

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :
Filière :
Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

THEME

Conversion de la commande du four rotatif par moteur à courant continu vers
une commande par moteur asynchrone alternatif

Présenté par :

REZZAK Abd Errahim

KECHIDI Messaoud

Promoteur :

Mr T.DJEDID

Promotion 2022-2023

ملخص

تهدف شركة الاسمنت منتجة، في إطار تطوير وتحسين معداتها، الى تعديل التحكم في دوران الفرن الدوار. يدرس هذا العمل بالتفصيل تركيبا جديدا من خلال اقتراح استبدال محركين تيار مستمر مع متغيران السرعة الخاصة بهما اللذان عفا عنهما الزمن في السوق بمحركين غير متزامنين يعملان بالتيار المتردد. طريقتنا تجعل من الممكن إجراء التحليلات والحسابات اللازمة المناسبة للتعديل المقترح، وتكنولوجيا المعدات، وحجمها وأخيرا طريقة التوصيل التي سيتم تنفيذها.

كلمات مفتاحية:

محرك تيار مستمر/ محرك تيار متناوب/ مغير سرعة/ فرن دوار.

Résumé

La Société des Ciments de la Mitidja SCMI, dans le cadre du développement et d'amélioration de son matériel, envisage de modifier la commande en rotation du four rotatif. Ce travail étudie en détails une nouvelle installation en proposant le changement de deux moteurs à courant continu et ces deux variateurs de vitesse qui sont obsolètes dans le marché par deux moteurs asynchrones à courant alternatif. Notre démarche permet de faire l'analyse et les calculs nécessaires correspondant à la modification proposée, la technologie du matériel, son dimensionnement et enfin le câblage à réaliser.

Mots clé :

Moteur à courant continu/moteur asynchrone/variableur de vitesse/four rotatif.

Abstract

The SCMI Mitidja Cement Company, as part of the development and improvement of its equipment, plans to modify the rotation control of the rotary kiln. This work studies in detail a new installation by proposing the change of two direct current motors and these two variable speed drives which are obsolete in the market by two asynchrone motors asynchronous motors. Our approach makes it possible to carry out the analysis and the necessary calculations corresponding to the proposed modification, the technology of the equipment, its sizing and finally the wiring to be carried out.

Keywords :

Direct curent motor/asynchronous motor/variable speed drive/rotary kiln.

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrai témoigner toute ma gratitude.

Nous voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur **DJEDID Toufik** pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nos remerciements vont aussi à mon Co-Promoteur monsieur **HALIMI OMAR** pour sa disponibilité et l'intérêt constant qu'elle n'a cessé de m'apporter pour l'élaboration de ce mémoire.

J'adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Tous nos remerciements à l'ensemble du personnel du champ de SCMI surtout **ELHADI LAHCENE** et **DJANATI MOHAMED** pour leurs collaborations et leur accueil chaleur, et tout le groupe du département méthodes.

Nos remerciements vont également aux membres de jury et au président qui sera l'honneur d'examiner mon travail.

Que toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont collaboré à l'élaboration de ce mémoire, trouvent ici nos sincères reconnaissances.

Dédicaces

*A mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien
et leurs prières tout au long de mes études*

A mes chers oncles

A mes chères tantes

A mon binôme Messaoud, et à tous ceux qui me sont chers

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Toute la promotion Electromécaniques <<2023>>

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien
infaillible,*

Merci d'être toujours là pour moi.

Abd Errahim.R

Dédicaces

*A mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien
et leurs prières tout au long de mes études*

A mon binôme Abd Errahim, et à tous ceux qui me sont chers

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Toute la promotion Electromécaniques <<2023>>

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien
infaillible,*

Merci d'être toujours là pour moi.

