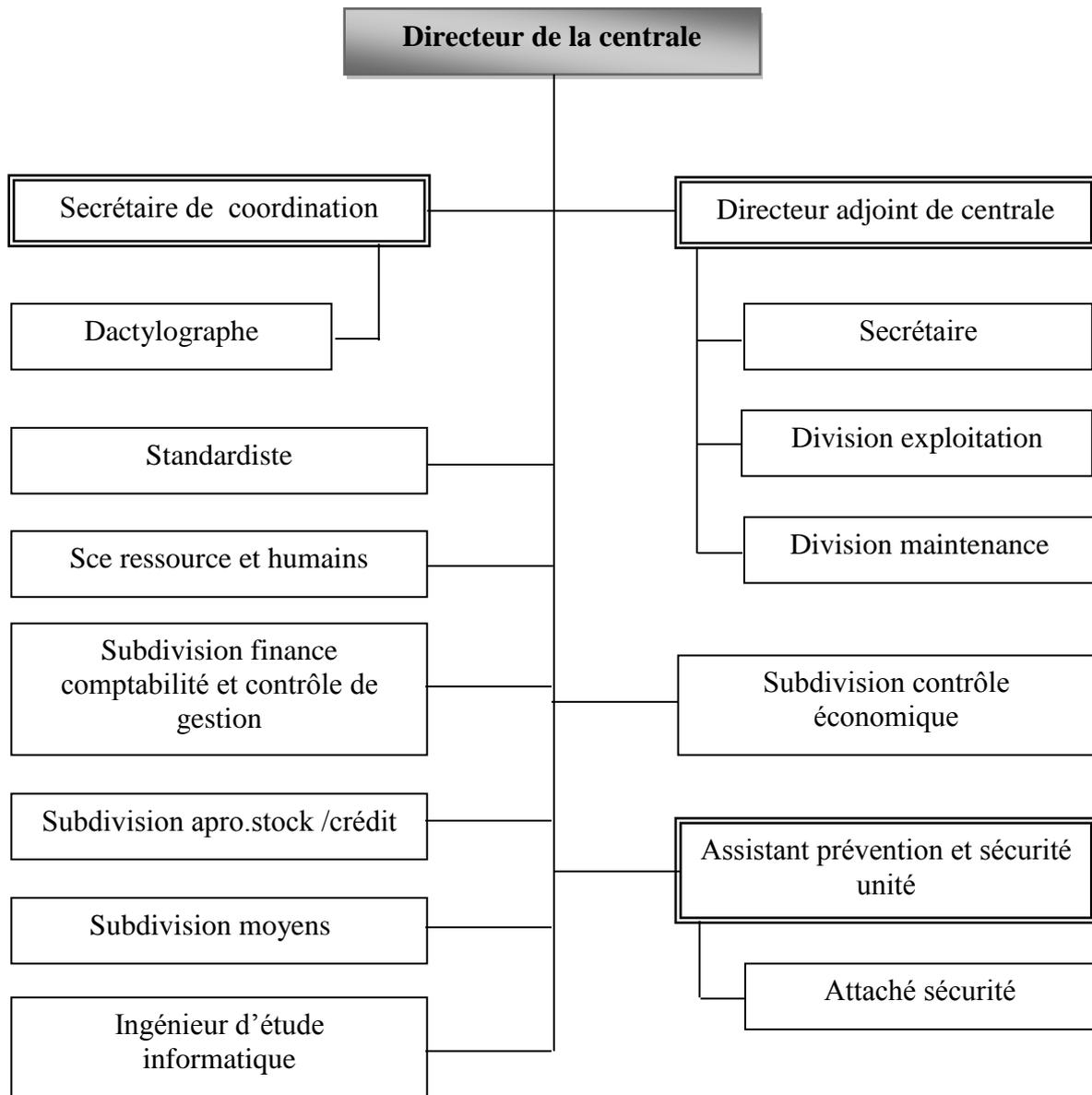


Figure 1.2 : La direction de centrale

I.3.2. Schéma synoptique du procédé de fabrication

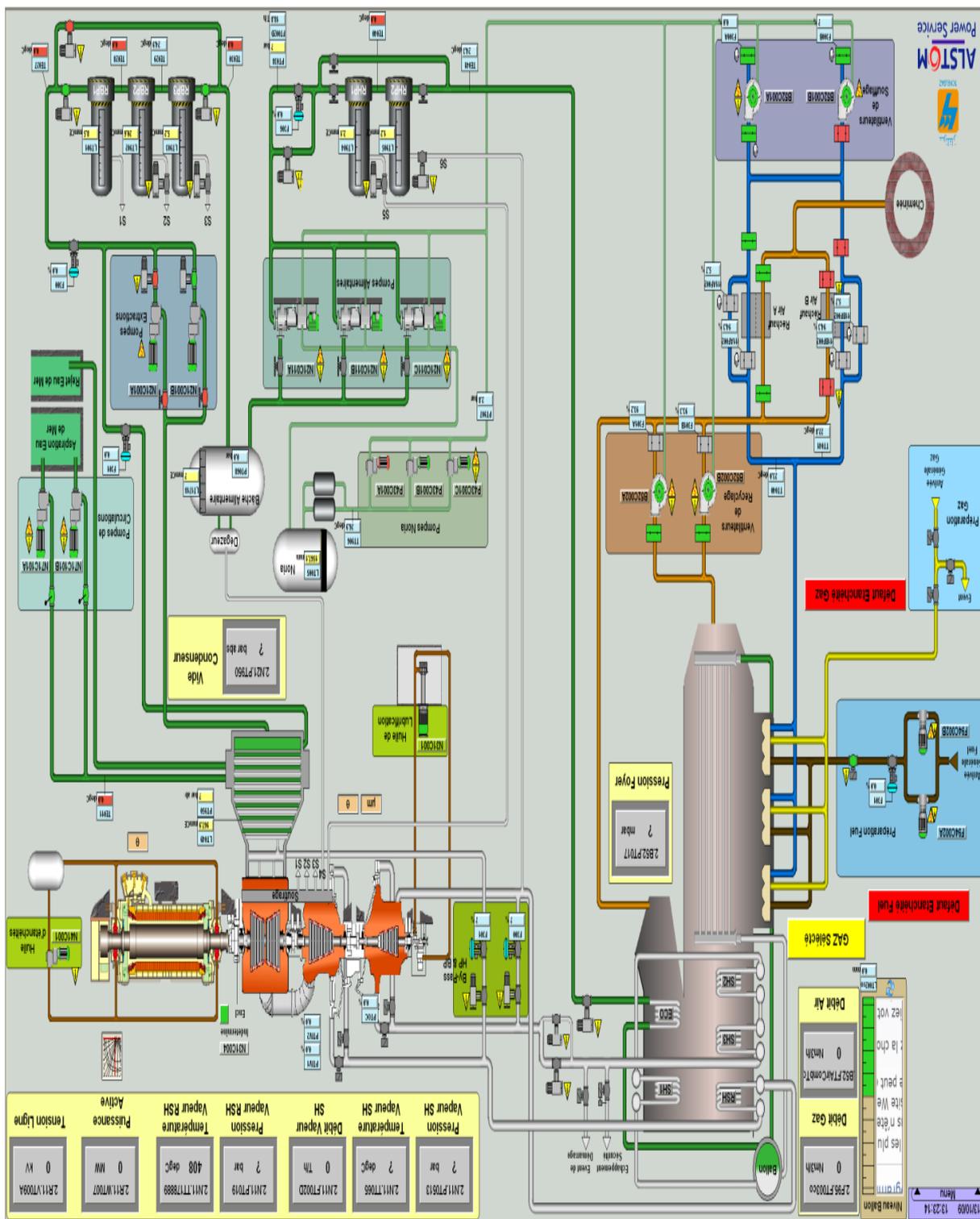


Figure 1.3 : schéma global du central thermique

I.3.3.Schéma électrique de centrale :

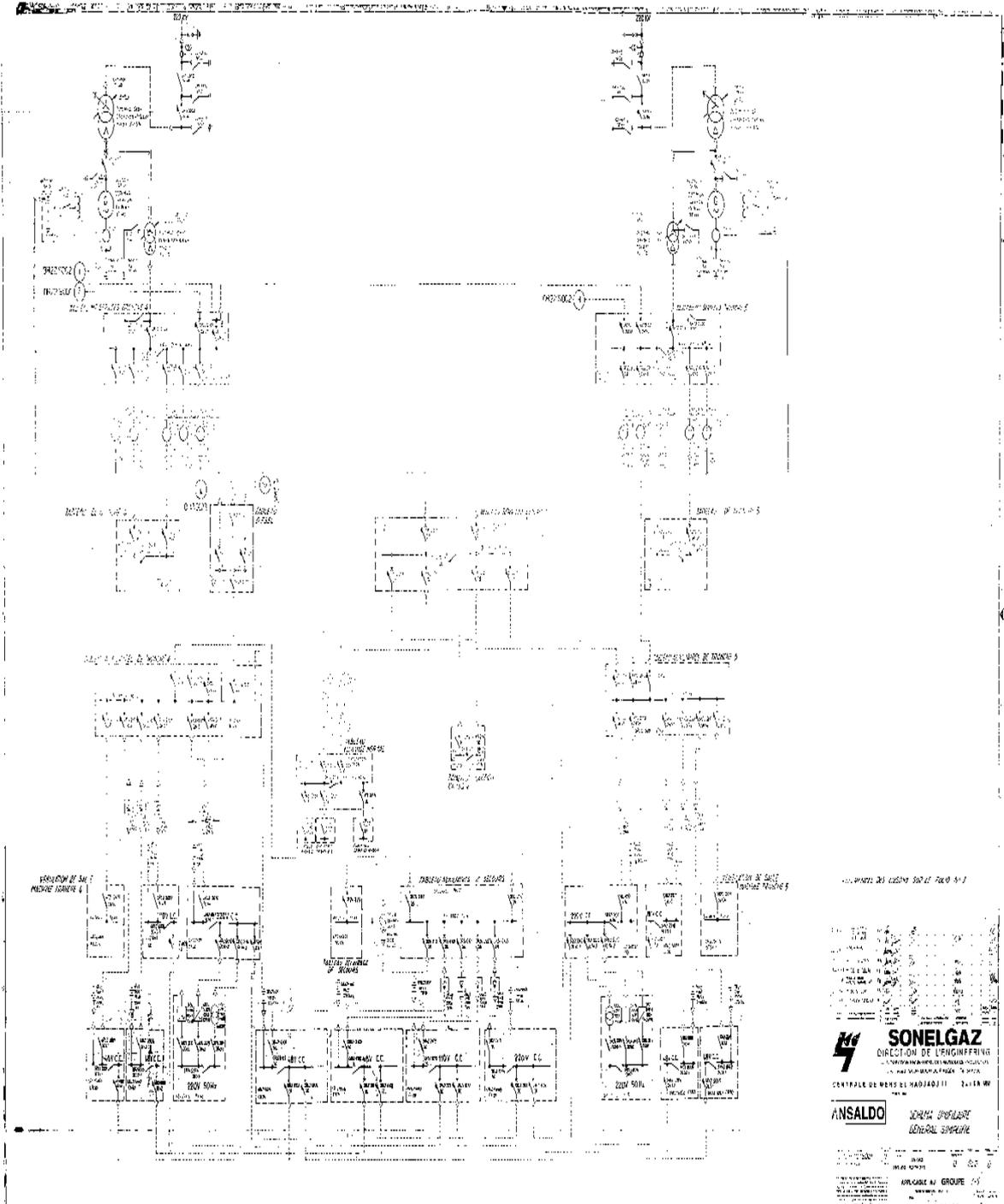


Figure 1.4 : Schéma électrique de centrale

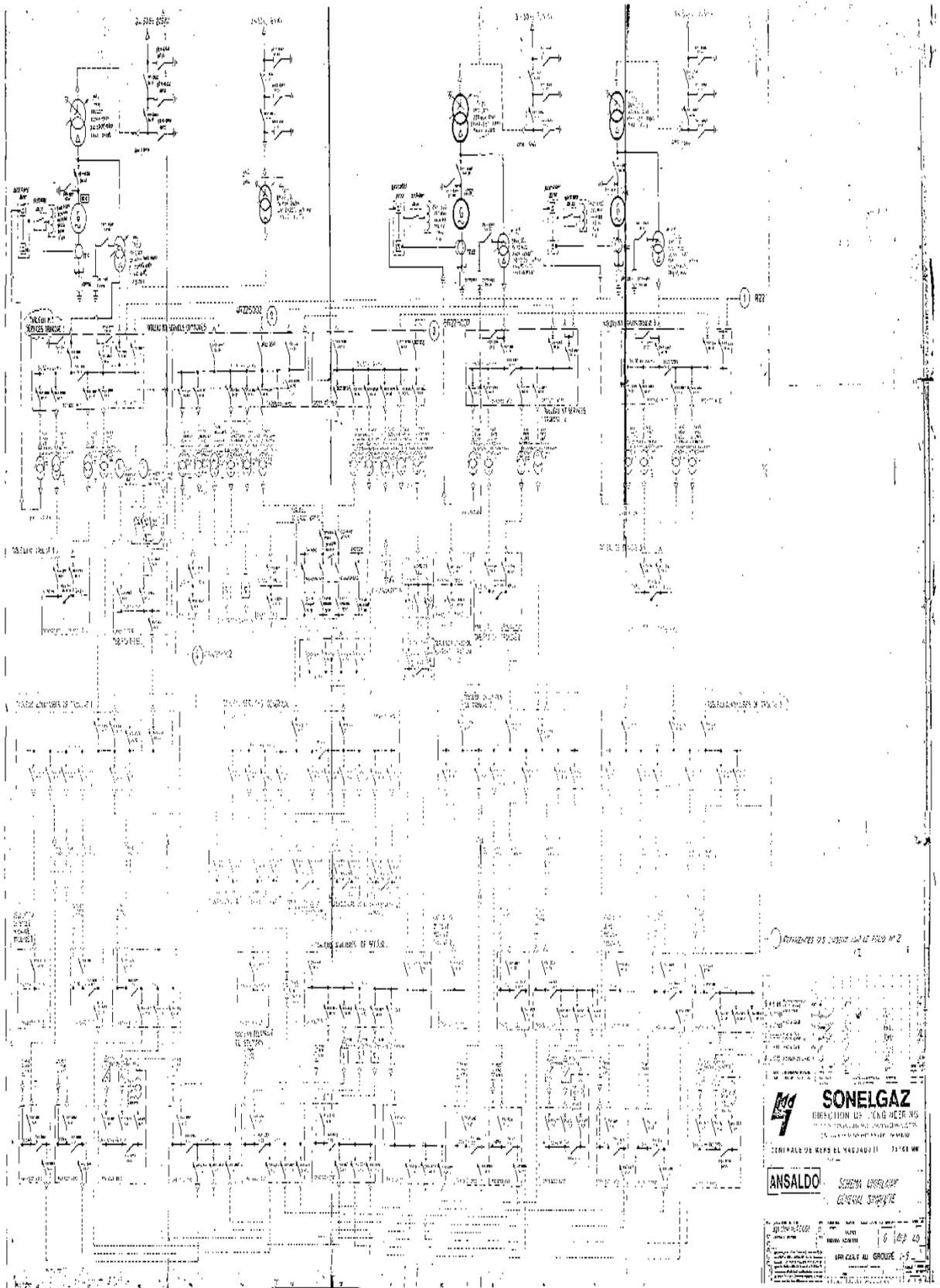
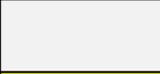


Figure 1.5 : Schéma électrique de centrale

**I.3.4. Représentation des tuyauteries :**

<b>FAMILLE DE FLUIDE</b>	<b>COULEUR DE FOND</b>	
Air	Bleu clair	
Vapeur d'eau	gris clair	
Gaz	jaune	
Eau	vert	
Huile	marron clair	
Fuel	marron foncé	
Fumée	orange	
Eau de réfrigération	vert clair	
hydrogène	violet	
Dioxyde de carbone	turquoise	

**Tableaux 1.1 :** Représentation des tuyauteries

**I.4. Description du principe du procédé de fabrication :**

**I.4.1. poste d'eau :**

Le poste est l'ensemble des appareils qui permet de transférer l'eau du cycle du condenseur à la chaudière et de conditionner cette eau au point de vue teneur en oxygène et température. A ce titre, il améliore le rendement du cycle.

**I.4.2. Chaudière :**

Dans la chaudière ; l'eau circule à travers des tubes qui sont au contact des fumées provenant de la combustion (gaz-air), l'eau monte en température jusqu'à devenir vapeur. C'est une transformation (effet cocotte-minute)

**Energie de combustion → Energie calorifique**

La vapeur produite par la chaudière sera utilisée comme fluide moteur de la turbine.

**I.4.3. Turbine :**

La vapeur produite par la chaudière pénètre dans la turbine ou un appareil nommé tuyère va lui donner une vitesse réalisant une nouvelle transformation.

**Energie calorifique → Energie cinétique**

Dans la turbine toujours, cette vapeur à grande vitesse va venir frapper tangentiellement des ailettes mobiles et les entraînés provoquant leur mise en rotation, c'est une nouvelle transformation.

**Energie cinétique → Energie mécanique**

#### I.4.4. Alternateur :

Il est entraîné à vitesse constante par la turbine et l'ultime transformation est réalisée :

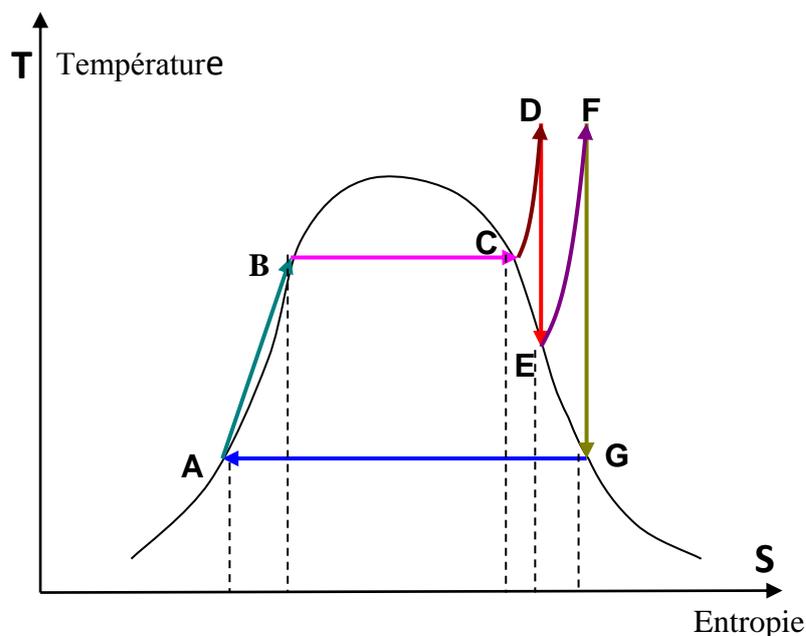
**Energie mécanique → Energie électrique**

#### I.4.5. Les auxiliaires électriques :

La centrale thermoélectrique est destinée à produire une puissance de 176 MW au borne de chaque alternateur. Une partie de cette puissance est utiliser pour alimenter les auxiliaires généraux soit les auxiliaires tranche.

#### I.5. Etude détaillée de l'activité de production

Le cycle thermique de la production de l'électricité est représenté par le diagramme de mollie suivant :



**Figure 1.6 :** Le cycle thermique de la production de l'électricité

[AB] : Poste d'eau RBP et RMD.

[BC] : Ballon chaudière (évaporation).

[CD] : Surchauffeurs (sh1, sh2 et sh3).

[DE] : Détente de la vapeur dans le corps HP de la turbine.

[EF] : Resurchauffeurs de la vapeur.

[FG] : Détente de la vapeur dans le corps MP et BP de la turbine.

[GA] : Condensation de la vapeur dans le condenseur.

## **I.6. Système filtration et pompage**

### **I.6.1. Prise eau de mer**

L'eau est aspirée à la prise d'eau se trouvant dans la digue qui est construite à l'entrée de la crique EST. Le fond de la prise d'eau est situé au niveau -5m. Une grille grossière est prévue en amont de cette dernière empêchant l'aspiration d'éventuels corps encombrants. De la prise d'eau de mer trois conduites séparées BONNA d'une longueur d'environ 65 à 75 m véhiculant l'eau de circulation aux chaînes de filtration de la station de pompage.

### **I.6.2. Dérailleur**

Une grille fixe se trouvant en amont du tambour filtrant avec un maillage plus réduit. Equipée d'un dérailleur automatique qui récupère les débris qui ont pu traverser la grille de prise d'eau de mer. Les débris ainsi récoltés sont transportés par les eaux de lavage des tambours filtrants évacués dans des rigoles en maçonneries et collectes dans des paniers à feuilles.

### **I.6.3. Filtre rotatif**

Le filtre rotatif a un maillage encore plus réduit que celle du dégraisseur d'un diamètre de 3700 MM.

L'eau arrive par les côtes latérales du filtre et doit le traverser pour pouvoir continuer son parcours vers la pompe de circulation. Pour le nettoyage des filtres à tambour et l'évacuation des débris, on a prévu quatre pompes verticales commandées par pressostats différentiels.

Les filtres sont conçus pour un débit de 150 % du débit nominal.

Si nous avons une arrivée massive d'algues :

Augmentation du delta N tambour filtrant :

- S'assurer que le tambour filtrant est en service en grande vitesse et que la pompe de lavage fonctionne au débit normal (rondier auxiliaire).

- Arrêter une pompe de circulation, sur les deux pompes en service en limitant volontairement la charge a une valeur de 120 Mw. Ceci permet d'éviter, d'une part le déclenchement des 2 pompes de circulation et d'autre part le déclenchement de la turbine par très bas vide au condenseur.
- Nota : pour marsat2, la grille rotative doit être disposée en automatique.

I.7. Système eau de circulation

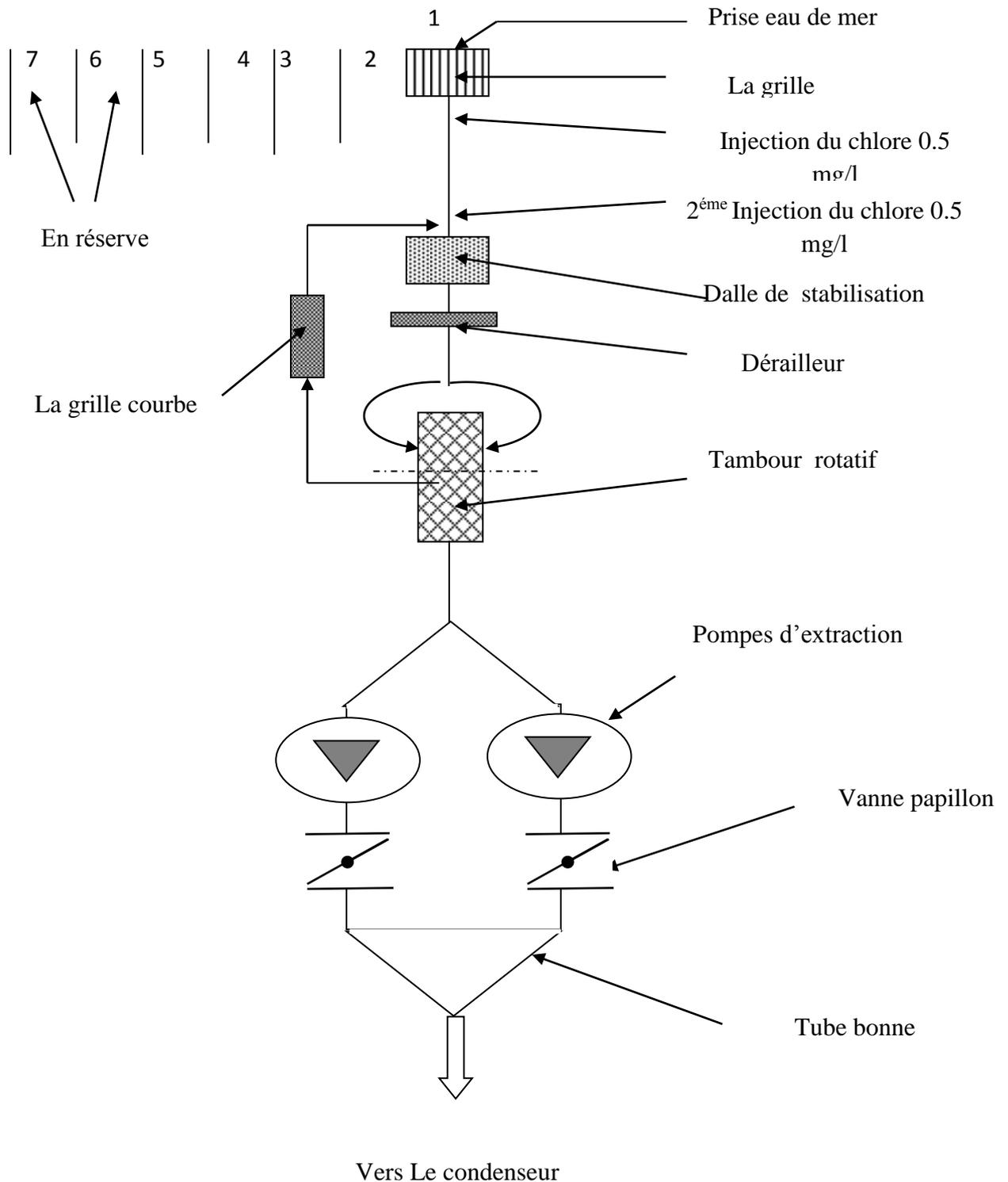


Figure 1.7 : Station de filtration

### I.7.1. Pompe de circulation

Deux (02) pompes de circulation pour chaque groupe fonctionnent en parallèle envoient l'eau de mer à deux boîtes à eau du condenseur.

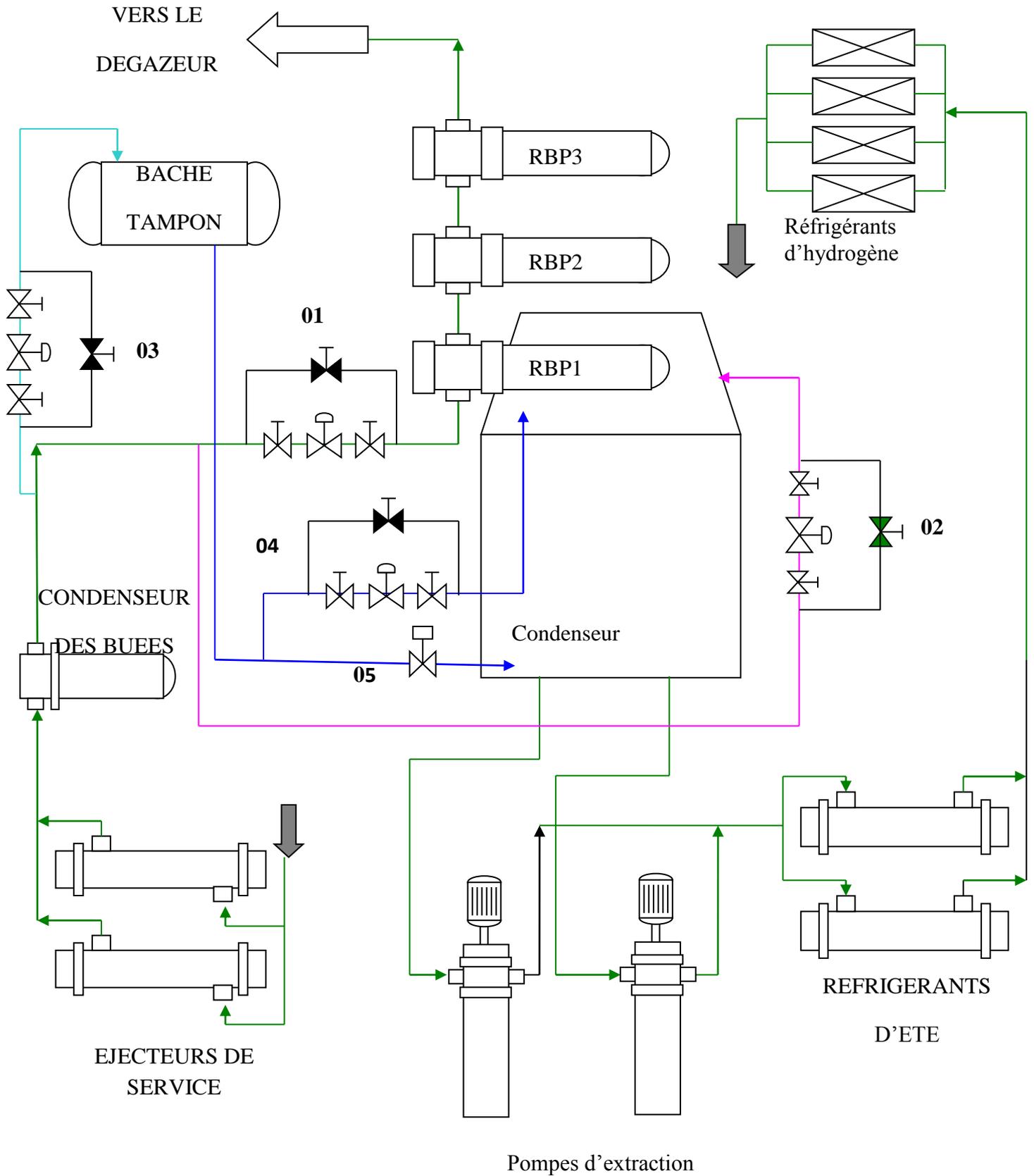
Les pompes de circulation de construction RIVA CALZONI type centrifuge, semi-axial, à axe vertical ayant une volute en ciment, elle assure la circulation de l'eau de mer au condenseur aux caractéristiques suivantes :

- ✓ Hauteur manométrique :  $h=13\text{m}$
- ✓ Débit :  $Q=3,385\text{ m}^3/\text{s}$
- ✓ Puissance :  $P=518,5\text{ kW}$
- ✓ Vitesse de rotation  $V=495\text{ tr/min}$
- ✓ Tension :  $U=6,6\text{ KV}$

### I.8. Système eau d'extraction

C'est la partie récupération de la condensation de la vapeur qui a travaillé dans la turbine est extraite par des pompes d'extraction qui envoient l'eau du cycle au dégazeur.

Cette eau doit traverser plusieurs installations.



- 01-Soupape de réglage niveau bache alimentaire.
- 02-Soupape débit nul entrée condenseur.
- 03-Soupape excédent entrée bache tampon.
- 04-Soupape appoint lent entrée condenseur.
- 05-Soupape appoint rapide entrée condenseur

Figure 1.8 : Circuit de pompes d'extraction

## I.8.1. Condenseur

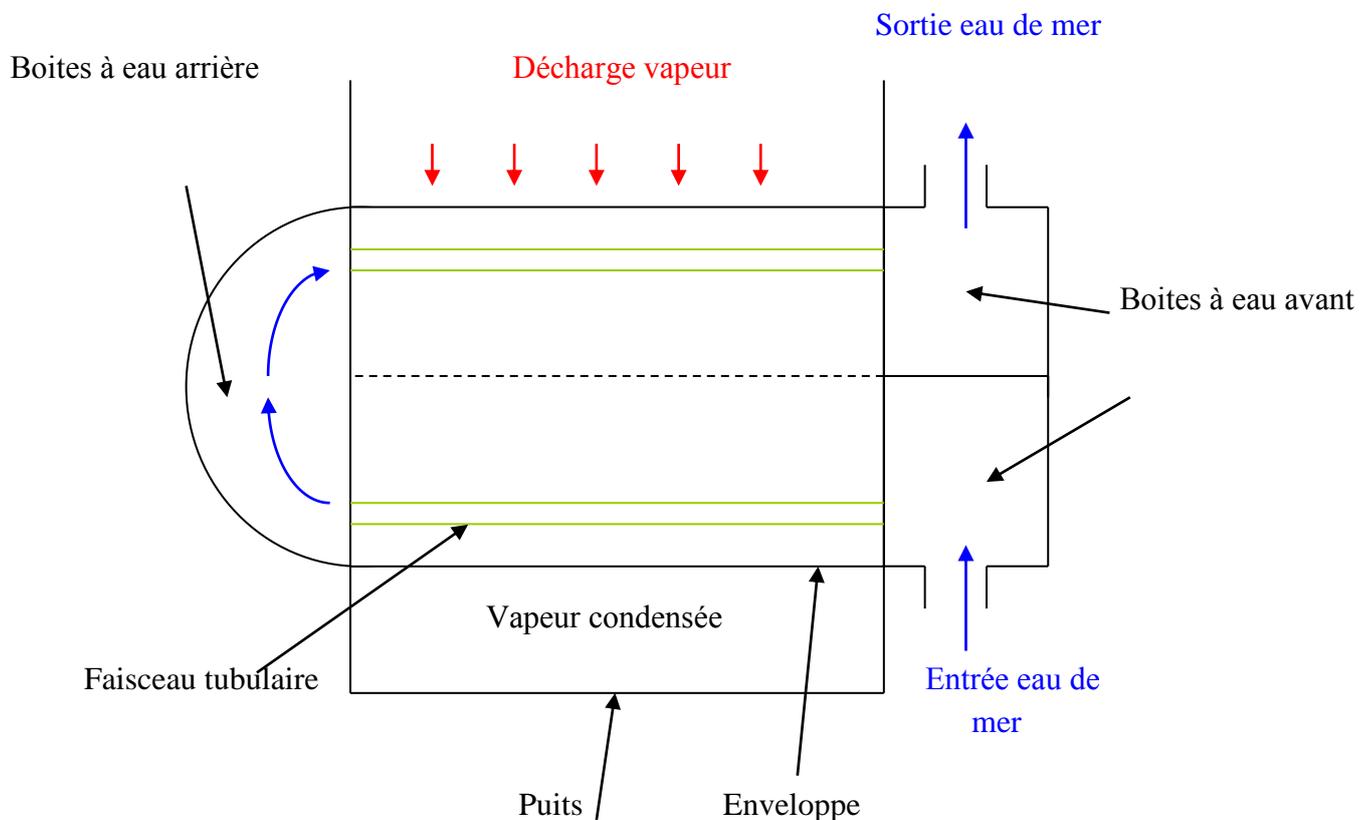


Figure 1.9 : Circuit de condenseur

Le condenseur est un échangeur à double parcours. La vapeur venant de la turbine vient se détendre à une pression de 0.048 bars d'où le contact avec les tubes au nombre de 13500 alors une surface d'échange de 9870 m<sup>2</sup> sera suffisante à faire transformer ce débit de vapeur en condensât pour permettre sa recirculation pour un nouveau travail.

Autres caractéristiques :

- |   |                            |            |
|---|----------------------------|------------|
| ✓ | Diamètre tube              | 22,8 mm.   |
| ✓ | Vapeur à condenser :       | 349,9 t/h. |
| ✓ | Débit eau de circulation : | 22110 t/h. |
| ✓ | T° Entrée eau :            | 19 °C.     |
| ✓ | T° Sortie d'eau :          | 27,5 °C.   |

- ✓ Vitesse moyenne d'eau à l'intérieur des tubes : 2,2 m/s.
- ✓ Différence de pression avec tubes propres : 4,95 bars.

### **I.8.2. Pompes d'extraction**

L'eau condenser est extraite du puits chaud du condensateur à l'aide de deux pompes une de réserve à l'autre, aux conditions de :

- ✓ Fabricant : thermomécanique.
- ✓ Type : pompe centrifuge verticale. CEXD 6/200.
- ✓ Poids spécifique du condensât : 0,995 kg/dm<sup>3</sup>.
- ✓ La pompe à un compresseur de 5 étages à une profondeur de 3400 mm.
- ✓ Débit : 433,26 t/h minimum 130 t/h.
- ✓ Pression de refoulement : 23,5 bars.
- ✓ Vitesse de rotation : 1435 tr/min.
- ✓ Puissance absorbe de : 381,2 kW.

Pour mettre en service la pompe, il faut que les conditions suivantes sont renies :

- ✓ Vanne d'aspiration ouverte avec fin de course 'ouverture' attaqué.
- ✓ Pas d'alarme 'niveau condenseur bas.
- ✓ Pas d'alarme température huile très haute.
- ✓ Ensuite actionner le ballon poussoir marche.

Cette commande provoque la commande d'ouverture de la vanne de refoulement, ensuite l'habilitation de la soupape de débit nul.

Si la vanne de refoulement ne s'ouvre pas totalement (fin de course ouverture non attaquée), la pompe d'extraction déclenche.

### **I.9. Système eau alimentaire**

Du dégazeur à l'économiseur l'eau doit parcourir les éléments suivants.

- **Dégazeur et bêche alimentaire**

Le dégazage a pour but d'éliminer l'oxygène (O<sub>2</sub>) dissous dans l'eau pour protéger les installations et la chaudière contre la corrosion.

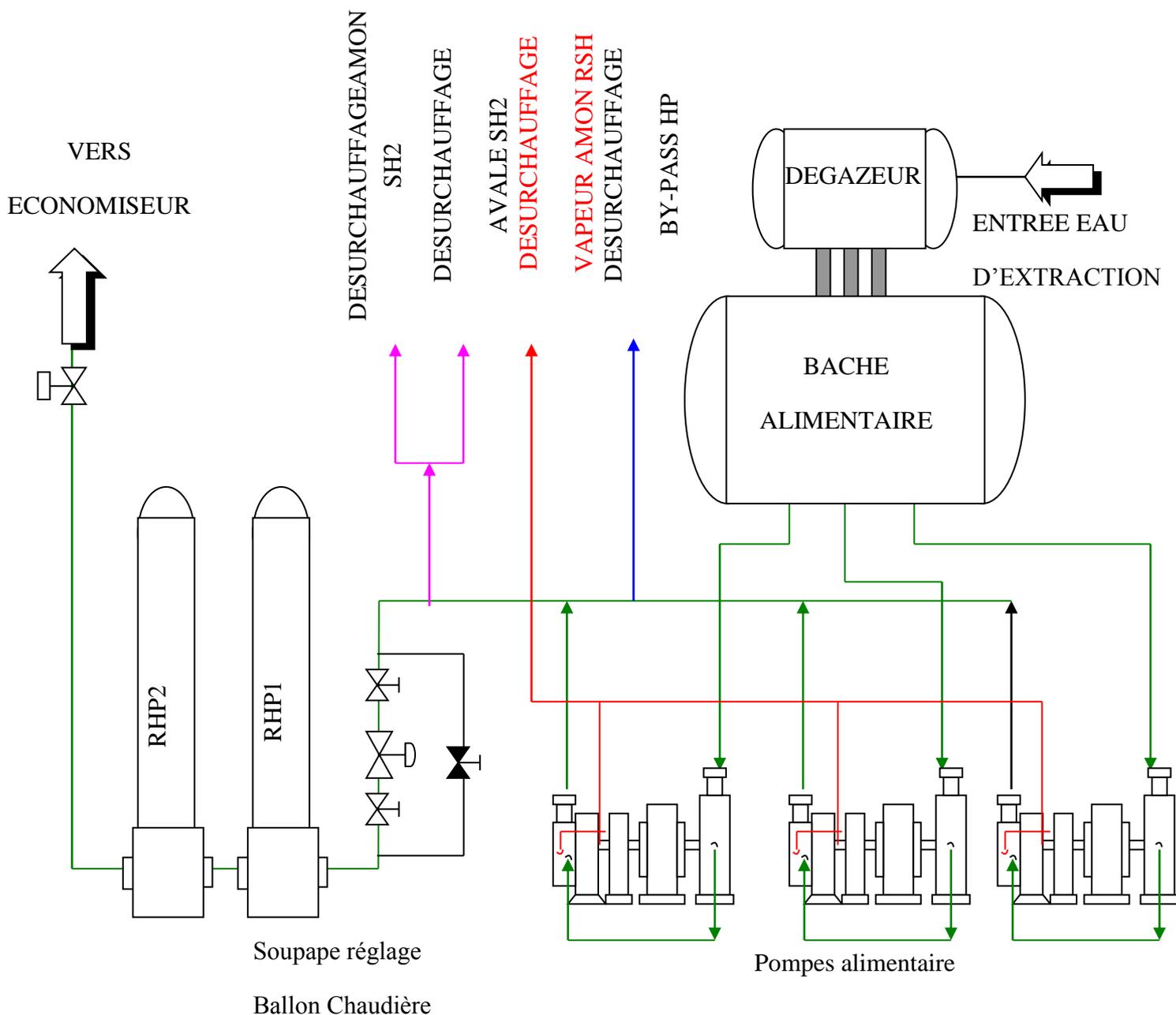
L'eau du cycle est introduite dans le dégazeur aux conditions :

$P= 12.5$  bars,  $T= 155$  °c.

Elle s'accumule dans la bache alimentaire aux conditions :

$P= 11.4$  bars,  $T= 185$  °c.

L'eau réchauffée est directement en contact avec la vapeur de soutirage N° 4 venant du corps MP de la turbine, elle est pulvérisée dans la vapeur.



**Figure 1.10 :** Circuit eau d'alimentaire

I.9.1. Pompes alimentaires

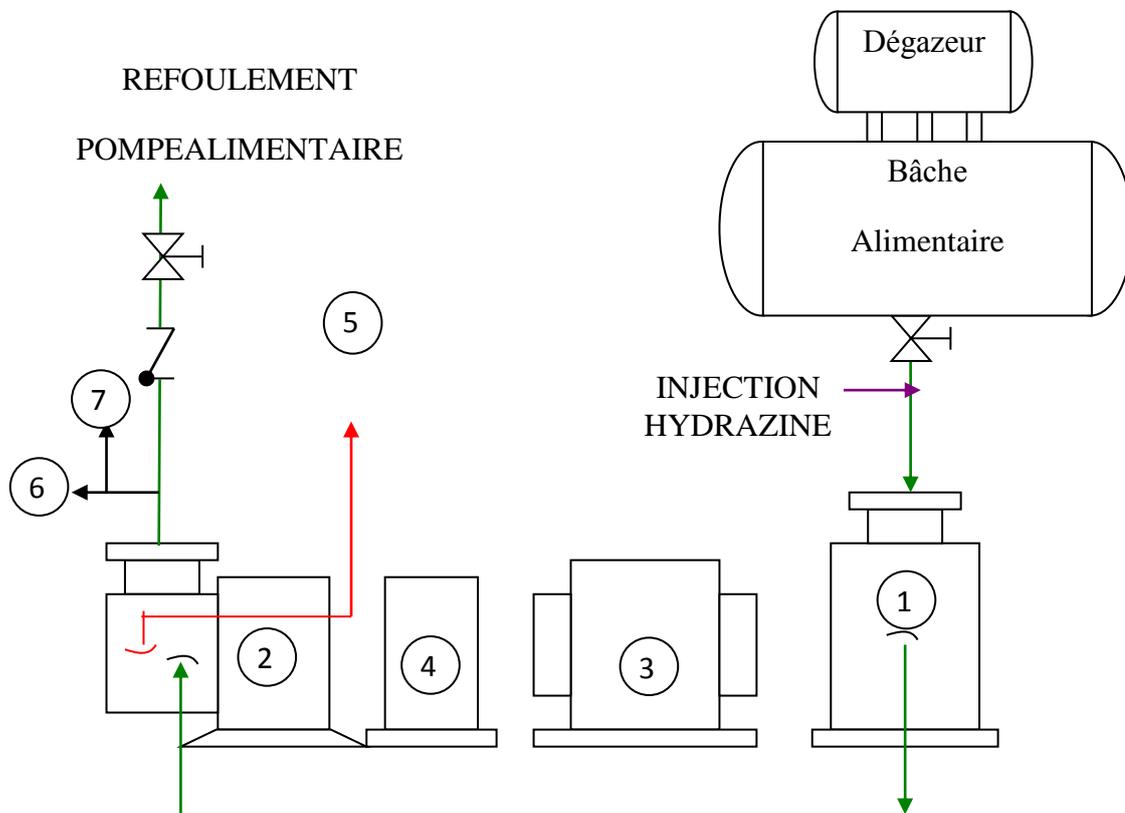


Figure 1.11 : Circuit pompes alimentaires

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pompe boosté.</li> <li>2. Pompe principale.</li> <li>3. Moteur électrique 6.6 kV CA.</li> <li>4. Coupleur multiplicateur.</li> <li>5. Désurchauffe de la vapeur à RSH.</li> <li>6. Désurchauffe du by-pass HP.</li> <li>7. Désurchauffe du SH1 et SH2.</li> </ol> |
|---|

L'eau est aspirée de la bache groupes de pompes.