Messaoud.K

Liste des figures

Figure I.1 Vue du SCMI.....	4
Figure I.2 Réalisations de Ciment.....	6
Figure I.3 Matières premières du ciment.....	7
Figure I.4 Etapes de production de ciment.....	8
Figure I.5 Schéma du processus de fabrication du ciment.....	8
Figure I.6 Carrière calcaire.....	9
Figure I.7 Extraction de la matière première.....	10
Figure I.8 Déchargement du calcaire dans le concasseur.....	10
Figure I.9 Concassage et transport.....	11
Figure I.10 Cuisson.....	13
Figure I.11 Four rotatif.....	14
Figure I.12 Broyage ciment.....	15
Figure I.13 Expédition en sac ou vrac.....	16
Figure I.14 Expédition en vrac.....	16
Figure I.15 Expédition en sac.....	16
Figure II.1 Four rotatif.....	20
Figure II.2 Couronne du four rotatif.....	20
Figure II.3 Bandage du four rotatif.....	21
Figure II.4 Description du bandage.....	21
Figure II.5 Virole d'un four rotatif.....	22
Figure II.6 Brique réfractaire de four rotatif.....	23
Figure II.7 Galet d'un four rotatif.....	23
Figure II.8 Butée d'un four rotatif.....	24
Figure II.9 Plaque nose-ring.....	25
Figure II.10 Bruleur dans le four.....	25
Figure II.11 Dilatation diamétrale dans la virole.....	26

Figure II.12 Excentrique ovalisation.....	27
Figure II.13 Vilebrequin mécanique.....	27
Figure II.14 Puissance de four in fonction de vitesse de rotation.....	30
Figure II.15 SIMATIC S7-400.....	31
Figure II.16 Contrôleur SIMATIC S7-400.....	32
Figure II.17 Création des vues en utilisant Graphics Designer.....	33
Figure II.18 Puissance en fonction de la vitesse four.....	34
Figure II.19 Exemple de la courbe de la puissance four en marche normale.....	34
Figure II.20 Exemple de la courbe de la puissance dans le cas d'une perturbation extrême de la charge.....	35
Figure II.21 Exemple deS courbes de la puissance four et courants et tensions.....	35
Figure III.1 Schéma de moteur à CC.....	39
Figure III.2 Principe de fonctionnement du moteur CC.....	40
Figure III.3 Schéma d'un moteur à excitation indépendante.....	41
Figure III.4 Schéma d'un moteur à aimants permanents.....	41
Figure III.5 Schéma d'un moteur à excitation série.....	42
Figure III.6 Schéma d'un moteur a excitation shunt.....	42
Figure III.7 Bilan de puissance de moteur à CC.....	43
Figure III.8 Schéma du moteur asynchrone.....	45
Figure III.9 Stator de moteur asynchrone.....	46
Figure III.10 Rotor d'un moteur asynchrone alternatif.....	47
Figure III.11 Principe de la machine asynchrone.....	47
Figure III.12 Rotor bobiné de moteur asynchrone.....	48
Figure III.13 Rotor à cage.....	49
Figure III.14 Rotor à double cage.....	49

Figure III.15 Bilan de puissance du moteur asynchrone.....	51
Figure IV.1 Schéma unifilaire.....	59
Figure IV.2 Plaque signalétique de deux moteurs actuels.....	60
Figure IV.3 Moteur à courant continu du four.....	60
Figure IV.4 Variateurs de vitesse d'installation actuelle.....	61
Figure IV.5 Plaque signalétique de variateur de vitesse actuel.....	61
Figure IV.6 Transformateur d'installation actuelle.....	62
Figure IV.7 Plaque signalétique du transformateur.....	62
Figure IV.8 Chaîne de transmission.....	63
Figure IV.9 Courant d'un moteur asynchrone en fonction de sa vitesse, et en particulier au démarrage.....	64
Figure IV.10 Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile....	65
Figure IV.11 Structure d'un variateur de vitesse.....	67
Figure IV.12 Schéma de câblage de base du variateur du vitesse du moteur asynchrone..	69
Figure IV.13 Description du câble.....	73
Figure IV.14 Variateur de vitesse choisi dans la nouvelle installation.....	75

Liste des tableaux

Tableau IV.1 Principes du Branchement.....	57
Tableau IV.2 Caractéristiques du moteur asynchrone.....	66
Tableau IV.3 Plaque signalétique de nouveau moteur asynchrone.....	74

Symboles et abréviations

MAS	Moteur asynchrone.
SCMI	Société des Ciments de la Mitidja.
GICA	Groupe industriel des ciments d'Algérie.
S.P.A	Société Par Actions.
ATM	Alimentation Tablier Métallique.
API	Automate programmable industriel.
Win CC	Windows control central.
DC	Courant Continu (Direct Curent).
CC	Courant Continu.
MAS	Moteur Asynchrone.
AC	Courant Alternatif (alternatif Curent).
BT	Basse Tension.
HT	Haute tension.
MT	Moyenne tension
ABB	ASEA Brown Boveri
P	La puissance absorbée par le four [kW].
P ₁	La charge à mettre en mouvement.
P ₂	Les forces de frottement entre galets et palier.
P ₃	Les forces liées au contact entre galets et bandages.
θ	½ angle de talus de matière vu du centre du four.
n	(tr/min) vitesse de rotation.
c	Coefficient dont la valeur est fonction de l'angle de talus naturel.

L	La longueur du four.
D	Diamètre du four.
Q_f	Poids du four rotatif pour chaque appui.
D_b	Diamètre du bandage.
D_g	Diamètre du galet.
D_p	Diamètre du palier.
f	Coefficient de frottement dont la valeur dépend du type de palier.
dF	Loi de la place.
Pa	Puissance absorbée
P_{js}	Pertes Joule stator.
P_{fs}	Pertes fer stator.
P_{jr}	Pertes Joule rotor.
P_{fr}	Pertes fer rotor.
P_m	Puissance mécanique.
P_{mt}	Puissance mécanique totale.
P_u	Puissance utile.
I	Courant [A]
U	Tension [V]
F	Fréquence [Hz]
V_n	Vitesse nominale [Tr/min].
U_n	Tension nominale [V].
I_n	Courant nominale [A].
C_m	Couple utile sur l'arbre moteur.

Ω_m	Vitesse de rotation de l'arbre moteur [rad/s].
K	Rapport de réduction du réducteur.
η_r	Rendement du réducteur.
P _c	Puissance demandée par la charge [W] ou [kW].
Ω_c	Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s.
C _r	Couple résistant de la charge [N.m. J].
M	Moment d'inertie et la masse de la charge en [Kg/m ² et Kg].
g	Glissement
N _s	Vitesse de rotation du champ [tr/s].
N _r	Vitesse de rotation du rotor.
m	Rapport de transformateur.
N	Nombre de spires de transformateur
S _n	Puissance assignée du transformateur [kVA].
U ₂₀	Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur [V].
U _{cc}	Tension de court-circuit
U'	Résistivité du conducteur en service normal
S	Section de câble

Sommaire

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I :Présentation de la cimenterie de Meftah

I.1 Introduction..... 4

I.2 Présentation de SCMI 4

I.2.1 Assiette de l'Usine 5

I.3 Historique..... 5

I.4 Organisation de travail..... 6

I.5 Infrastructures 6

I.6 Etude descriptive de la chaine de fabrication 7

I.6.1 Définition 7

I.6.2 Composants du ciment 8

I.6.3 Processus de fabrication du ciment 8

I.6.3.1 Zone I : Carrière calcaire..... 9

I.6.3.2 Zone II : Cru..... 11

I.6.3.3 Zone III : Cuisson..... 13

I.6.3.4 Zone IV : Ciment..... 14

I.6.3.5 Zone V : Expédition 15

I.7 Conclusion 17

Chapitre II : Généralités sur le Four rotatif

II.1 Introduction 19

II.2 Présentation du four rotatif de cimenteries 19

II.3	Description des composants du four.....	20
II.3.1	Couronne.....	20
II.3.2	Bandage.....	21
II.3.2.1	Rôle du bandage	21
II.3.3	Virole	22
II.3.4	Brique réfractaires.....	22
II.3.5	Galets	23
II.3.6	Butée hydraulique	23
II.3.7	Joints du four.....	24
II.3.8	Plaques nose-ring	24
II.4	Brûleur du four rotatif	25
II.5	Enoncé du problème.....	26
II.6	Quelques phénomènes des problèmes dans le four.....	26
II.6.1	Dilatation diamétrale.....	26
II.6.2	Excentrique ovalisation.....	27
II.6.3	Vilebrequin mécanique	27
II.7	Puissance du four	28
II.8	Système d'archivage.....	30
II.8.1	SIMATIC S7-400.....	31
II.8.1.1	Caractéristiques de S7-400.....	31
II.8.2	SIMATIC WIN CC.....	32
II.8.2.1	Caractéristiques de WIN CC	33
II.9	Conclusion.....	36