Elles sont constituées de :

- Une pompe nourricière appelée pompes booster : elle fournit une pression suffisante a l'aspiration de la pompe principale et permet ainsi d'éviter le phénomène de cavitation.
- Un moteur électrique.

- Un coupleur hydraulique : Permet d'obtenir une pression variable au refoulement de la pompe alimentaire (donc un débit variable).
- Un multiplicateur de vitesse incorporé au coupleur hydraulique :

Il permet d'obtenir une vitesse élevée sur l'arbre de sortie (même vitesse que celle de la pompe alimentaire), par multiplication de la vitesse de l'arbre d'entrée.

Sur les trois pompes alimentaires, deux pompes assurent le débit nécessaire a la chaudière en maintenant a une valeur normale le niveau du ballon.

D'une pompe principale qui envoie le fluide dans la chaudière avec un débit de 520,65 t/h avec une vitesse de rotation de 5147 tr/min du type centrifuge à 5 étages.

Protections de la pompe Alimentaire :

- Déclenchement par défaut des pompes alimentaires.
- Déplacement arbre très haut.
- Température huile de lubrification très haute.
- Pression huile de lubrification très basse.
- Température palier groupe alimentaire très haute.
- $\Delta P$  Filtre aspiration pompe 'booster' très haute

I.10. Système vapeur

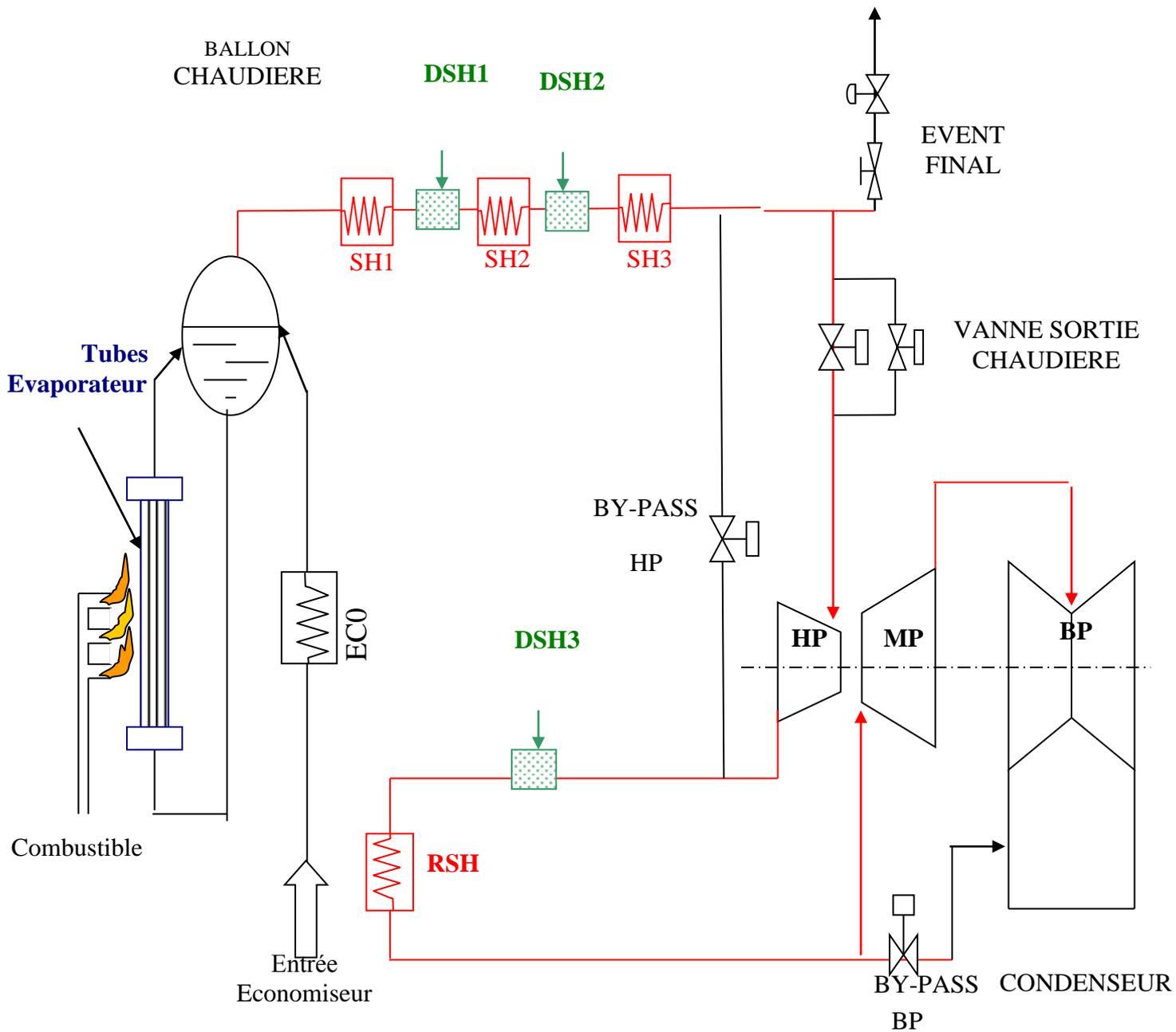


Figure 1.12 : Circuit eau vapeur

**I.11.Conclusion :**

La centrale fait plusieurs rénovations dans les tranches (1, 2, 3 et 5) en même temps ce qui résulte des problèmes de surveillance des agents de suivis. Il est mieux que cette rénovation doive être étudiée de façons adaptées au système de production existant.

Le chapitre suivant fait l'objectif d'une présentation du système électrique de la centrale et les différents convertisseurs statiques.

## II.1. Introduction

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné. On trouve un convertisseur alternatif continu dans l'alimentation d'appareils électroniques qui transforment la tension alternative sinusoïdale du réseau en tension continue.

La conversion AC/DC consiste à transformer une tension alternative, voire un système de tensions triphasé, en une tension continue utilisable par un récepteur, cette opération s'appelle couramment « redressement », pour opérer concrètement un redressement, il est le plus souvent nécessaire d'utiliser des composants passifs (diodes), on parle alors dans ce cadre précis de « redressement non commandé », comme il est possible aussi d'utiliser des composants actifs (thyristors) on parle alors dans ce cadre précis de « redressement commandé »[2]

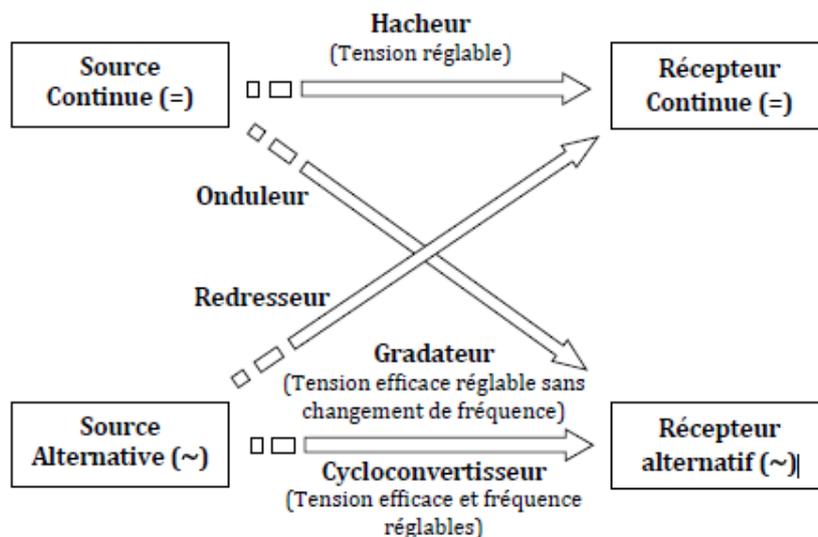
Un onduleur de secours transforme la tension continue en tension alternative, il est le plus souvent nécessaire d'utiliser différent type de l'onduleur (autonome et non autonome), et présenté le modèle onduleur triphasé et principe de fonctionnement pour alimenter par un transformateur triphasé. [5]

## II.2. Les convertisseurs statiques

Les convertisseurs statique sont les dispositifs à composants électroniques permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné, et capables de modifier la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique.[1]

On distingue quatre types de convertisseurs dont les schémas de principe sont donnés sur la figure suivante:

- Convertisseur alternatif-continu : redresseur
- Convertisseur alternatif-alternatif : c'est un gradateur lorsque seule la valeur efficace de la tension alternative est modifiée, sinon c'est un cyclo convertisseur.
- Convertisseur continu-continu : hacheur
- Convertisseur continu-alternatif : onduleur



**Figure 2.1** : Familles de convertisseurs statiques

### II.2.1. Convertisseur AC/DC :

Ce sont des convertisseurs alternatif-continu qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle, s'ils sont commandés, la valeur moyenne de la tension obtenue est alors réglable [2].

### II.2.2. Convertisseur DC/AC :

Ce sont des convertisseurs continu-alternatif, ils permettent donc de convertir une tension continue en une tension alternative. On les désigne alors d'onduleurs de tension (ou un courant DC en AC, on parle alors de mutateurs) [2].

### II.3. Transformateur :

Le transformateur est une machine électrique statique, appelé aussi convertisseur statique à induction, il comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, destiné à transformer la tension et le courant alternatifs, à une tension et courant alternatifs de même fréquence mais d'amplitudes différentes selon les besoins d'utilisation [3]



**Figure 2.2 :** Transformateur monophasé et triphasé

**II.3.1. Transformateur triphasé :**

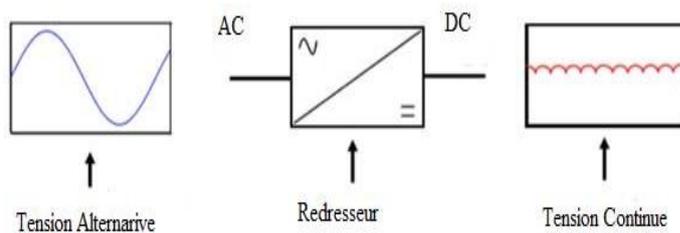
Le transformateur triphasé comporte généralement un enroulement secondaire par phase, mais dans certain cas, il peut en posséder d'avantage dans le cas d'utilisations spécifiques telles que l'alimentation d'un pont redresseur polyphasé [3].



a) Transformateur immergé    b) Transformateur à sec

**Figure 2.3 :** transformateur triphasé

**II.4. Redresseur :**



**Figure 2.4:** Schéma fonctionnel d'un redresseur.

### II.4.1. Redresseur non commandé :

Ce type de redresseur utilise uniquement des diodes, il ne permet pas de faire varier le rapport entre la tension alternative d'entrée et la tension continue de sortie (tension continue dont la valeur moyenne est fixée), de plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu [1].

Il existe plusieurs types des redresseurs non commandé parmi eux :

- Les redresseuses monophasées simples alternances.
- Les redresseurs monophasés doubles alternances toute diode.
- Les redresseurs triphasés, dont on s'intéresse à ce dernier dans ce chapitre.

#### II.4.1.1. Redresseur triphasé non commandé

Contrairement aux alimentations à faible puissance qui utilisent le plus souvent des réseaux monophasés, les alimentations de puissance utilisent généralement des réseaux triphasés. De plus, comme les transformateurs à point milieu sont des appareils coûteux et fragiles, ceux-ci ne sont utilisés que pour des alimentations monophasées de faible puissance. Ainsi peut-on conclure : en électronique de puissance, le montage le plus utilisé est le pont de Graëtz alimenté en triphasé.

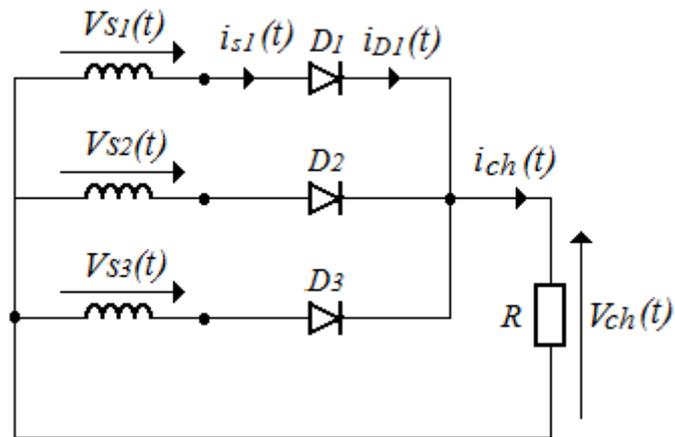
Pour classer les différents montages auxquels on a affaire, il est pratique d'utiliser la notation « P » pour désigner les montages parallèles de diodes et la notation « PD » pour les montages parallèles double (ou montage en pont de Graëtz). Cette indication, suivie du nombre «  $q$  » de phases caractérise le montage redresseur.

La figure suivante montre le schéma électrique des montages P3 et PD3. Ces deux montages sont les plus utilisés pour le redressement de tensions triphasées [1].

##### II.4.1.1.1. Redresseur triphasé parallèle simple alternance P3 (Diode)

La version triphasée du redressement précédent est très simple à envisager, puisqu'elle consiste juste à interposer une diode en série avec chaque phase d'un système triphasé [1].

Le schéma électrique correspondant est représenté sur la figure (2.5).



**Figure 2.5 :** Redresseur P3 non commandé

Les tensions  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , sont imposées telle que :

$$V_1(t) = v \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$V_2(t) = v \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.2)$$

$$V_3(t) = v \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.3)$$

Avec :  $\omega = 2\pi f$

Les différentes phases de fonctionnement du montage P3 sont alors décrites par le tableau suivant :

**Tableau 2.1** : Les différentes phases de fonctionnement du montage P3

Intervalle	Diode passante	Diodes bloquées	Tensions aux bornes de $D1$	Tension de sortie $V_{ch}$
$\pi/6 \leq \omega t \leq 5\pi/6$	$D1$	$D2$ et $D3$	$VD1 = 0$	$V_{ch} = V_{s1}$
$5\pi/6 \leq \omega t \leq 3\pi/2$	$D2$	$D1$ et $D3$	$VD1 = V_{s1} - V_{s2}$	$V_{ch} = V_{s2}$
$3\pi/2 \leq \omega t \leq 13\pi/6$	$D3$	$D1$ et $D2$	$VD1 = V_{s1} - V_{s3}$	$V_{ch} = V_{s3}$
$13\pi/6 \leq \omega t \leq 17\pi/6$	$D1$	$D2$ et $D3$	$VD1 = 0$	$V_{ch} = V_{s1}$

✓ **Tension de charge moyenne:**

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_{max} \sin(\omega t) \cdot d\omega t$$

$$V_{chmoy} = \frac{3\sqrt{3} \cdot V_{max}}{2\pi} \quad (2.4)$$

✓ **Tension efficace de la charge :**

$$V_{cheff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V_s^2(t) dt$$

$$V_{cheff}^2 = \frac{3 \cdot V_{max}^2}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \sin^2(\omega t) \cdot d\omega t$$

$$V_{cheff}^2 = V_{max}^2 \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{4\pi}{3} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)} = 0.84 V_{max} \quad (2.5)$$

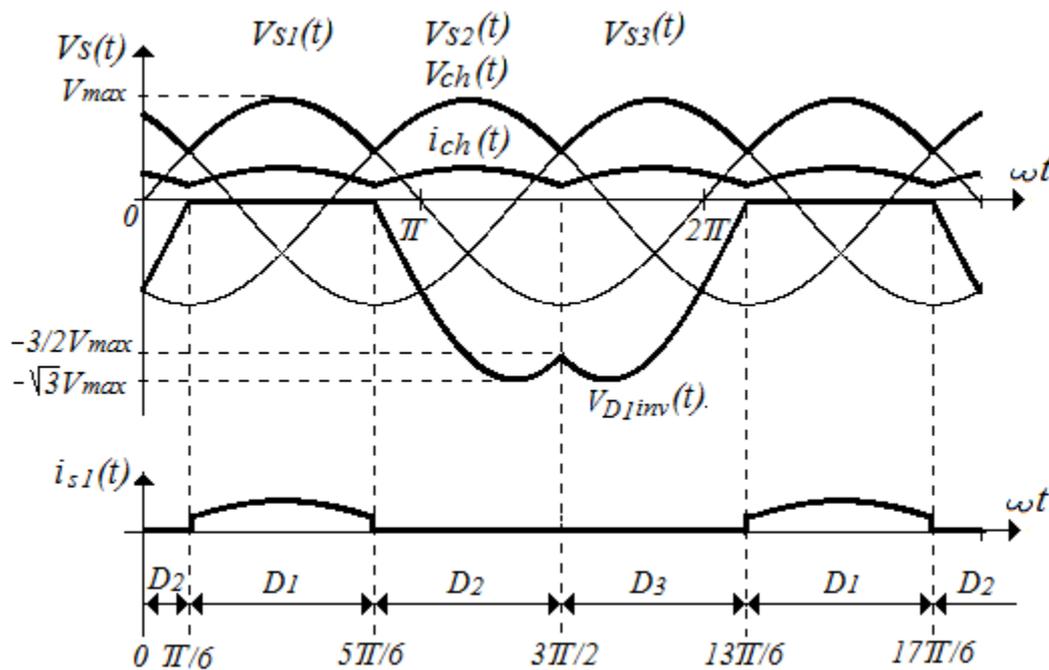


Figure 2.6 : Formes d’ondes d’un redresseur triphasé P3 (charge R)

● Redressement parallèle P3 avec une charge R-L

Dans cette partie on considère la charge est constituée d’une résistance  $R$  et d’une inductance  $L$  de forte valeur ( $L \rightarrow \infty$ ), et le courant de charge sera continu sans ondulations.

Les formes d’ondes de la tension de sortie de ce montage sont similaires aux formes d’ondes du montage P3 avec charge Résistive, sauf les courants, qui peuvent être présentés par la figure suivante [1] :

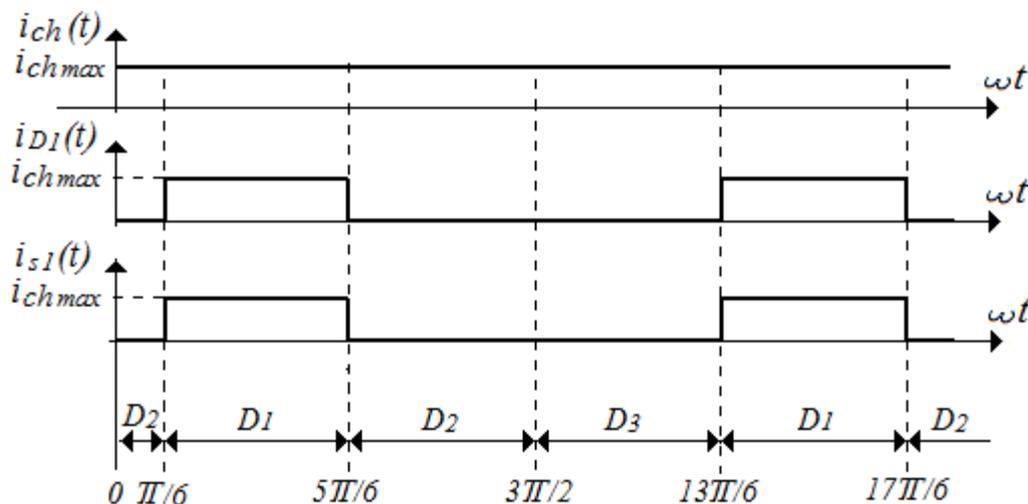


Figure 2.7 : Formes d’ondes d’un redresseur triphasé P3 (charge R-L  $\rightarrow \infty$ )

✓ Courant moyen de la charge :

$$I_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_{max} dwt \Rightarrow I_{moy} = I_{max} \quad (2.6)$$

✓ Courant efficace de la diode D1 :

$$I_{D1eff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_{max}^2 dwt} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

### II.4.1.1.2.Redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 (Diode)

Ce type de pont, également incontournable et extrêmement classique dans le redressement triphasé, est la structure la plus avantageuse, car elle présente une tension de sortie dont les ondulations naturelles sont à la fois très faible et de fréquence assez importante, ce qui est intéressant dans une option de filtrage [1]

Le schéma électrique correspondant est représenté sur la figure (2.6).