Chapitre III : Généralités sur les moteurs électriques

III.1	Introduction	38
III.2	Généralités sur les moteurs à courant continu	39

III.2.1	Définition	39
III.2.2	Description et constitution du moteur à courant continu	39
III.2.3	Principe de fonctionnement du moteur à courant continu	40
III.2.4	Types des moteurs CC	41
III.2.4.1	Moteur à excitation indépendante	41
III.2.4.2	Moteur à aimants permanents	41
III.2.4.3	Moteur à excitation en série	42
III.2.4.4	Moteur à excitation en dérivation ou shunt.....	42
III.2.5	Bilan de la puissance du moteur CC.....	43
III.2.6	Avantages et inconvénients du moteur à courant continu	44
III.2.6.1	Les Avantages	44
III.2.6.2	Les Inconvénients :	44
III.2.7	Domaine d'applications moteurs à courant continu :	45
III.3	Généralités sur les moteurs asynchrones alternatifs.....	45
III.3.1	Définition	45
III.3.2	Constitution et description du moteur asynchrone.....	46
III.3.2.1	Stator	46
III.3.2.2	Rotor	46
III.3.3	Principe de fonctionnement de la machine asynchrone.....	47
III.3.4	Types du moteur Asynchrone	48
III.3.4.1	Moteur asynchrone à Rotor Bobiné	48
III.3.4.2	Moteur asynchrone à cage.....	48
III.3.4.3	Moteur asynchrone à double cage.....	49
III.3.5	Critères du choix des moteurs asynchrones.....	50
III.3.6	Bilan de puissances du moteur asynchrone	50
III.3.7	Avantages et inconvénients des machines asynchrones	52

III.3.7.1	Les avantages	52
III.3.7.2	Les inconvénients.....	52
III.3.8	Domaine d'application de machine asynchrone.....	52
III.4	Conclusion.....	53

Chapitre IV : Adaptation d'une nouvelle installation à deux moteurs asynchrones au four rotatif.

IV.1	Introduction.....	55
IV.2	Domaines réglementaires et statutaires.....	55
IV.3	Caractéristiques des récepteurs	56
IV.4	Branchement	56
IV.5	Architecture de distribution électrique.....	57
IV.6	Protection contre les chocs électriques	58
IV.7	Installation actuelle	58
IV.7.1	Dimensions des installations actuelles	59
IV.7.1.1	Moteurs	59
IV.7.1.2	Variateurs de vitesse	60
IV.7.1.3	transformateur.....	61
IV.7.1.4	Câbles de puissance moteurs	62
IV.8	Notions pour moteur électrique.....	63
IV.9	Démarrage du moteur asynchrone	64
IV.10	Caractéristiques du moteur asynchrone	64
IV.10.1	Fonctionnement à vide	64
IV.10.2	Fonctionnement en charge.....	65
IV.11	Variateur de vitesse	67
IV.12	Description de fonctionnement de variateur de vitesse	67
IV.13	Variation de vitesse d'un moteur asynchrone	68
IV.14	Variation de la fréquence	68

IV.15	Schéma de câblage de variateur de vitesse du moteur asynchrone	69
IV.16	Principe de fonctionnement de l'ensemble (variateur de vitesse – moteur)	69
IV.17	Critères de choix d'un variateur	70
IV.18	Choix du variateur de fréquence	70
IV.19	transformateur	71
IV.19.1	Calculs du transformateur	71
IV.20	Notion de câble	72
IV.21	Calcul de la nouvelle installation	73
IV.21.1	Choix des moteurs	73
IV.21.2	Choix des deux variateurs de la vitesse	74
IV.21.3	Choix du transformateur.....	75
IV.21.4	Choix et calcul la section des câbles de puissance de chaque moteur.....	76
IV.22	Conclusion	76
	Conclusion générale	77
	Références bibliographiques	79
	Annexe	81