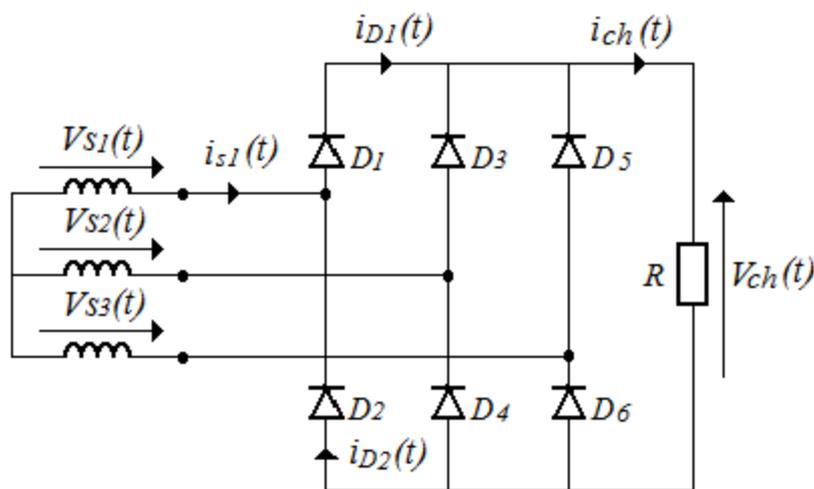


Figure 2.8 : Redresseur PD3 non commandé

Les tensions  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , sont imposées comme (2.1), (2.2), (2.3)

• **Redressement parallèle double PD3 (charge R-L)**

La charge est considérée fortement inductive  $L \rightarrow \infty$ , de sorte que le courant de charge est continu dans le temps et sans ondulations.

Le principe de fonctionnement est que parmi les diodes  $D1, D3$  et  $D5$  (à cathode commune) conduit celle qui à la tension la plus positive, et parmi les diodes  $D2, D4$  et  $D6$  conduise celle qui à la plus négative au niveau de l'anode.

La tension de charge est à chaque instant égal à la différence entre la plus positive et la plus négative des tensions alternatives [1].

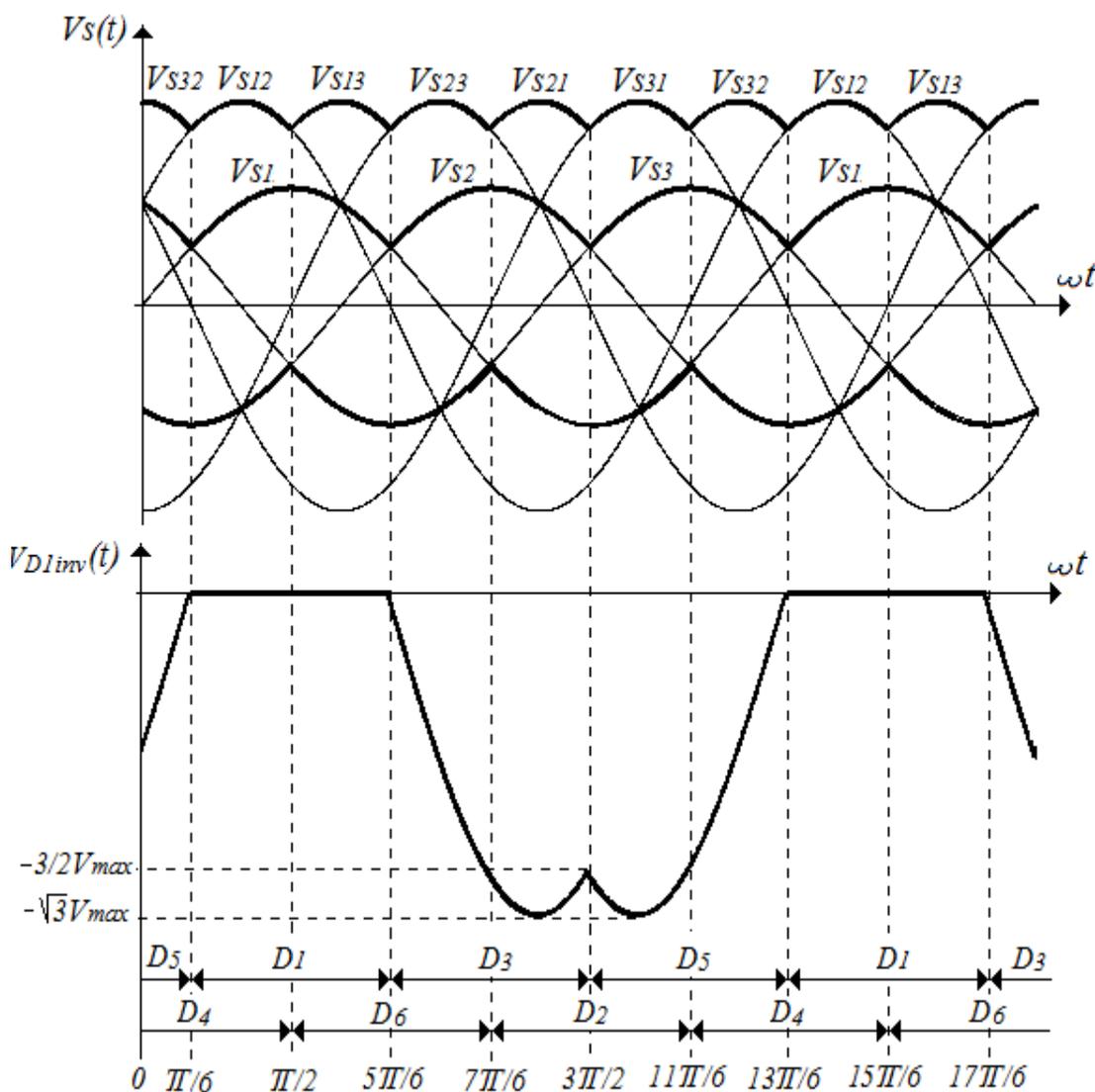
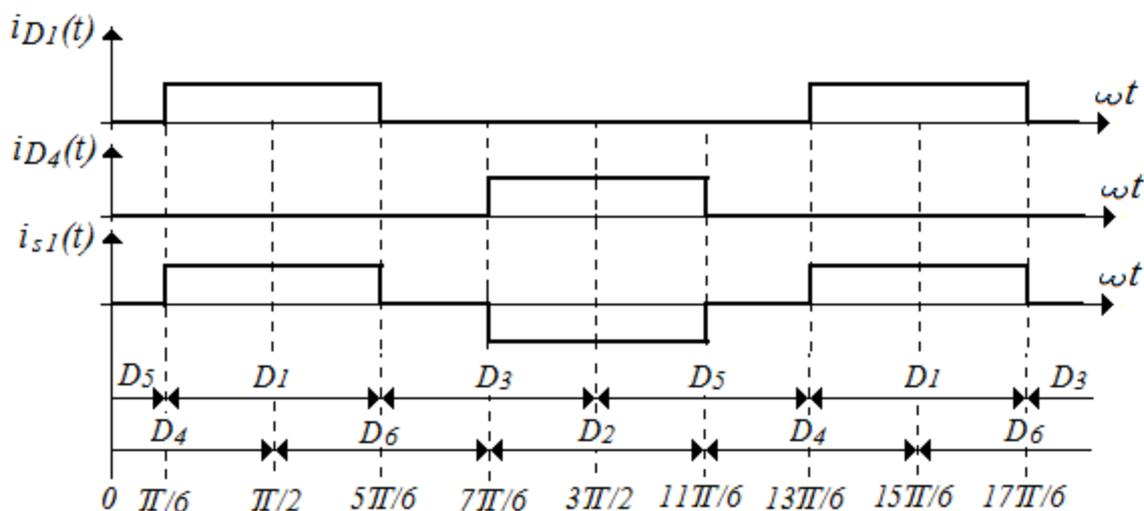


Figure 2.9 : Formes d’ondes d’un redresseur triphasé PD3 (charge R-L  $\rightarrow \infty$ )



**Figure 2.10 :** Formes d’ondes des courants pour un redresseur triphasé PD3  
(Charge R-L  $\rightarrow \infty$ )

Les différentes phases de fonctionnement du montage PD3 sont alors décrites par le tableau suivant :

**Tableau 2.2 :** Les différentes phases de fonctionnement du montage PD3

Intervalle	Tension positive	Tension négative	Tension de sortie Vch
$0 \leq \omega t \leq \pi/6$	Vs3	Vs2	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s2}$
$\pi/6 \leq \omega t \leq \pi/2$	Vs1	Vs2	$V_{ch} = V_{s1} - V_{s2}$
$\pi/2 \leq \omega t \leq 5\pi/6$	Vs1	Vs3	$V_{ch} = V_{s1} - V_{s3}$
$5\pi/6 \leq \omega t \leq 7\pi/6$	Vs2	Vs3	$V_{ch} = V_{s2} - V_{s3}$
$7\pi/6 \leq \omega t \leq 3\pi/2$	Vs2	Vs1	$V_{ch} = V_{s2} - V_{s1}$
$3\pi/2 \leq \omega t \leq 11\pi/6$	Vs3	Vs1	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s1}$
$11\pi/6 \leq \omega t \leq 2\pi$	Vs3	Vs2	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s2}$

✓ Tension de charge moyenne

▪  $\pi/6 \leq \omega t \leq \pi/2$

$$V_{chmoy} = \frac{6}{T} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{3} V_{max} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right) \cdot d\omega t = 3\sqrt{3} \frac{V_{max}}{\pi} \quad (2.8)$$

✓ Valeur efficace de la tension de charge :

$$V_{cheff} = V_{max} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{6}} \quad (2.9)$$

✓ Tension inverse aux bornes de la diode D1 :

$$V_{D1max} = -V_{max} \sqrt{3} \quad (2.10)$$

#### II.4.2. Redresseur commandé

Un montage redresseur commandé permet d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension alternative sinusoïdale. L'utilisation de composants tels que les thyristors permet de réaliser des redresseurs dont la tension moyenne de sortie peut varier en fonction de l'angle de retard à l'amorçage  $\alpha$  [1].

Même choses dans les redresseurs commandés il existe plusieurs types parmi eux :

- Les redresseurs monophasés.
- Les redresseuses monophasées simples alternances.
- Les redresseuses monophasées doubles alternances tout thyristor.
- Les redresseurs triphasés commandés dont on s'intéresse à ce dernier.

##### II.4.2.1. Redresseurs triphasés commandés

L'opération de redressement consiste à éliminer la partie négative ou positive (au choix) d'une tension alternative, le redressement simple ou mono alternance consiste juste en l'élimination de la partie non désirée de la tension par l'utilisation d'une diode en série avec chaque tension (en réalité le redressement consiste de façon absolue à rendre le courant de sortie du circuit unidirectionnel), cette opération peut être menée à partir d'une tension monophasée, ou bien d'un système diphasé ou triphasé[3].

###### II.4.2.1.1. Redresseur triphasé simple alternance P3 (Thyristor).

Le redressement commandé simple, consiste toujours en l'élimination de la partie non désirée par l'utilisation d'un thyristor en série avec chaque source de tension, l'angle de retard à l'amorçage permet dans ce contexte d'opérer une variation de la tension moyenne en sortie. Cette opération peut être menée à partir d'une tension monophasée, ou bien d'un système diphasé ou triphasé

La version commandée du redresseur P3 revient également à remplacer chaque diode par un thyristor, elle est très simple à envisager puisqu'elle consiste juste à interposer un thyristor en série avec chaque phase d'un système triphasé [1].

Le schéma électrique correspondant est représenté sur la figure (2.8).

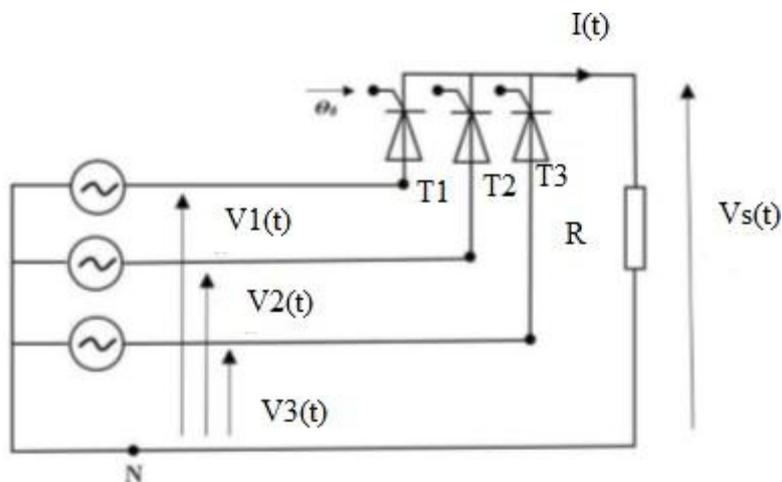


Figure 2.11: Redresseur P3 commandé

- $\Theta_0$  est l'angle de retard à l'amorçage imposé par la commande.
- Les tensions  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , sont imposées comme (2.1), (2.2), (2.3).

Montage P3 commandé avec une charge RL

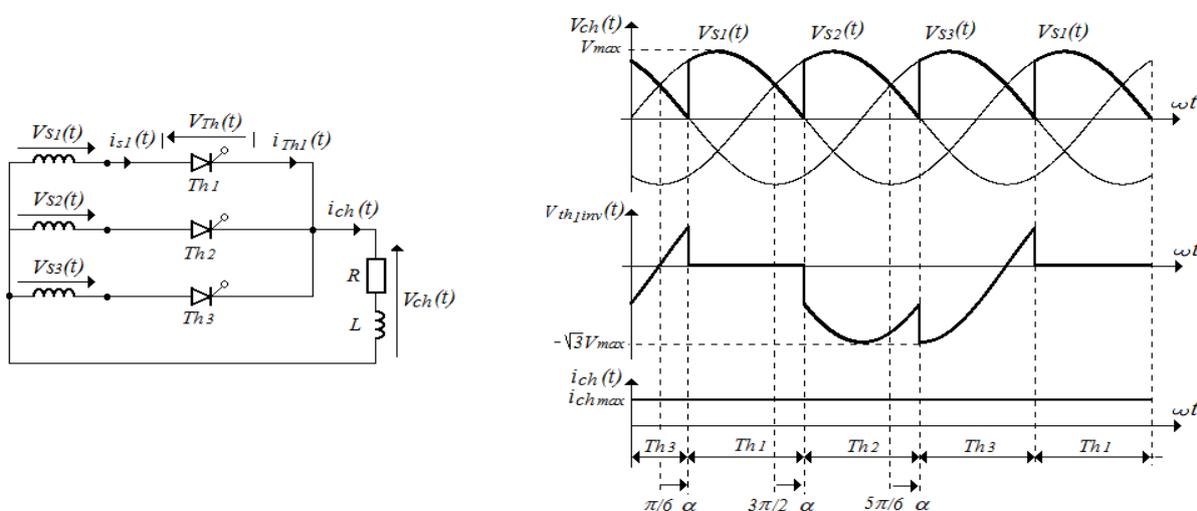


Figure 2.12 : Montage triphasé P3 commandé avec une charge R et Formes d'ondes.

Considérons le montage de la figure suivante, les intervalles de fonctionnement du montage

P3 commandé est donné par le tableau suivant :

Intervalles	Thyristors passants	Thyristors bloqués	Tensions du thyristor 1	Tension de charge
$\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq 5\pi/6+\alpha$	Th1	Th2 , Th3	$V_{Th1} = 0$	$V_{ch} = V_{s1}$
$5\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq 3\pi/2+\alpha$	Th2	Th1 , Th3	$V_{Th1} = V_{s1} - V_{s2}$	$V_{ch} = V_{s2}$
$3\pi/2+\alpha \leq \omega t \leq 13\pi/6+\alpha$	Th3	Th2 , Th1	$V_{Th1} = V_{s1} - V_{s3}$	$V_{ch} = V_{s3}$

**Tableau 2.3 :** Intervalles de fonctionnement du montage P3 commandé

- ✓ Tension de charge moyenne

$$V_{chmoy} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_{max} \cos \alpha \quad (2.11)$$

- ✓ Valeur efficace de la tension de charge :

$$V_{cheff} = \sqrt{3} V_{max} \left( \frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

- ✓ Tension inverse aux bornes du thyristor Th :

$$V_{Thmax} = -V_{max} \sqrt{3} \quad (2.13)$$

#### II.4.2.1.2. Redresseur triphasé double alternance PD3 (Thyristor)

De la même manière que dans le cas des redresseurs simples, il est possible de remplacer les diodes des structures doubles par des thyristors.

La structure (tout thyristor) du pont triphasé PD3 en pont est extrêmement classique dans le redressement triphasé [3].

Le schéma électrique correspondant est représenté sur la figure (2.13).

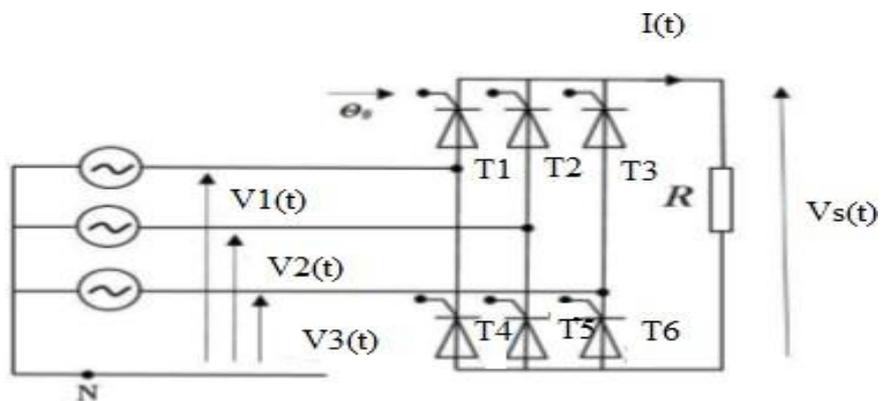


Figure 2.13 : Redresseur PD3 commandé

- $\theta_0$  est l'angle de retard à l'amorçage imposé par la commande.
- Les tensions  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$ , sont imposées comme (2.1), (2.2), (2.3).

Montage PD3 commandé avec une charge RL

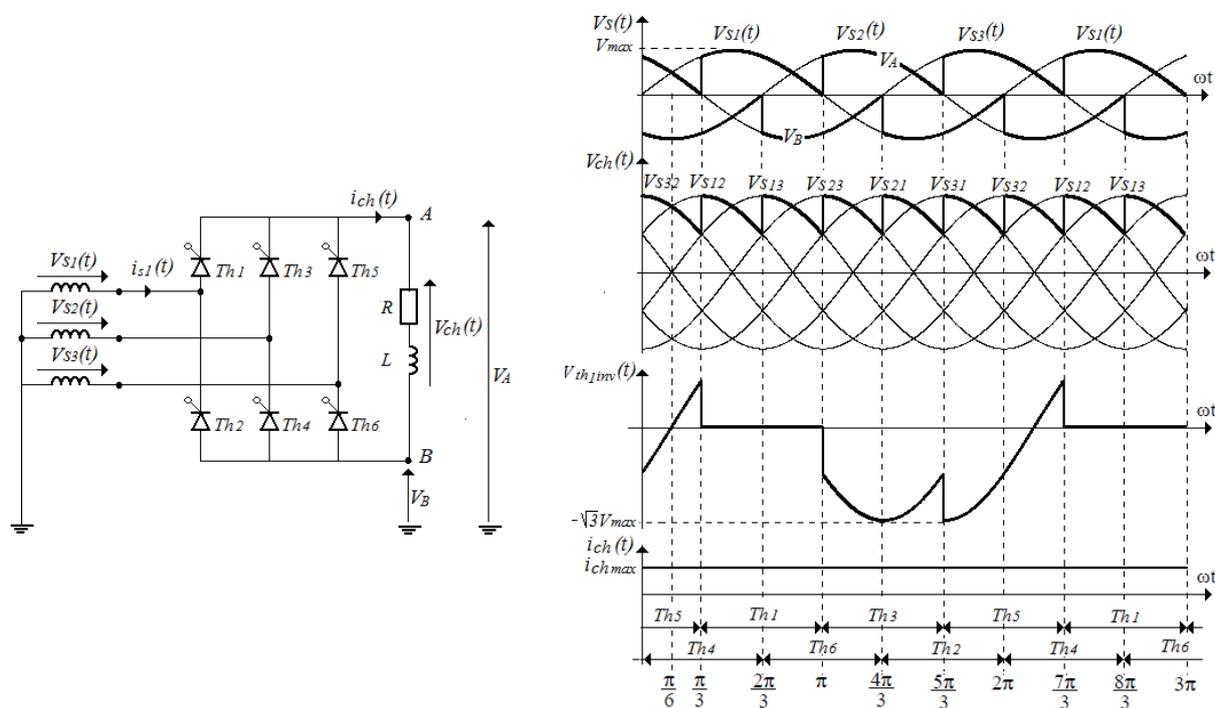


Figure 2.14 : Montage triphasé PD3 commandé avec une charge RL et Formes d'ondes

Ce montage peut être considéré comme résultant de l'association d'un montage à anodes communes et d'un montage à cathodes communes.

On gardera la même hypothèse que précédemment c'est-à-dire que la charge est fortement inductive [1].

Les intervalles de conduction des 6 thyristors sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau 2.4 :** Les intervalles de conduction des 6 thyristors sont regroupés

Intervalle	Thyristors en conduction	Tension aux bornes de Th1	Tension positive	Tension négative	Tension de sortie Vch
$0 \leq \omega t \leq \pi/6+\alpha$	Th5 - Th4	$V_{s1} - V_{s3}$	$V_{s3}$	$V_{s2}$	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s2}$
$\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq \pi/2+\alpha$	Th1 - Th4	0	$V_{s1}$	$V_{s2}$	$V_{ch} = V_{s1} - V_{s2}$
$\pi/2+\alpha \leq \omega t \leq 5\pi/6+\alpha$	Th1 - Th6	0	$V_{s1}$	$V_{s3}$	$V_{ch} = V_{s1} - V_{s3}$
$5\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq 7\pi/6+\alpha$	Th3 - Th6	$V_{s1} - V_{s2}$	$V_{s2}$	$V_{s3}$	$V_{ch} = V_{s2} - V_{s3}$
$7\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq 3\pi/2+\alpha$	Th3 - Th2	$V_{s1} - V_{s2}$	$V_{s2}$	$V_{s1}$	$V_{ch} = V_{s2} - V_{s1}$
$3\pi/2+\alpha \leq \omega t \leq 11\pi/6+\alpha$	Th5 - Th2	$V_{s1} - V_{s3}$	$V_{s3}$	$V_{s1}$	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s1}$
$11\pi/6+\alpha \leq \omega t \leq 13\pi/6+\alpha$	Th5 - Th4	$V_{s1} - V_{s3}$	$V_{s3}$	$V_{s2}$	$V_{ch} = V_{s3} - V_{s2}$

✓ Tension de charge moyenne

$$V_{chmoy} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} V_{max} \sin \omega t . d\omega t = \frac{2\sqrt{3}}{2\pi} V_{max} \cos \alpha \quad (2.14)$$

✓ Valeur efficace de la tension de charge

$$V_{cheff} = \sqrt{6} V_{max} \left( \frac{1}{4} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

✓ Tension inverse aux bornes du thyristor Th

$$V_{Thmax} = -V_{max} \sqrt{3} \quad (2.16)$$

### II.5. Domaine utilisation :

La conversion alternative / continue est utilisée dans une très large plage de puissance :

- De quelques mW (milliwatts) pour les alimentations de petits ensembles électroniques (chargeur de téléphone portable),
- A plusieurs GW (gigawatts) pour l'interconnexion de réseaux de distribution d'énergie électrique de phases différentes.

Quelques applications usuelles :

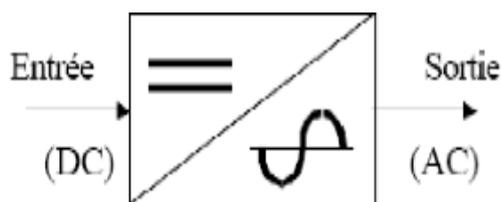
- Alimentation des structures électroniques sous tension continue de bas niveau (3,3 à 15V) à partir du réseau 50Hz en HIFI, télévision, électroménager.
- Recharge des accumulateurs d'appareils nomades (téléphone, ordinateur portable...).
- Entraînement de machines à courant continu à vitesse variable.
- Electrolyse en industrie électrochimique [3].



**Figure 2.15** : Redresseur de courant DC/découpage

## II.6. Onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continue alternatif alimenté en continue, il modifie de façon périodique la connexion entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie [5].



Convertisseur Continu (DC) - Alternatif (AC)

Figure 2.16 : schéma de principe de l'onduleur

### II.6.1. Composants généraux de l'onduleur :

Une ASI (alimentation sans interrupteur) contient toujours les éléments suivants :

- **Un chargeur de batteries** : En application de base, un convertisseur-chargeur réunit les fonctions d'onduleur, chargeur de batteries, système de transfert et d'assistance à la source. Ces fonctions peuvent être combinées et gérées de manière totalement automatique pour un confort d'utilisation et une gestion optimale de l'énergie à disposition.



Figure 2.17 : chargeur de batterie de l'onduleur

- **Une batterie** : La batterie constitue la réserve d'énergie électrique qui va permettre à l'onduleur de continuer à fonctionner pendant les coupures de courant. La durée de vie dépend essentiellement de la température ambiante [5].

## II.6.2. Types d'onduleurs

Une première classification peut être faite en distinguant : onduleurs non autonomes et onduleur autonome

Entre ces deux types d'onduleurs, il existe un type intermédiaire d'onduleurs appelé onduleur à commutation par la charge « ou encore onduleur à résonance »

### II.6.2.1. L'onduleur non autonome :

C'est le nom donné au montage redresseur tous thyristors (pont de Grattez) qui, en Commutation naturelle assistée par le réseau auquel il est raccordé, permet un Fonctionnement en onduleur (par exemple par récupération de l'énergie lors des périodes De freinage dans les entraînements à moteurs électriques).

À la base du développement des entraînements statiques à vitesse variable pour Moteurs à courant continu et alternatif, cyclo-convertisseurs, onduleurs de courant pour Machines synchrones et asynchrones, jusqu'à des puissances de plusieurs MW, ce type de Montage est progressivement supplanté, au profit de convertisseurs à IGBT ou GTO.

Le thyristor commande une grande quantité de puissance et de tension associée à une grande compacité leur a permis de trouver de nombreux champs d'applications dans l'électronique de puissance : ils servent ainsi dans les convertisseurs statiques tels que les gradateurs, les redresseurs pilotés, les onduleurs, pour la commande [5].

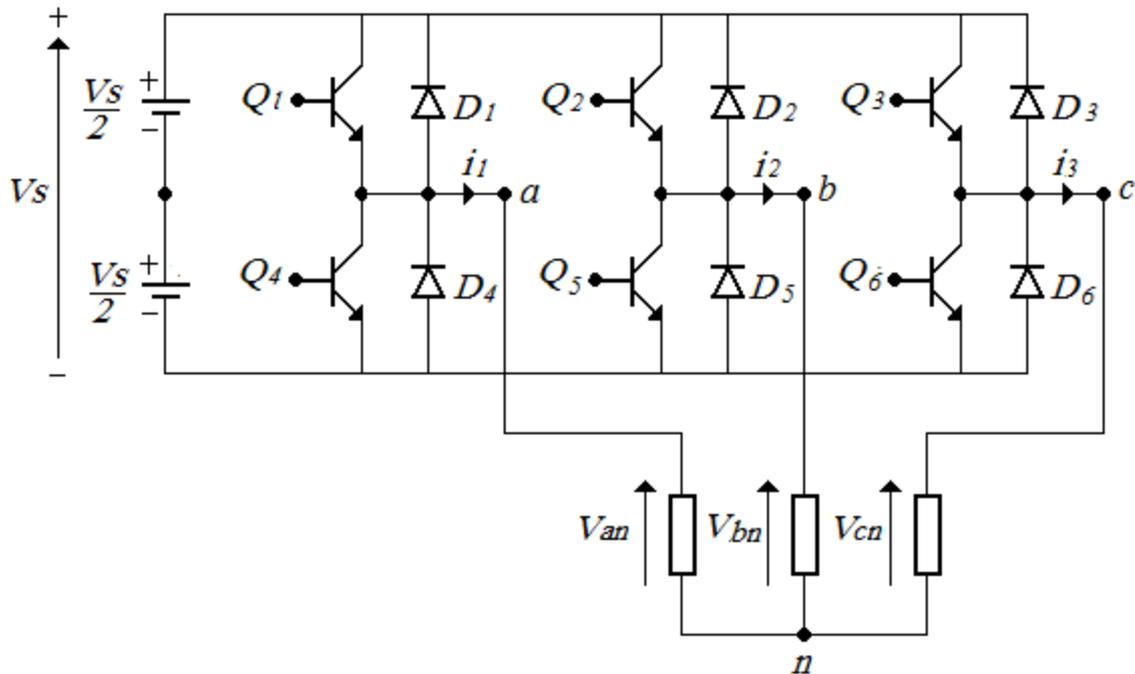
### II.6.2.2. L'onduleur autonome

Un onduleur est dit autonome s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre à lui pour la commutation des thyristors ou d'autres semi-conducteurs. Dans ce cas, nous commandons la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie. On distingue deux types d'onduleurs autonomes :

- Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.

## II.6.3. Onduleur triphasé et principe de fonctionnement

Ces onduleurs sont très utilisés dans des applications nécessitant une grande puissance. Une sortie triphasée peut être obtenue par une configuration de 6 transistors et 6 diodes comme le montre la figure ci-dessous [5] :



**Figure 2.18 :** Représentation d'un onduleur triphasé

Lorsque le transistor  $Q_1$  conduit, le terminal 'a' est connecté au terminal positif de la tension continue d'entrée et lorsque le transistor  $Q_4$  conduit, le terminal 'a' est connecté au négatif de la tension de source continue.

Il existe 6 modes de fonctionnement dans un cycle et la durée de chaque mode est de  $60^\circ$ . Les transistors sont numérotés selon la séquence des impulsions des transistors (exemple : 1 2 3, 2 3 4, 3 4 5, 4 5 6, 5 6 1, 6 1 2) et chaque transistor conduit pendant  $180^\circ$ .

Les signaux de gâchettes des transistors sont déplacés l'un par rapport à l'autre de  $60^\circ$  pour obtenir des tensions de sorties triphasées équilibrées [1].

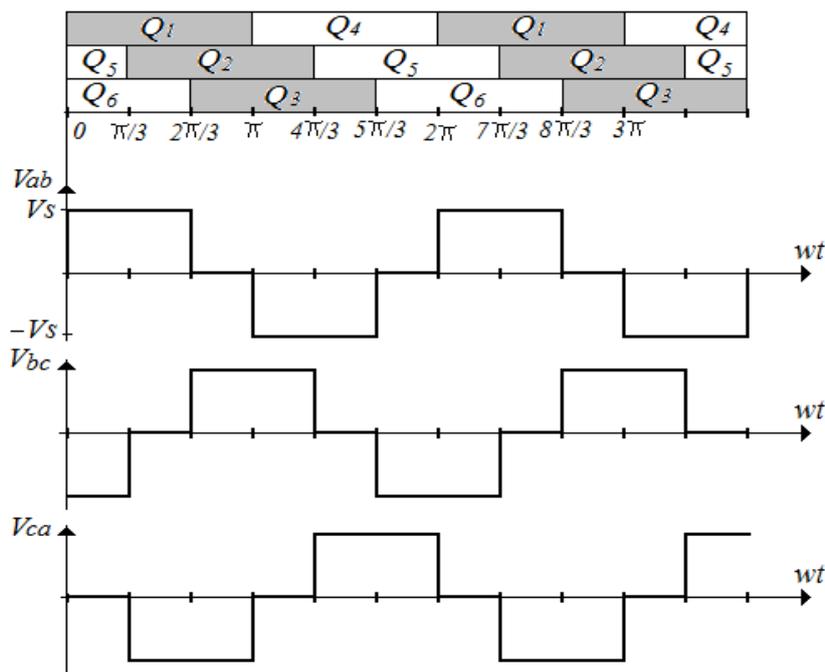


Figure 2.19 : Chronogrammes des tensions de sortie composées d'un onduleur triphasé

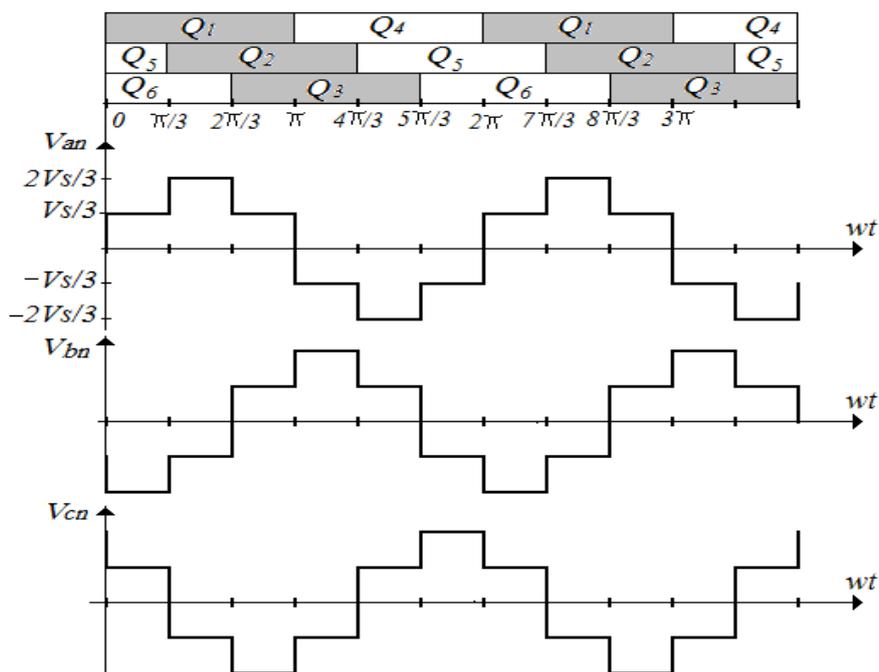


Figure 2.20: Chronogrammes des tensions de sortie simples d'un onduleur triphasé

La tension composée instantanée  $vab$  peut-être exprimée en série de Fourier, il est reconnu que  $vab$  est décalée de  $\pi/6$  et que les harmoniques paires sont nulles[1].

$$= V_{ab} \sum_n^{\infty} 1,3,5, \dots \frac{4V_S}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2.17)$$

$v_{bc}$  et  $v_{ca}$  sont décalées par rapport à  $v_{ab}$  de  $120^\circ$  et  $240^\circ$  respectivement.

$$V_{bc} = \sum_n^{\infty} 1,3,5, \dots \frac{4V_S}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.18)$$

$$V_{ca} = \sum_n^{\infty} 1,3,5, \dots \frac{4V_S}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin \left( \omega t - \frac{7\pi}{6} \right) \quad (2.19)$$

Il est à noter que les harmoniques multiple de 3 ( $n=3, 9, 15, \dots$ ) dans les tensions composées sont nulles.

✓ La tension composée efficace :

$$V_L = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} V_S^2 d\omega t \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_S \quad (2.20)$$

Pour  $n=1$

✓ La valeur efficace de la composante fondamentale est :

$$V_{L1} = \frac{4V_S \cos 30^\circ}{\sqrt{2}\pi} = 0,7797V_S \quad (2.21)$$

✓ La valeur efficace de la tension simple

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}V_S}{3} 0,4714V_S \quad (2.22)$$

## II.6.4. Constitution d'onduleur

### II.6.4.1. Partie puissance

- Onduleur avec transformateur à point milieu (PUSH-PULL)
- Onduleur avec diviseur capacitif à l'entrée (en demi-point).
- Onduleur en pont complet [5].

### II.6.4.2. Partie commande

- Commande  $180^\circ$
- Commande  $120^\circ$
- Modulation de largeur d'impulsion (MLI) [5]

## II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les redresseurs triphasés non commandés et commandés avec leurs principes de fonctionnement et nous avons aussi présenté le transformateur.

Nous avons basé dans notre étude sur le principe de fonctionnement des redresseurs et les onduleurs.

Le chapitre suivant représente les différents défauts qui peuvent être rencontrés dans les convertisseurs statiques et les techniques de détection des anomalies, puis une simulation du système sans défaut.

### III.1. Introduction

Dans la littérature, il existe deux approches principales pour le diagnostic et la détection des défauts : les approches basées sur un modèle analytique ou physique et les approches qui s'appuient uniquement sur les observations du système. L'utilisation des techniques de diagnostic avec modèles semble être une tâche ardue et coûteuse, car il existe plusieurs applications industrielles où un modèle est difficile à obtenir en raison d'une complexité accrue du processus.

Une approche qui utilise un modèle physique est basée sur la connaissance de l'ingénierie ou des considérations théoriques, par exemple le bilan énergétique, ou les équations de transport de chaleur et de masse. En revanche, une approche basée sur les données statistiques dépend des quantités d'informations fournies par l'historique du processus ou d'un modèle empirique. Par conséquent, dans ce chapitre nous passerons en revue les techniques d'apprentissage et de classification les plus importantes et les plus populaires du diagnostic sans modèle, les réseaux de neurones artificiels (RNN) et les systèmes neurone-flous (RNF).

### III.2. Modélisation du redresseur triphasé double alternance à diodes

Ce redresseur comporte trois diodes à cathode commune assurant l'aller du courant  $i_d(t)$ ,  $D'_1$ ;  $D'_2$  et  $D'_3$  et trois diodes à anode commune assurant le retour du courant  $i_d(t)$ :  $D'_4$ ;  $D'_5$  et  $D'_6$

Si l'effet de l'empiètement est négligé, la valeur instantanée de la tension redressée peut être exprimée par :

$$V_d(t) = \max(V_a(t), V_B(t), V_C(t)) - \min(V_a(t), V_B(t), V_C(t)) \quad (3.1)$$

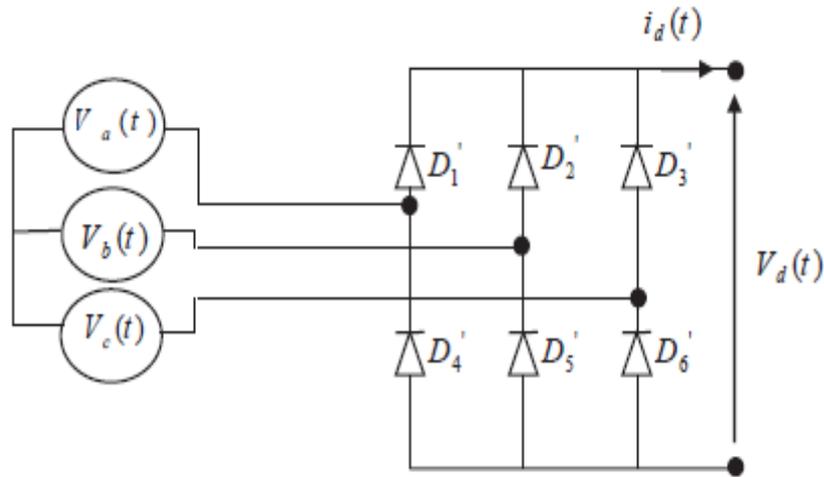


Figure (3.1) : Schéma d'un redresseur à diodes

Cette tension redressée est assez ondulée, ce qui nécessite une opération de filtrage dans l'étage continu [6][7][9].

### III.3. Modélisation du filtre de tension redressée

Afin de réduire le taux d'ondulation de cette tension redressée, on utilise un filtre passe bas ( $LC$ ), figure (III.3).

Ce filtre est caractérisé par les équations différentielles suivantes :

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L} [V(t) - E(t)] \tag{3.2}$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \frac{1}{C} [i_d(t) - i_f(t)] \tag{3.3}$$

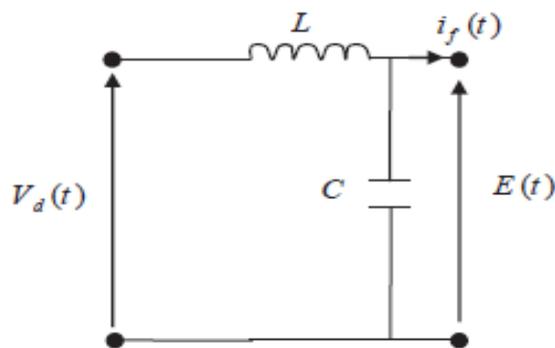


Figure (3.2) : Schéma d'un filtre passe bas

III.4. Onduleur de tension triphasée à deux niveaux

L'onduleur, qui est un dispositif d'électronique de puissance à base de MOSFET, est le cœur de l'organe de commande du MAS, il peut être considéré comme un amplificateur de puissance. Un onduleur de tension triphasé à deux niveaux est constitué de trois bras, avec deux interrupteurs pour chaque bras, chaque interrupteur est monté en parallèle inverse avec une diode de récupération. Le schéma structurel d'un tel onduleur triphasé à deux niveaux, est illustré par la figure (3.3) :

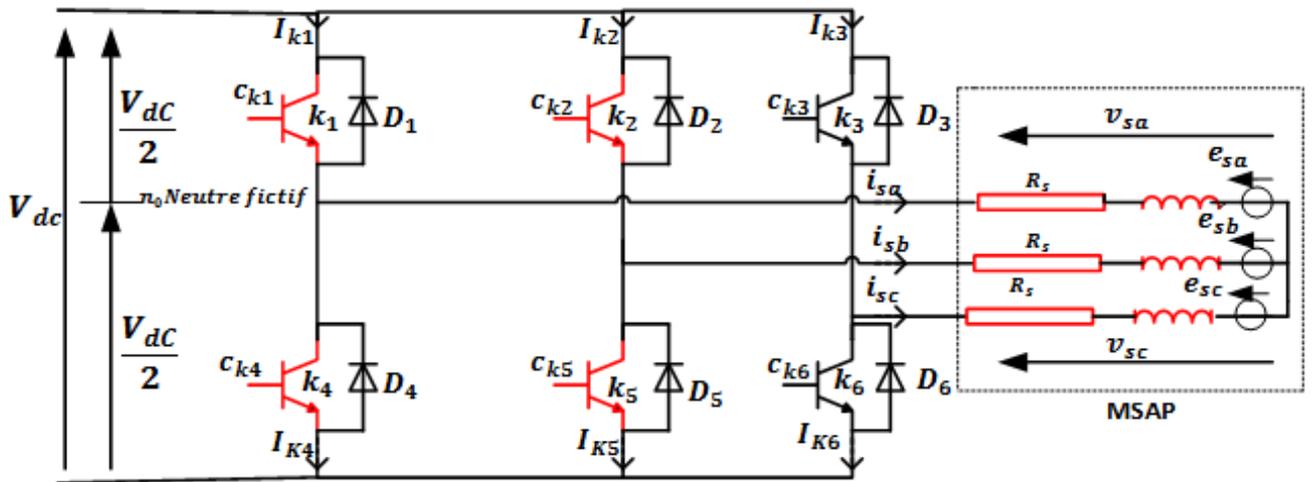


Figure (3.3) : Schéma de l'onduleur de tension triphasée à deux niveaux

On peut montrer que les tensions simples s'écrivent en fonction des tensions composées

$u_{sab}$ ,  $u_{sbc}$  et  $u_{sca}$  sous la forme suivante :

$$\begin{cases} V_{sa} = \frac{1}{3}(u_{sab} - u_{sca}) \\ V_{sb} = \frac{1}{3}(u_{sbc} - u_{sab}) \\ V_{sc} = \frac{1}{3}(u_{sca} - u_{sbc}) \end{cases} \quad (3.4)$$

Les diodes  $D_{i=1,2,6}$ , sont des diodes de protection des MOSFET assurant la roue libre ou la récupération. Les couples d'interrupteurs  $T_1$  et  $T_4$ ,  $T_2$  et  $T_5$ ,  $T_3$  et  $T_6$ , doivent être commandés de manière complémentaire pour assurer la continuité des courants.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour commander les interrupteurs d'un onduleur.