Introduction générale

Dans le monde moderne, le développement et le progrès dans l'industrie et le domaine des machines électriques (moteur à courant continu et moteur à courant alternatif) sont si importants, et ceci de point de vue conception et maintenance où les pièces de rechanges constituent un compromis économique assez délicat à optimiser, dans ce domaine avec toutes les méthodes disponibles et les technologies modernes. Cela dans le but de rechercher et à développer ces dernières afin de les utiliser dans le domaine industriel, d'augmenter la production et de réduire les dépenses de toutes sortes, notamment (coûts de maintenance) dans les grandes usines telles que (cimenterie de Meftah).

Depuis sa mise au point par N. TESLA, la machine asynchrone (MAS) est la préférée par des industriels pour sa facilité de conception et de maintenance. Actuellement, la machine électrique la plus répandue dans l'industrie est la machine asynchrone. Ses principaux avantages incluent l'absence d'une caisse enregistreuse, un processus de construction simple et une structure simple. Sa puissance varie de quelques watts à plusieurs mégawatts, elle est directement connectée à un réseau industriel à tension et fréquence continues, et tourne à une vitesse à peine inférieure à la vitesse synchronisée.

Les dernières applications industrielles nécessitent des variateurs de vitesse à haute dynamique, une bonne précision en régime établi, une capacité de surcharge élevée sur toute une gamme de vitesse et une puissance pour diverses perturbations. Plusieurs technologies ont été développées ces dernières années qui permettent au variateur d'atteindre ces performances. Dans notre cas, les deux variateurs qui entérinent actuellement le four rotatif de la cimenterie de Meftah sont obsolètes.

Notre travail concerne l'étude de deux moteurs asynchrones commandés par deux variateurs de vitesse (ABB) de four rotatif au sien de la cimenterie de Meftah.

Ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la société et connaître le processus de la fabrication du ciment au sein de la cimenterie de Meftah.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation du four rotatif de donner la technologie générale, son matériel d'automatisme et les défauts rencontrés sur le four.

Le troisième chapitre sera consacré à donner des généralités sur les moteurs à courant continu et les moteurs à courant asynchrones alternatifs. Dans sa première partie, nous présenterons la définition, le principe de fonctionnement, les avantages et inconvénients des moteurs à courant continu. La deuxième partie sera consacrée à présenter la définition, le principe de fonctionnement, les caractéristiques, modélisation, le domaine et les avantages et inconvénients des moteurs à courant alternatif asynchrones.

Le quatrième chapitre sera consacré à la nouvelle installation de commande du four rotatif et nous étudierons comment peut-on commander deux moteurs asynchrones par deux variateurs de vitesse par un seul transformateur et le câblage correspondant.

Chapitre I : Présentation de la cimenterie de Meftah

I.1 Introduction

Dans la fabrication du ciment il existe deux voies de production, la voie humide et la voie sèche. Dans la cimenterie de Meftah seule la voie sèche est utilisée. Le but de ce chapitre est de mieux comprendre le fonctionnement d'une cimenterie.

Cette société est basée sur une technologie électrique développée surtout dans les domaines d'automatisme et d'électrotechnique, et elle est aussi basée sur une main d'œuvre bien formée et qualifiée, cette industrie moderne avec 39 ans d'expérience dans ce domaine et avec son équipe technique nous sera très utile pour notre formation et pour améliorer nos capacités.

I.2 Présentation de SCMI

La SCMI est une entreprise algérienne filiale du groupe GICA, spécialisée dans la fabrication de ciment. Le réseau national de la SCMI lui permet de fournir ses produits sur tout le territoire. Son procédé de fabrication spécifique procure à son ciment une excellente qualité respectant les normes internationales de fiabilité et de respect de l'environnement. La culture de SCMI repose sur les valeurs fondamentales de respect, de confiance, de responsabilité et d'autonomie.

L'usine possède une seule ligne de production, le procédé de fabrication est la voie sèche.



Figure I. 1 Vue du SCMI.