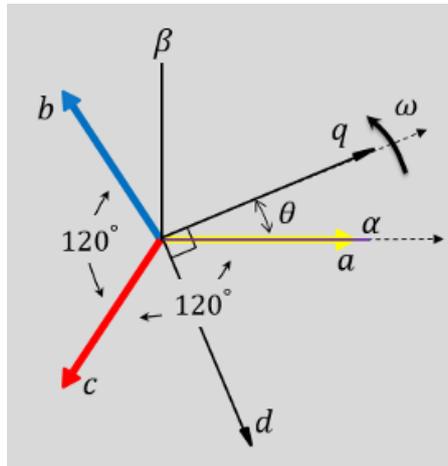
La stratégie la plus utilisée est la *Modulation de Largeur d'Impulsions* (MLI) [6] [8][16].

### III.5. Les différents techniques de détection des défauts

#### III.5.1. Transformation de Park

La transformation de PARK permet le passage du système triphasé au système biphasé en faisant correspondre aux variables réelles (a, b, c) leurs composantes homopolaire, directe et en quadrature (o, du, qv)

Le passage du système triphasé vers le système biphasé revient à exprimer les composantes «u, v» en fonction des anciens axes « $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$ » présentés dans la Figure (3.4). Les deux modèles sont identiques du point de vue électrique et magnétique [6][14][15].



**Figure (3.4) :** Représentation des deux systèmes triphasés abc et biphasé d, q.

$\theta_a$  : Représente l'angle instantané entre la phase de l'axe  $x_a$  et l'axe u.

$\omega_a = \frac{d\theta_a}{dt}$  : Vitesse angulaire de rotation du système d'axes biphasés par rapport aux systèmes d'axes triphasés.

Selon la Figure (3.4) la projection du vecteur ( $V_{sa}$ ,  $V_{sb}$ ,  $V_{sc}$ ) sur l'axe biphasé nous donne

$$\begin{cases} v_{su} = \left[ v_{sa} \cdot \cos \theta_a + v_{sb} \cdot \cos \left( \theta_a - \frac{2\pi}{3} \right) + v_{sc} \cdot \cos \left( \theta_a - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \\ v_{sv} = \left[ v_{sa} \cdot \sin \theta_a + v_{sb} \cdot \sin \left( \theta_a - \frac{2\pi}{3} \right) + v_{sc} \cdot \sin \left( \theta_a - \frac{4\pi}{3} \right) \right] \end{cases} \quad (3.5)$$

On ajoute l'expression homopolaire  $V_{so}$  à l'équation (3.5) et pour équilibrer la transformation.

$$v_{so} = \frac{1}{3}(v_{sa} + v_{sb} + v_{sc}) \quad (3.6)$$

Pour les systèmes triphasés équilibrés, cette composante est nulle. D'après les équations (3.5), (3.6) et (3.7) on trouve :

$$\begin{bmatrix} V_{su} \\ V_{sv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_a) & \cos\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_a) & -\sin\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Le passage du système triphasé au système biphasé s'obtient à partir de la matrice  $p(\theta_a)$

$$[p(\theta_a)] = \begin{bmatrix} \cos(\theta_a) & \cos\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_a) & -\sin\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} (I - 13) \quad (3.8)$$

La matrice inverse de la transformation de PARK normalisée a pour expression

$$p(\theta_a)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_a) & -\sin(\theta_a) & 1 \\ \cos\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_a - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_a - \frac{4\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} (I - 14) \quad (3.9)$$

- Cette transformation est valable pour les courants, les tensions et les flux.
- Le système « **u.v.** » tourne à la vitesse  $(\omega_a - \omega_r)$  par rapport au rotor

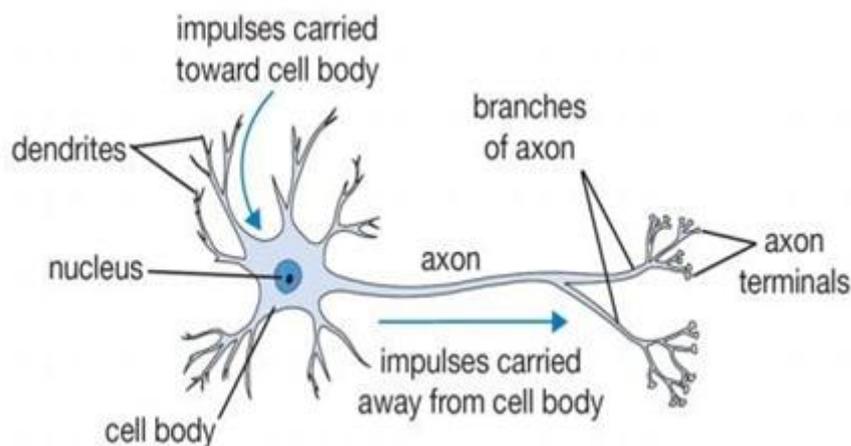
### III.5.2. Les réseaux de neurones artificiels (RNAs)

Les RNAs sont des techniques d'apprentissage basées sur un certain nombre de neurones interconnectés, ce qui veut dire que la sortie d'un neurone peut être l'entrée d'un autre, les poids  $w$  sont obtenus par une procédure d'apprentissage qui peut s'effectuer de trois manières: supervisé, non supervisé, ou semi-supervisé, ainsi la capacité de généralisation du réseau est testée une fois que l'étape de l'apprentissage est achevée.

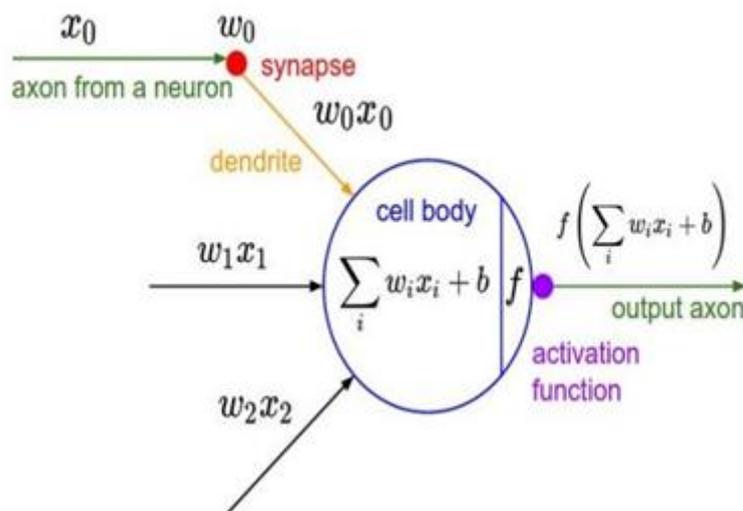
En règle générale, les RNAs se présentent sous cette forme - avec trois composants- : une couche d'entrée, une couche cachée et une couche de sortie. Les unités de la couche cachée sont appelées ainsi car leurs valeurs ne sont pas observées [8].

L'équivalence entre un neurone biologique et un neurone artificiel est représentée dans la figure (3.6) qui suit (à noter que cela reste une approximation de la cellule neuronale, le but des RNAs n'étant pas de décrire le fonctionnement du cerveau).

Dans ce modèle, un neurone reçoit l'échantillon d'information d'entrée  $x$ , avec  $x_i$  indiquant le  $i$ ème élément du vecteur  $x$ , les neurones sont connectés par l'intermédiaire de leurs axones, les synapses contiennent les poids  $w_i$  à appliquer aux entrées. Puis, grâce aux dendrites, les contributions des différentes entrées sont transmises au corps cellulaire où la somme pondérée des entrées est calculée (en plus de la valeur du biais  $b$  qui est ajoutée), enfin la fonction d'activation  $f$  est appliquée à la somme afin d'avoir le résultat.[7]



**Figure 3.5 :** Représentation biologique d'un neurone



**Figure 3.6 :** Modèle mathématique d'un neurone

L'objectif des RNAs est d'implémenter des algorithmes qui tentent d'atteindre une performance neurologique, comme l'apprentissage et la généralisation à partir de situations déjà rencontrées. Dans un problème de diagnostic, ils sont employés soit comme :

- Un modèle du système à surveiller qui génère un résidu d'erreur entre les observations et les prédictions.
- Classificateur.
- Évaluateur de résidus.

La capacité des RNAs à modéliser des problèmes complexes non linéaires avec un haut degré de précision les ont rendus applicables aux problèmes de FDI. Cependant, leur aspect boîte noire rend difficile l'interprétation du modèle. De plus, ils sont sujets au sur-apprentissage et nécessitent des bases de données diversifiées pour éviter ce problème.

Leur implémentation dans de grands systèmes reste discutable, il est préférable de les utiliser comme aide pour d'autres techniques dans la génération des erreurs [7][13].

### III.5.3. Systèmes neurone-flous (Réseaux de neurones flous)

Nous commençons par introduire des concepts précurseurs qui sont nécessaires à la compréhension des systèmes neurone-flous.

#### III.5.3.1. La logique floue

Les problèmes de la vie réelle ont souvent tendance à ne pas être de nature discrète mais continue. Parfois, définir une catégorie bien précise pour un objet est impossible. Pour résoudre ce problème, en 1965 Lofti Zadeh a introduit la théorie des ensembles flous, où l'appartenance à un élément n'est plus un état binaire mais une valeur continue. Par exemple, au lieu de dire que  $a$  est un élément de l'ensemble  $A$  et non un élément de  $B$ , on peut dire que  $a$  est un élément d'un ensemble flou par 0,66 degré de vérité (ou d'appartenance) et est un élément de  $B$  par 0,31 degré de vérité [7] [12].

En somme la logique floue utilise des ensembles flous pour représenter des valeurs de vérité et par conséquent elle fournit un moyen efficace de modélisation de la connaissance humaine dans un langage mathématique en utilisant des règles qualitatives qui suivent cette forme :

**Si <prémisse> alors <conséquence>.**

Un modèle neuro-flou vient de la combinaison de la logique floue avec des réseaux de neurones pour donner un système de données et d'inférences afin de décrire un objet ou un

processus. Il existe différentes méthodes de combinaison des réseaux des neurones et de la logique floue on trouve :

- L'utilisation des techniques d'apprentissages supervisés ou non supervisés pour construire un modèle flou à base de règles maquette.
- L'exploitation des techniques d'apprentissage pour partitionner l'espace d'entrée.

Dans le contexte du diagnostic (FDI), la logique floue a été appliquée principalement aux tâches suivantes :

- La détection de défauts : Les procédés industriels sont caractérisés par des variables continues (symptômes) ces dernières sont sujettes aux erreurs de mesure et au bruit. Par conséquent, des mesures fiables sont difficiles à définir. La logique floue fournit une bonne solution à ce problème, en représentant le signal avec des variables linguistiques.
- Le diagnostic des défauts : Le diagnostic des défauts dans les processus dynamiques est toujours approximatif, car les valeurs du signal mesurées ne sont connues qu'avec un certain degré de précision donc un système basé sur une inférence floue avec des règles SI-ALORS peut fournir une solution à ce problème [7].

#### III.5.3.2. Architecture d'ANFIS (Adaptive Neurone-Fuzzy Inference System)

L'un des premiers systèmes Neuro-Fuzzy a été introduit par Jang en 1993, cette architecture utilise le système d'inférence Takagi-Sugeno-Kang.

La figure (3.7) montre l'architecture ANFIS qui est composée de six couches où  $x$  et  $y$  désignent les variables d'entrée et  $z$  désigne la variable de sortie. Chaque couche correspond à la réalisation d'une étape d'un système d'inférence floue de type Takagi Sugeno. La première couche contient deux nœuds avec pour entrée  $x$  et  $y$ , la deuxième couche lie les valeurs d'entrée aux fonctions d'appartenance. Les nœuds de la troisième couche correspondent aux règles floues, leurs valeurs de sortie sont appelées les poids normalisés tandis que les sorties de la quatrième couche déterminent les paramètres de la partie conséquence des règles. La défuzzification se produit dans la cinquième couche et les nœuds de sortie de cette couche sont additionnés lors du passage à la sixième couche [7].

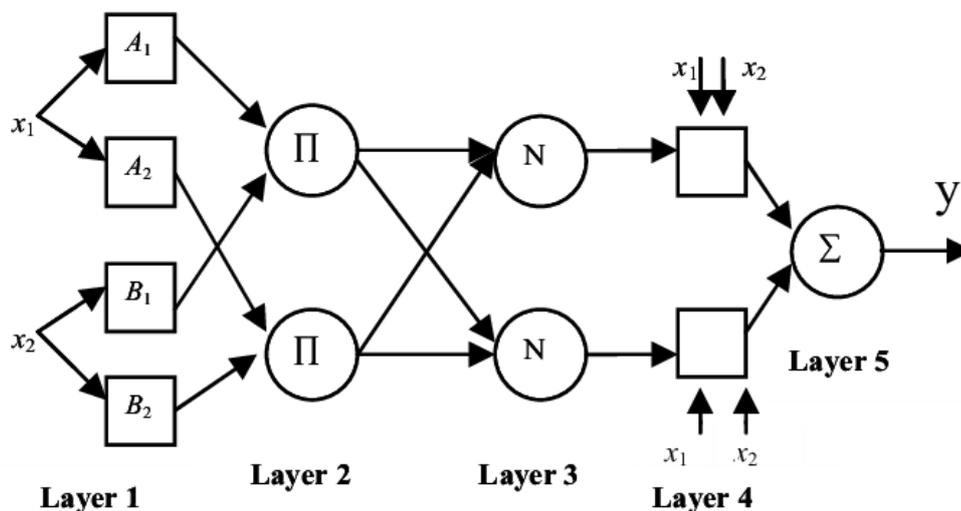


Figure 3.7 : L'architecture ANFIS

L'apprentissage itératif de l'ANFIS est composé de deux étapes. Dans la première étape, les paramètres des fonctions liées à la cinquième couche sont réglés par la méthode des moindres carrés.

Au cours de la deuxième étape les paramètres des fonctions de prémisse (située dans la deuxième couche) sont ajustés par une rétro propagation. Ces deux étapes sont répétées itérativement afin de former le système [8] [11].

### III.6. Simulation de l'onduleur et le redresseur

Nous avons fait la simulation de la commande en plein onde ou la commande sur notre onduleur et redresseur dans l'environnement de Matlab/Simulink, et dont sa charge est inductive RL couplé en étoile et permettant de mesurer la tension simple, avec une fréquence imposée de 50Hz, et un bus DC de 220V. Les résultats de simulation sont représentés par les figures ci-dessous.

III.6.1. Schéma de la simulation

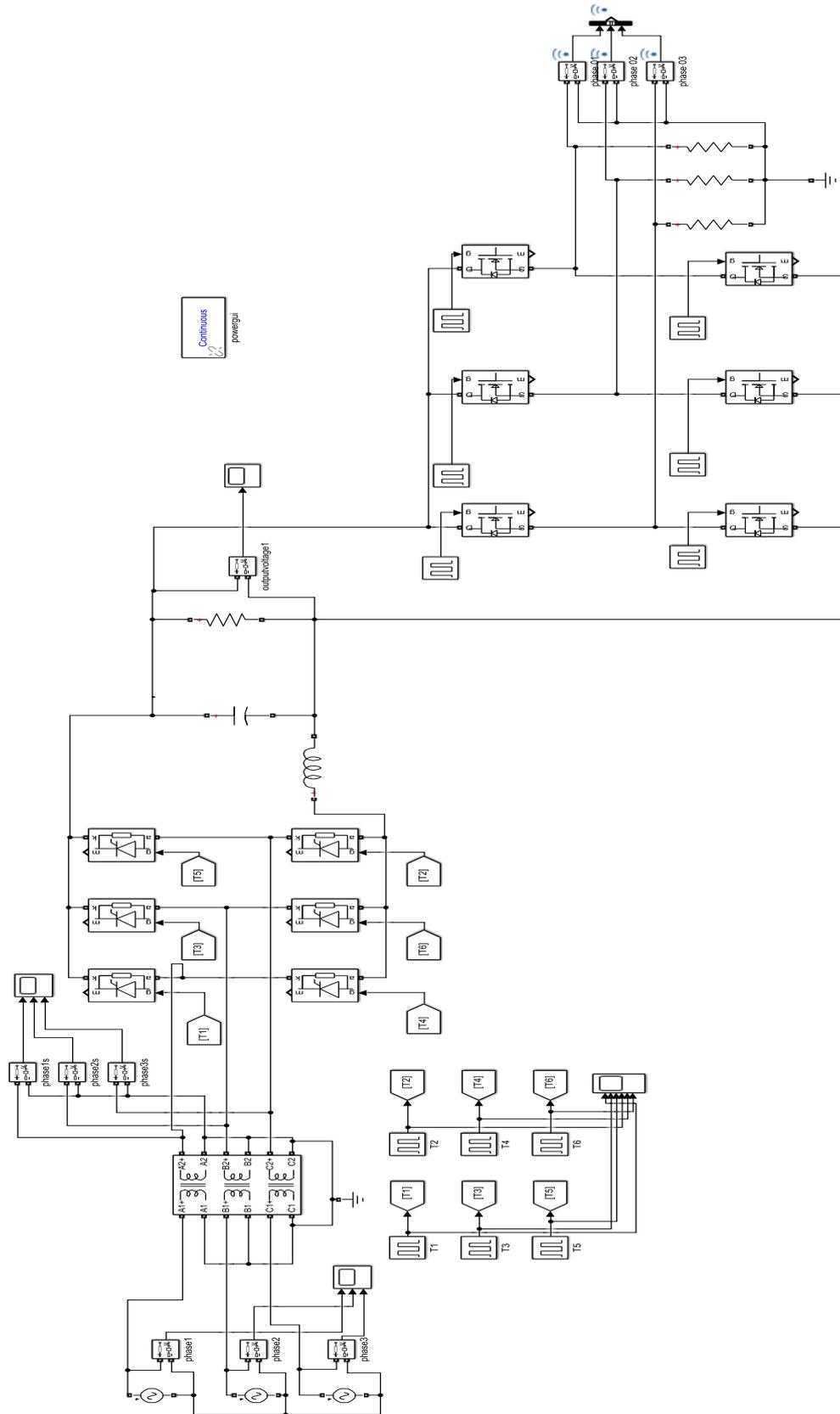


Figure 3.8 : Schéma bloque de la simulation globale.