- **Raison Sociale** : Société des Ciments de la Mitidja par Abréviation S.C.M.I.
- **Activités** : production et commercialisation des ciments ordinaires, spéciaux et tous autres matériaux de construction.
- **Forme Juridique** : Société Par Actions (S.P.A.).
- **Capital Social** : 1 400 000 000DA, détenu à 65% par le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (G.I.C.A.) et à 35% par le Groupe LAFARGE Financière.
- **Effective au 30 juin 2013** : 502 employés.

I.2.1 Assiette de l'Usine

- La superficie de l'usine est de 356 811m², dont :
 - Bâti : 72 708 m²
 - Bâtiments techniques : 42 457 m² .
 - Autres bâtiments : 22 810 m².

I.3 Historique

La cimenterie est implantée dans la commune de Meftah, daïra de MEFTAH, Wilaya de Blida. L'usine est située à 60 m au-dessous du niveau de la mer, la carrière à 150 m. Le projet s'est inscrit dans le cadre du plan quadriennal 1970-1973, il a été individualisé par décision n° 71-20 DI du 10 mars 1971, la formule de réalisation retenue est celle du lot par lot, par l'ingénieur conseil canadien SURVEYER NENNINGER et CHENEVERT (S.N.C).

Date de mise en service :

- 31 janvier 1975 : démarrage de l'atelier cru.
- 06 mai 1975 : allumage du four.
- 01 septembre 1975 : production de ciment.
- Commercialisation du ciment : 06 novembre 1975.

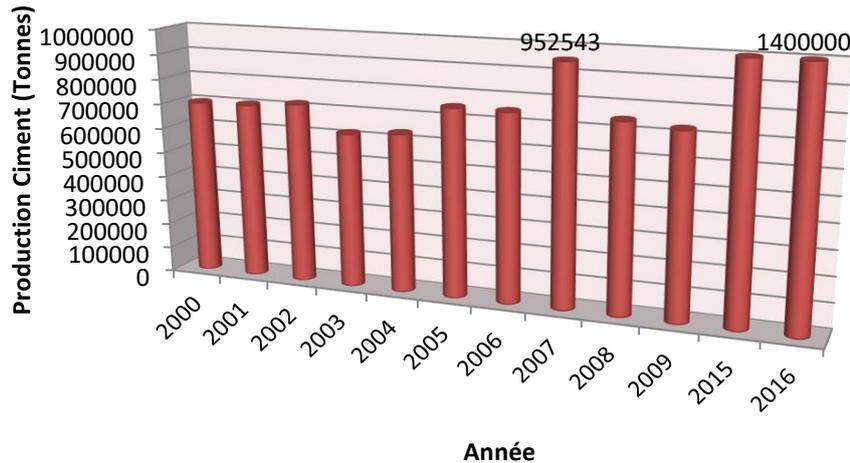


Figure I. 2 Réalisations de Ciment.

I.4 Organisation de travail

✓ Matières premières :

Cette structure fonctionne en deux postes par jour, du samedi au mercredi (de 6h :00 à 13h :00 et de 13h :00 à 21h :00) et un poste le jeudi (de 6h :00 à 13h :30).

✓ Ligne de fabrication :

Les ateliers broyage cru et de le broyage ciment fonctionnent 18 heures par jour, l'atelier cuisson fonctionne 24h/24h.

Ces ateliers sont organisés en deux postes de 12 heures, 7/7 jours.

✓ Expédition :

Cette structure fonctionne en heures normales, de 08h : 00 à 16h :00.

I.5 Infrastructures

Eau :

D'un débit de 16 à 20 l/s

L'alimentation assurée par quatre forages d'un débit de 16 à 20 l/s chacun.

- Deux à l'intérieur de l'usine.
- Deux à Hnaichia (à environ 3km).

La consommation journalière pour le processus est d'environ 25m³/Heur soit 600m³/Jour.

Energie :

- Electricité :

L'alimentation en énergie électrique est assurée par deux lignes de 60 kV et de puissance de 25000 kVA, l'une venant de l'Arbaa et l'autre d'Alger est.

La tension de sortie est de 5.5 kV.

En cas de coupure d'électricité, l'usine possède un groupe électrogène de 1 500kVA, utilisé uniquement pour le vireur du four et l'éclairage du bâtiment de commande et pour ventilation de soufflage du refroidisseur.