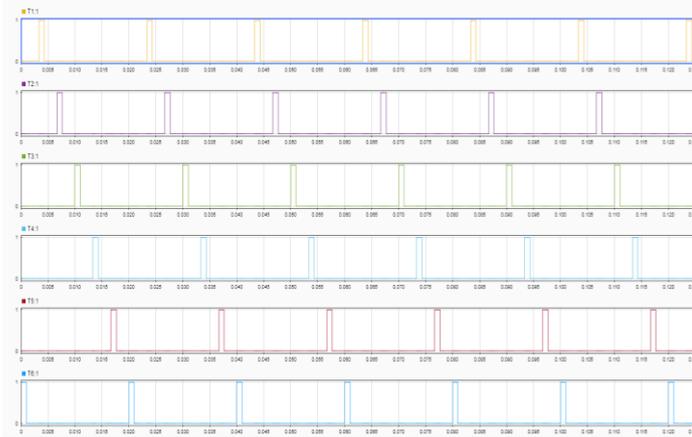


Figure 3.9 : Les états de la commande du redresseur

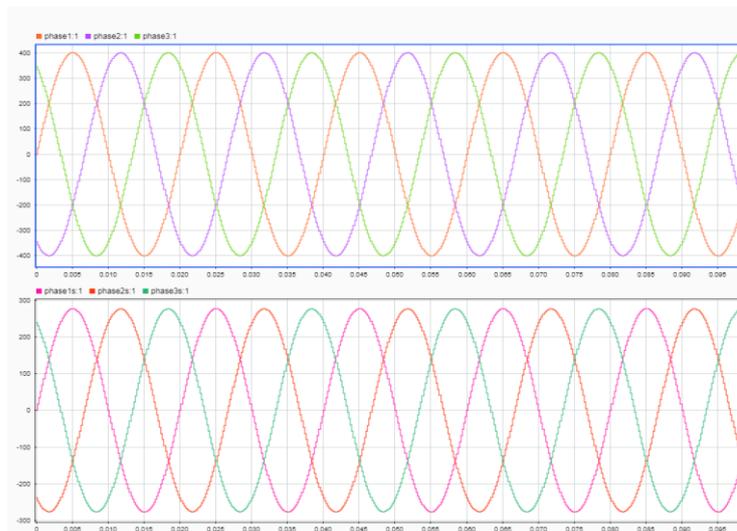


Figure 3.10 : Tensions simples à l'entrée et à la sortie du transformateur

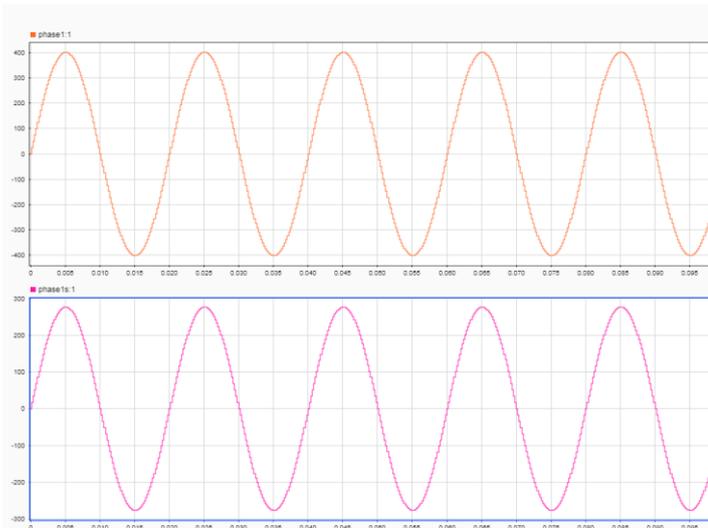


Figure 3.11 : Tension simple  $V_a(t)$  à l'entrée et à la sortie du transformateur

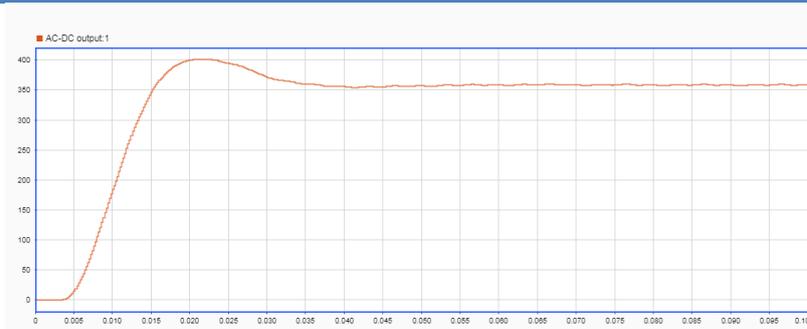


Figure 3.12 : Tension de sortie du redresseur

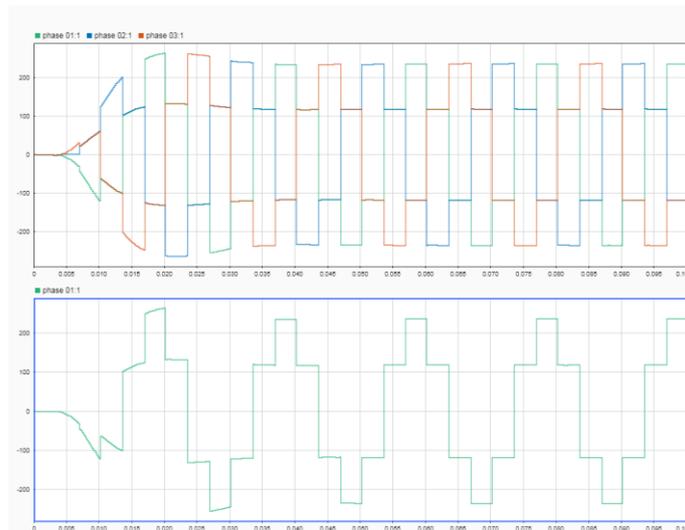


Figure 3.13: Tensions simples délivrées par l'onduleur

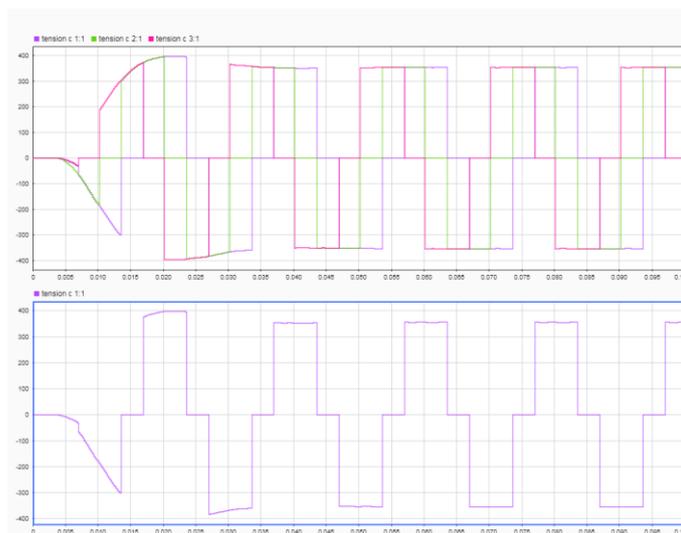
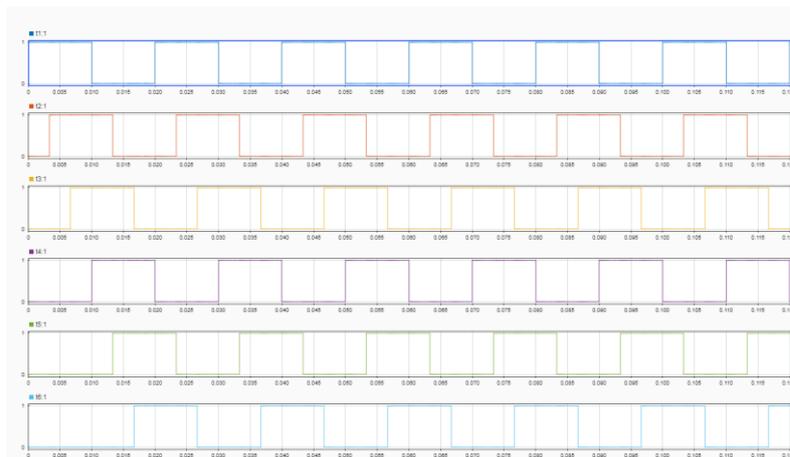


Figure 3.14 : Tension composée délivrées par l'onduleur



**Figure 3.15 :** Les états de commande de l'onduleur

### III.6.3. Interprétation des résultats

Les figures 3.9 et 3.10, montrent les tensions simples à l'entrée et à la sortie du transformateur, la tension redressée est représentée par la figure 3.11 avec une tension continue est constante de valeur de 355 Volts,

Les figures 3.12 et 3.13 représentent respectivement la tension simple  $V_a$  alternée entre  $2V_{dc}/3$ ,  $V_{dc}/3$  d'une part, et  $-V_{dc}/3$ ,  $-2V_{dc}/3$ , tandis que la tension composée  $V_{ab}$  alternée entre  $+V_{dc}$  et  $-V_{dc}$ .

Les figures 3.14 et 3.15 montrent les états de commutation des interrupteurs pour la commande des deux convertisseurs statiques redresseurs et onduleur.

### III.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques de détection ou de diagnostic des défauts dans les différents convertisseurs statique de type commandés, parmi ces techniques la transformation de Park, les réseaux de neurones artificiels (RNAs), systèmes neurone-flous (Réseaux de neurones flous), la logique floue et l'architecture d'ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Puis l'étude est suivie par une simulation de l'ensemble transformateur de couplage avec le réseau, redresseur commandé et un onduleur qui délivre une tension alternative à notre système.

Le chapitre suivant fait l'objet de notre étude de simulation et de diagnostic des défauts d'ouverture ou de court-circuit des interrupteurs dans le coté puissance par la méthode de Park.

### IV.1. Introduction :

L'intérêt grandissant des industriels pour la maintenance des entraînements électriques justifie l'accent mis pour la recherche sur le diagnostic des associations convertisseurs-machines.

Actuellement, un grand nombre des recherches est orienté vers la surveillance de l'état du convertisseur. En effet, un convertisseur tel que l'onduleur et redresseur MLI est susceptible de présenter des défauts structurels tels que les défauts d'ouverture et de court-circuit des interrupteurs (semi-conducteurs) et par conséquent, ce type de dysfonctionnement peut induire des endommagements pour le système entier de production si le personnel n'est pas averti et qu'un arrêt intempestif ne soit produit. Puisque, l'appareillage de protection n'intervient qu'au dernier stade de défaut, il est donc évident, que l'investissement dans le domaine de la détection des dysfonctionnements paraît une solution incontournable.

Dans ce chapitre, nous présenterons l'ensemble redresseur et onduleur de tension contrôlés par la technique de la commande à modulation à largeur d'impulsion (MLI) et l'application d'une approche dédiée à la détection et au diagnostic des défauts dans les deux convertisseurs, cette approche est basée sur l'analyse du contour de Park de la tension au niveau de la charge.[6]

### IV.2. Défauts interne du convertisseur :

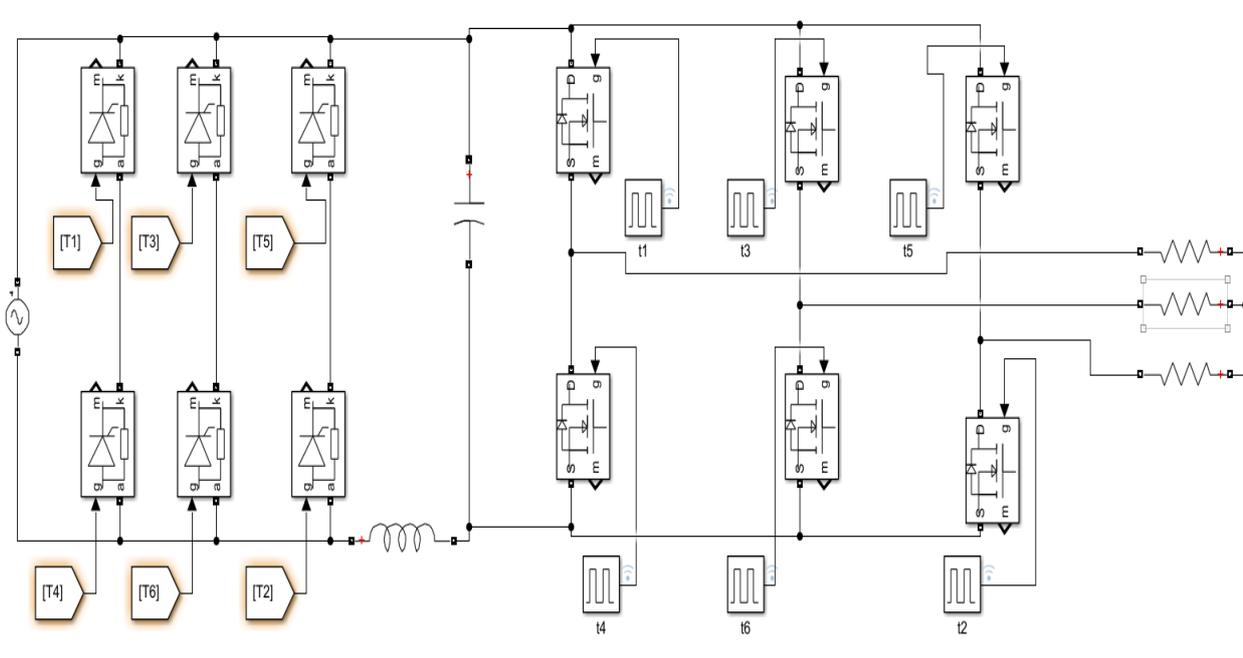
L'onduleur et le redresseur de tension est les convertisseurs les plus utilisés pour l'alimentation. Le fonctionnement de ces convertisseurs repose sur la modification séquentielle des liaisons entre l'alimentation et la charge. Cette modification dite commutation est réalisée par un circuit à commande qui fournit des ordres temporels de déclenchement des interrupteurs. Dans notre cas, on utilise la stratégie de modulation de largeur d'impulsion. Concernant la modélisation de l'onduleur et le redresseur, on considère que, les cellules (Transistors  $T_{ri}$  et les Diodes  $D_i$ ) sont à commutations instantanées et chaque interrupteur à deux états (1 ou 0) ouvert ou fermé.

En plus des défauts qui peuvent apparaître dans la charge, il n'est pas exclu que le défaut soit dû à une défaillance de l'un des semi-conducteurs. Un mauvais fonctionnement d'un semi-conducteur peut causer la perte de la commande et l'arrêt même du bras du convertisseur. Ces types de défauts sont graves et ils causent des défauts des autres dispositifs. Nous présentons une étude pour un défaut de semi-conducteur en circuit ouvert et en court-circuit [6][9].

### IV.3. Description du système à étudier

Le système à étudier est représenté par la figure (4.1) il est composé de :

- Un réseau électrique triphasé 220V.
- Un redresseur triphasé double alternance commandée.
- Un filtre passe bas de tension.
- Un onduleur de tension à MLI intersective.
- Une charge de type résistive.



**Figure (4.1) :** Schéma du système (redresseur - onduleur de tension)

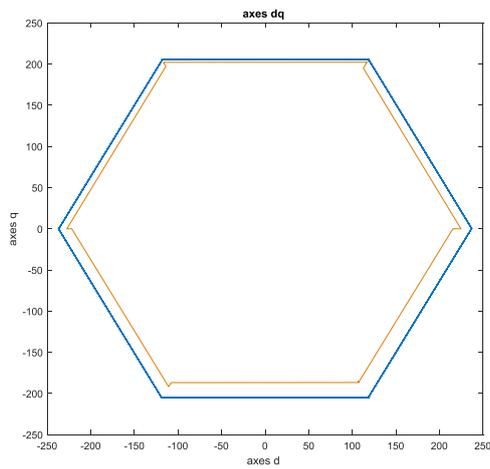
La source d'alimentation triphasée est supposée symétrique, d'amplitude de tension et de fréquence fixes de 220V et 50Hz respectivement. Le redresseur et le filtre de tension doivent être dimensionnés convenablement afin de les associer à l'onduleur de tension [10].

### IV.4. Étude du défaut dans le redresseur

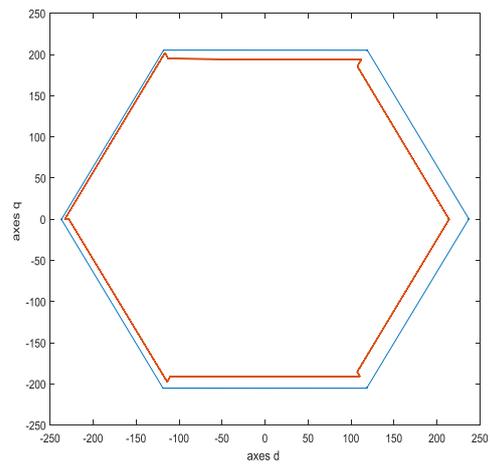
#### IV.4. 1. Cas d'ouverture des interrupteurs du redresseur :

En cas de défaut d'ouverture des interrupteurs à base des semi-conducteurs  $T_i$  ( $i = 1: 6$ ). La tension continue à la sortie du redresseur peut être déformée, cette déformation peut causer des déformations au niveau de la charge.

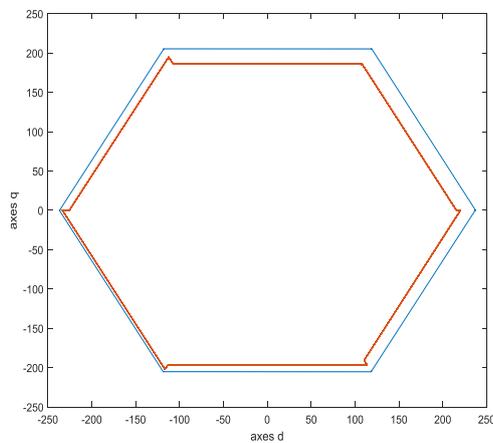
La méthode utilisée pour la détection du défaut est basée sur l'analyse de la trajectoire du vecteur de tension au niveau de la charge (le contour de Park).



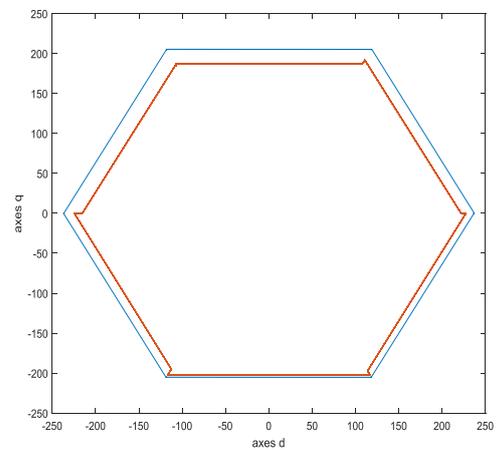
(a)



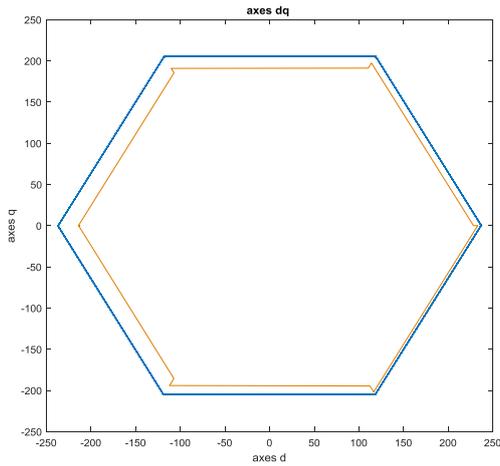
(b)



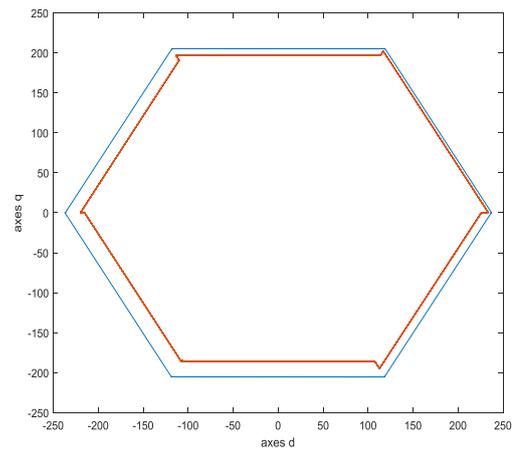
(c)



(d)



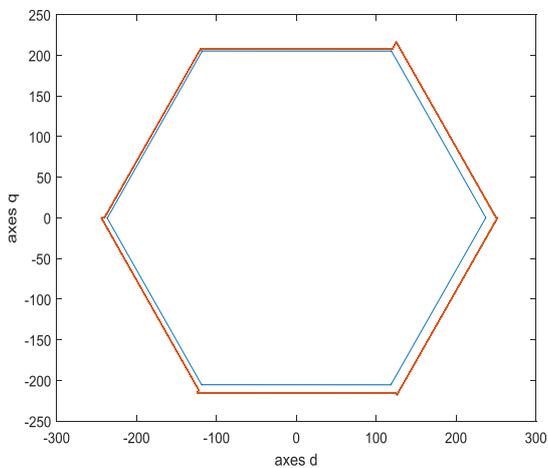
(e)



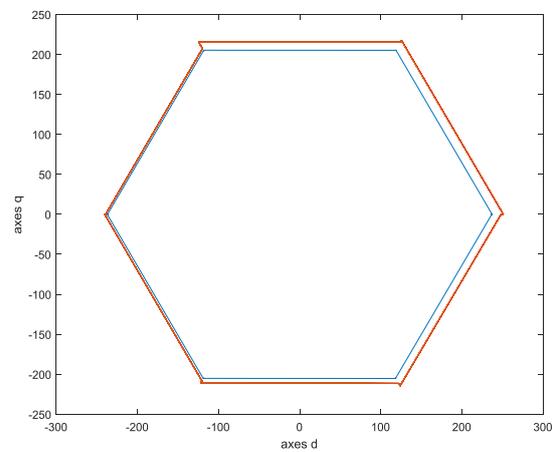
(f)

**Figure.4.2.** : Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de circuit ouvert dans les interrupteurs du redresseur (a)T1, (b)T2, (c)T3, (d)T4, (e)T5 et (f)T6.

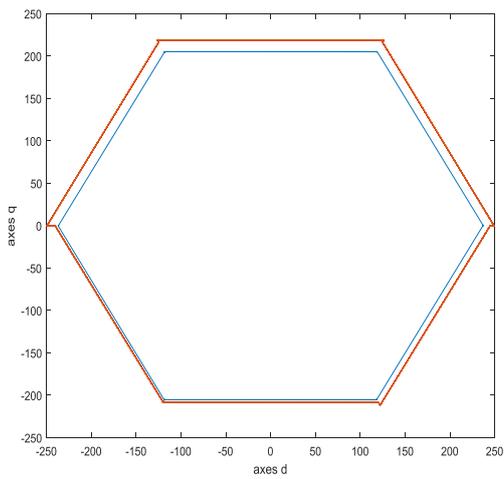
**IV.4. 2. Cas fermeture des interrupteurs du redresseur :**



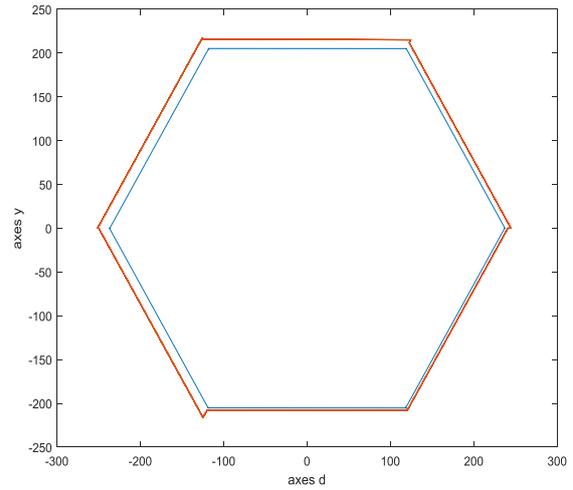
(a)



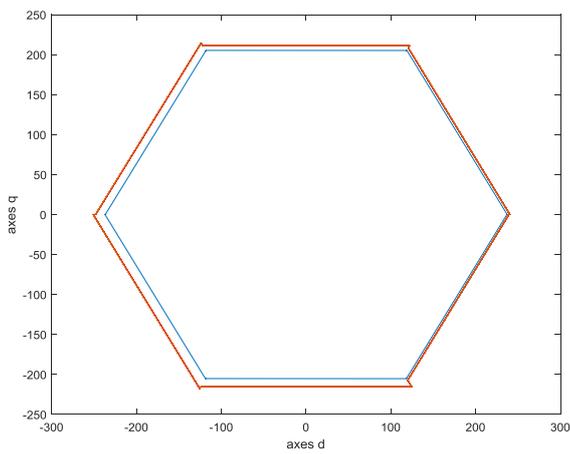
(b)



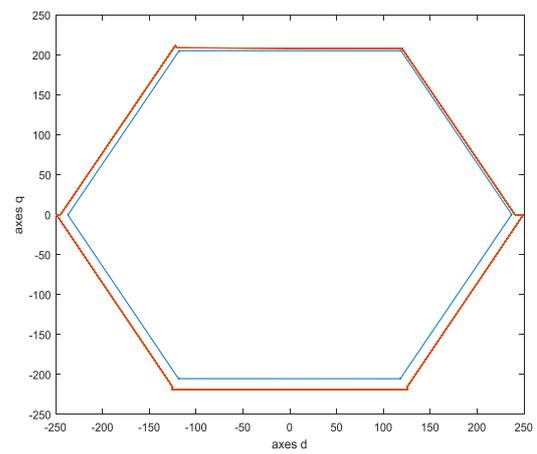
(b)



(d)



(e)



(f)

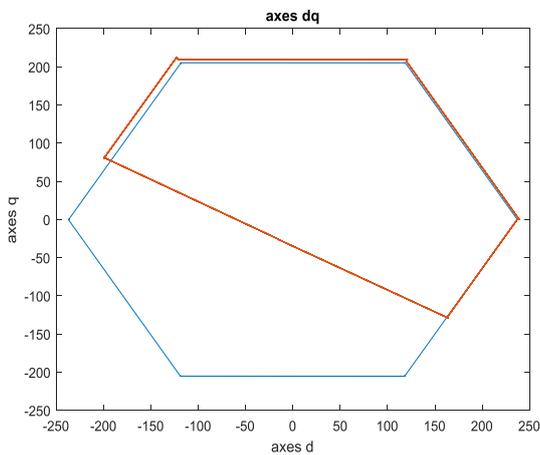
**Figure. 4.3. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de court-circuit des interrupteurs du redresseur (a)T1, (b)T2, (c)T3, (d)T4, (e)T5 et (f)T6.

IV.5. Étude du défaut dans l'onduleur

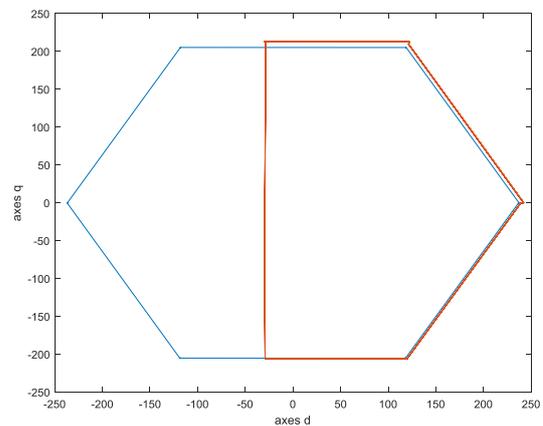
IV.5.1. Cas d'ouverture des interrupteurs de l'onduleur :

En cas de défaut d'ouverture des interrupteurs à base des semi-conducteurs  $T_i$  ( $i = 1: 6$ ). La tension alternative délivrée par l'onduleur peut être déformée, cette déformation peut causer un disfonctionnement au niveau de la charge.

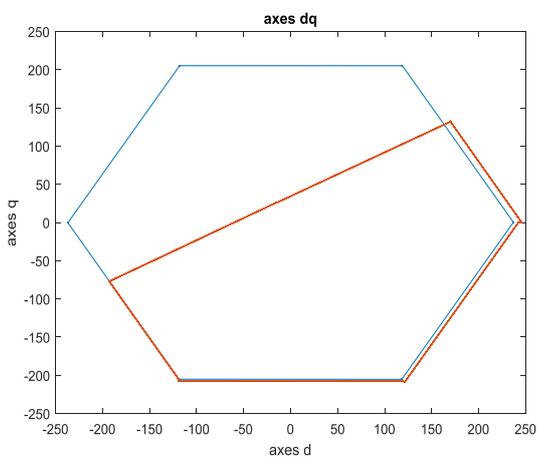
La méthode utilisée pour la détection du défaut est toujours basée sur l'analyse de la trajectoire du vecteur de tension au niveau de la charge (le contour de Park).



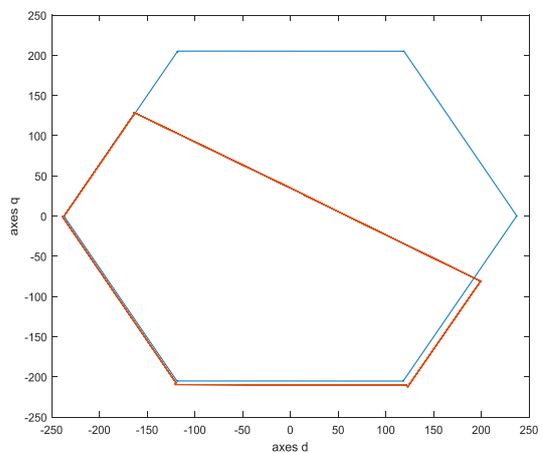
(a)



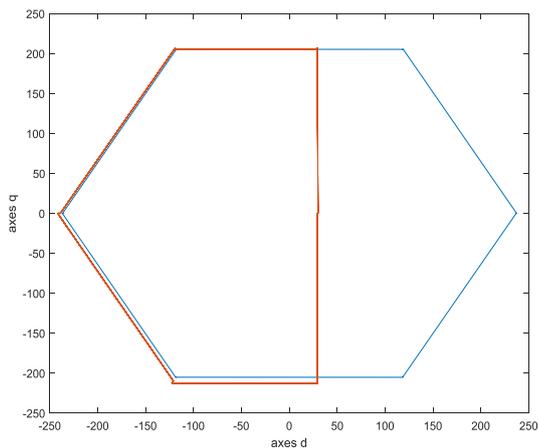
(b)



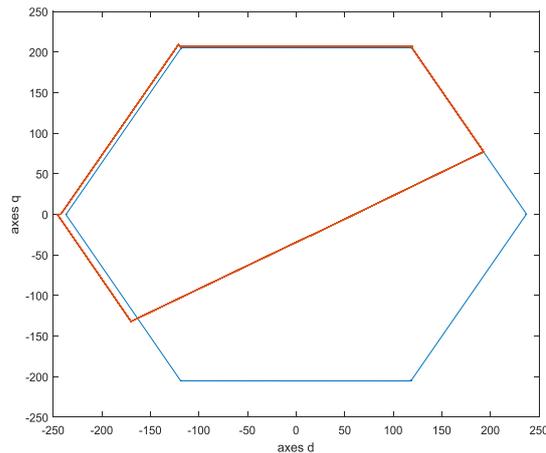
(b)



(d)



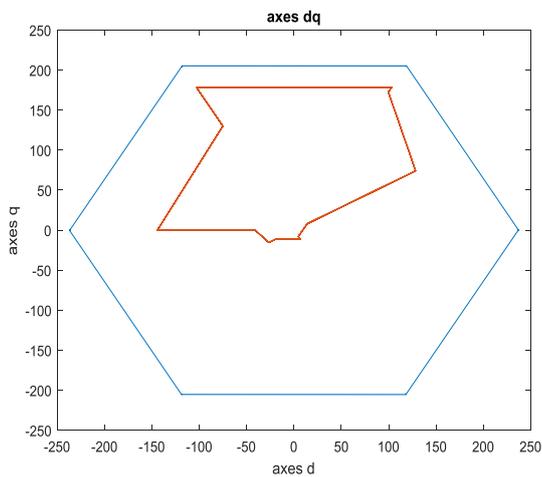
(e)



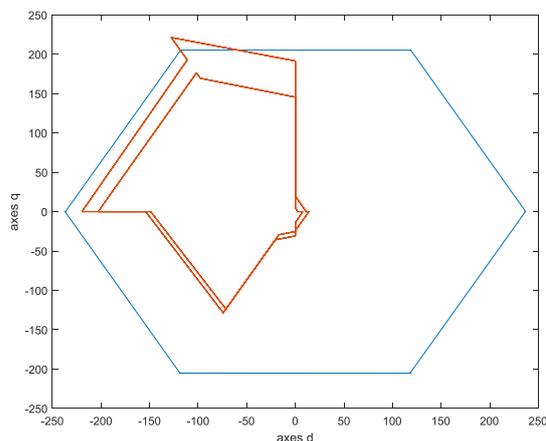
(f)

**Figure.4.4.** : Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de circuit ouvert dans les interrupteurs de l'onduleur (a)T1, (b)T2, (c)T3, (d)T4, (e)T5 et (f)T6.

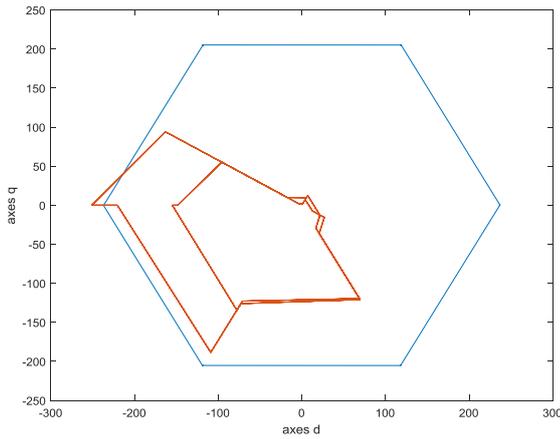
**IV.5. 2. Cas fermeture des interrupteurs de l'onduleur :**



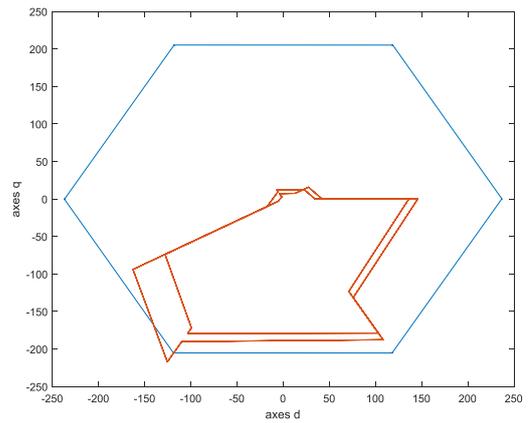
(a)



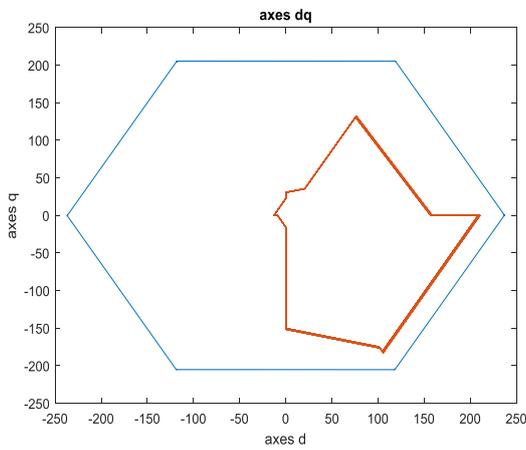
(b)



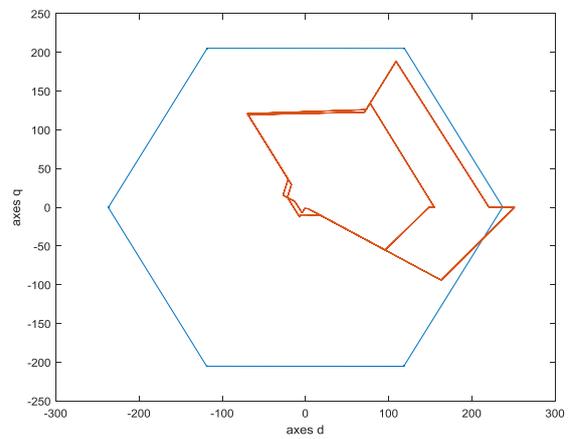
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figure.4.5. :** Analyse par comparaison d'un fonctionnement sain et en défaut du contour de Park en présence de court-circuit des interrupteurs de l'onduleur (a)T1, (b)T2, (c)T3, (d)T4, (e)T5 et (f)T6.

L'étude de diagnostic peut être résumée dans un tableau qui montre l'ouverture et la fermeture des interrupteurs en défaut pour les cas dans le redresseur et puis dans l'onduleur.

Tableau IV.1 : Cas de défaut fermeture / ouverture des interrupteurs du redresseur

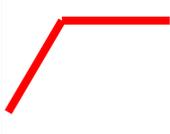
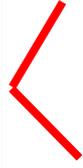
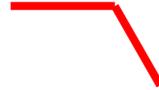
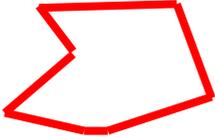
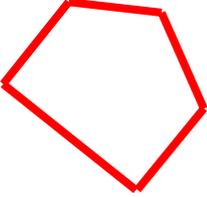
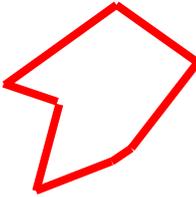
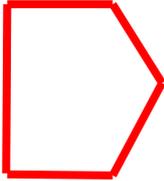
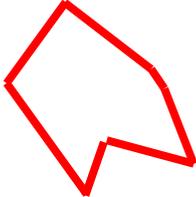
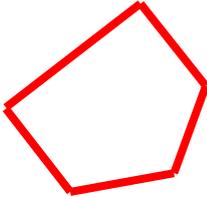
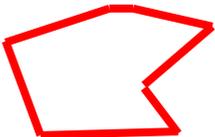
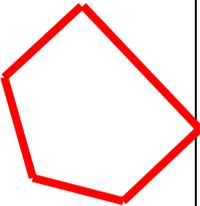
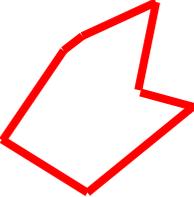
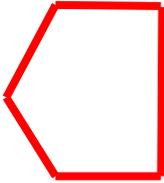
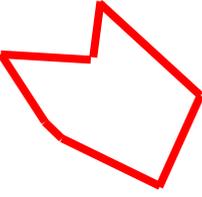
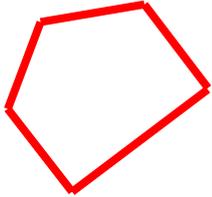
Interrupteur	Fermeture	Ouverture
T1		
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		

Tableau IV.2 : Cas de défaut fermeture / ouverture des interrupteurs de onduleur

interrupteur	Fermeture	Ouverture
T1		
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		

#### IV.6. Interprétation de détection et localisation des défauts :

##### a) Cas redresseur :

On peut voir l'effet du dysfonctionnement sur la position de contour de Park. Dans le cas d'ouverture de T1, le contour est positionné sur  $90^\circ$  et pour les autres défauts d'ouverture d'interrupteurs de T2 ÷ T6 le contour déplace avec un angle de rotation de " $30^\circ$ " (**Figure. 4.2**). De même, pour les cas de défaut de fermeture des interrupteurs et dans le cas de T1, le contour de Park se positionne sur un angle de " $60^\circ$ " et pour les autres interrupteurs de (T2 ÷ T6), la rotation du contour de Park ce fait par un angle de " $60^\circ$ " (**Figure.4.3**).

##### b) Cas onduleur :

Dans le cas où l'interrupteur T1 de l'onduleur est endommagé (circuit ouvert), on remarque une demi-ellipse est orienté vers la droite avec un angle de  $60^\circ$  à la prolongation positive l'axe dq, or quand l'interrupteur T2 est endommagé nous notons que la demi ellipse est déplacée à la gauche avec un angle de  $120^\circ$  de l'axe d,q, et même pour les autre cas d'ouverture des interrupteurs (**Figure.4.4**).

L'analyse dans le cas de défauts d'interrupteurs fermés de l'onduleur, et pour le cas de T1, on remarque une ellipse déformée avec une orientation de  $90^\circ$ , les autres interrupteurs ont donnés les mêmes résultats sauf que chaque défaut d'interrupteur à son propre angle d'orientation et qui est déferent aux autres (**Figure.4.5**).

#### IV.7.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons simulé pour le cas d'association d'un redresseur et un onduleur de tension triphasé à deux niveaux. Après la création d'un défaut de circuit ouvert ou fermé des interrupteurs dans les deux convertisseurs on a proposé une méthode de diagnostic basée sur l'analyse de la trajectoire du contour de Park afin de détecter et localiser les défauts dans les interrupteurs. L'analyse de contours de Park est un outil efficace pour le diagnostic et la localisation de défaut des semi-conducteurs défailants. Par ailleurs, si le défaut demeure, les systèmes de protection auront déjà réagi pour arrêter du processus.

Dans ce chapitre, la méthode basée sur l'analyse de la vectrice tension a été étudiée. La première la méthode concerne l'analyse de la trajectoire du contour de Park afin de détecter les défauts dans le convertisseur à MLI a été appliquée

L'analyse des contours de Park dans le référentiel  $d, q$  et l'analyse de la fréquence instantanée estimée sont des outils efficaces pour le diagnostic et la localisation de défaut des semi-conducteurs défectueux. Par ailleurs, si le défaut demeure, les systèmes de protection auront déjà réagi pour arrêter le processus [6].

### CONCLUSION GENERALE

L'étude présentée dans ce mémoire de fin d'études constitue une contribution exploratrice par apport au thème de diagnostic des défauts de l'onduleur en mettant l'accent sur la détection et de la localisation des défauts de circuit ouvert ou fermé dans le redresseur commandé et l'onduleur triphasé de tension à deux niveaux de tension par la technique des contours de Park.

Grace aux programmes de simulation développés sous l'environnement Matlab/Simulink, nous avons pu visualiser le comportement des différentes grandeurs électriques de l'ensemble alimentation alternatif, redresseur, filtre de tension passe bas, l'onduleur à commande MLI et une charge de type étoile équilibrée.

Cependant, en appliquant la transformée de Concordia. Le tracé des composants  $V_{d=f}$  ( $V_q$ ) permet de détecter, localiser et distinguer le type de défaut par la position de tracé des résultats.

Egalement, l'application de la technique des contours de Park (dans le cas sain et en cas de défaut) ont permis d'identifier le défaut et de localiser l'interrupteur en défaillance. Notons que la méthode développée dans ce mémoire est simple à implémenter si le matériel est disponible.

#### **Perspectives :**

Les travaux réalisés dans le cadre de ce mémoire peuvent être améliorés à travers des études complémentaires sur plusieurs points:

- Etendre l'étude de l'existence de défauts de vieillissement des composants des interrupteurs dans les convertisseurs.
- Introduire un algorithme à base de RNA pour classifier les types de défauts.
- Généraliser l'algorithme pour les divers défauts.
- Tester l'algorithme expérimentalement

### Références bibliographiques

- [1] **B.mansour** «cours de convertisseurs statique».
- [2] **C.adda,B.rabeh** «réalisation d'onduleur a deux niveaux» Mémoire de master, université de Ibn Khaldoun Tiaret 2020.
- [3] **Y.abdelghani** «contribution a l'étude et l'analyse du régime transitoire dans transformateur de puissance cas du courant d'appel» mémoire de Magister, université deFARHAT ABBAS SETIF 2012.
- [4] **A.hayet,C.soria** « Etude des défauts dans les convertisseur statique » mémoire de Master, Université AKLIMOAND OULHADJE BOUIRA 2018.
- [5] **A.zakariya,D.karim** «Etude et simulation d'un onduleur de tension triphasé» mémoire de Master, Université BADJI MOKHTAR ANNABA 2021.
- [6] **Y.younes** «Détection de défaut dans convertisseur a MLI d'une machine asynchrone », mémoire de Master, Université KASDI MERBEH OUARGLA , 2014.
- [7] **B.assma,H.sarah,**« Les techeniques avancée du diagnostic et détection de défaut», mémoire de master, université de Telemcen, 2020.
- [8] **N.Asma** « Détection et diagnostic de défaut d'un onduleur », mémoire de Master, Université BEDJI MOKHTAR ANNABA ,2017.
- [9] **J.yassin,** « Détection des défauts dans l'association convertisseur machine a l'induction », mémoire de Master, Université MOHAMED BODIAF M'SILA, 2019.
- [10] **A.zein eddine** , « Algorithme de détection et diagnostic des défauts pour les convertisseur statique de puissance » thèse de doctorat, Université Normandie France ,2017.
- [11] **F.benouis et M.benzioua,**« Les défauts des machines électriques et leur diagnostic » mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun Tiaret ,2018.
- [12] **N.Aouane et S.CHAMKHA,** « Détection, localisation et reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à cage », mémoire de Msater, Université M'hamed Bougara-Boumerdas 2017.
- [13] **P.Stoica et R.L.Moses,** « Introduction to Spestral Analysis, Vol.1. Prentice Hall Upper saddle River, 1997.
- [14] **A.tarik zyad,K.aissa** « Détection de defaults sur un système onduleur triphasé par l'analyse des courants», Mémoire de master, MOHAMED BOUDIAF M'SILA 2021.

## Références Bibliographiques

- [15] **M.h benabdelgani**, «Etude, conception et réalisation d'un convertisseur statique hybride multi niveaux tolérant aux défauts», thèse de doctorat, Université de Toulouse,2016 .
- [16] **M. sofiane**, « Etude et réalisation de la commande par dsp d'un convertisseur AC/DC», mémoire de Magister, Mouloud Mammeri, Tizi Ouzo, 2012.