- Gaz :
 - Alimentée par station SONELGAZ.
 - Pression d'arrivée gaz de 5 bars.

I.6 Etude descriptive de la chaine de fabrication**I.6.1 Définition**

Ciment est un liant hydraulique obtenu par cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile, puis broyage. La plupart des ciments sont à base de clinker et d'ajouts. Le ciment s'emploie le plus souvent sous forme de poudre : mélangé avec de l'eau, il fait prise et permet d'agglomérer entre eux des sables et des granulats (sable ou graviers), pour constituer de véritables roches artificielles, les bétons ou les mortiers.



Figure I. 3 Etapes de production de ciment

I.6.2 Composants du ciment

Le ciment est fabriqué généralement à partir d'un mélange de :

- Calcaire (CaCO_3).
- Argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$).
- Sable.
- Fer



Figure I. 4 Matières premières du ciment

I.6.3 Processus de fabrication du ciment

La figure (I.5) représente un schéma qui résume les différentes étapes du processus de fabrication du ciment.

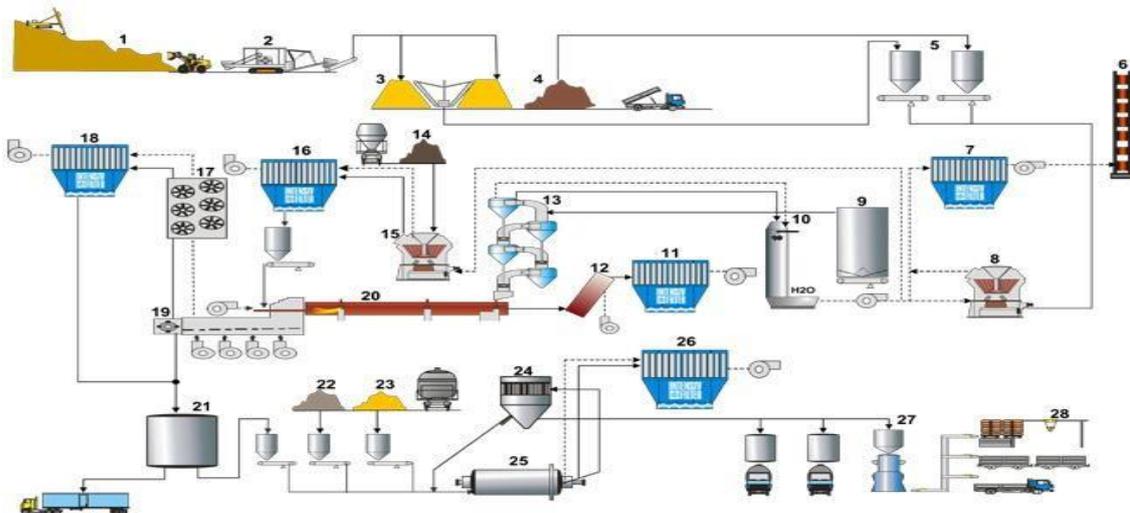


Figure I. 5 Schéma du processus de fabrication du ciment.

Ce processus de fabrication du ciment est divisé en cinq zones :

- Zone I : Carrière calcaire.
- Zone II : Cru.
- Zone III : Cuisson.
- Zone IV : Ciment.
- Zone V : Expédition.

I.6.3.1 Zone I : Carrière calcaire



Figure I. 6 Carrière calcaire

Dans la Zone I nous avons :

□ **Extraction de la matière :** Les matières premières sont extraites de la carrière généralement à ciel ouvert :

- Le calcaire est extrait par abattage en grande quantité au moyen d'explosifs.
- L'argile est extraite à l'aide des pelles mécanique, elle est mélangée d'argile brune et d'argile rouge.

□ **Chargement :** est réalisé en utilisant des engins, comme l'illustre la figure (I.7).

Il existe deux types d'engins :

- Le rôle du premier bulldozer (mini-chargeuse) est de rassembler le calcaire.
- Le rôle du deuxième (chargeuse) est de charger le calcaire dans les camions (dumper).

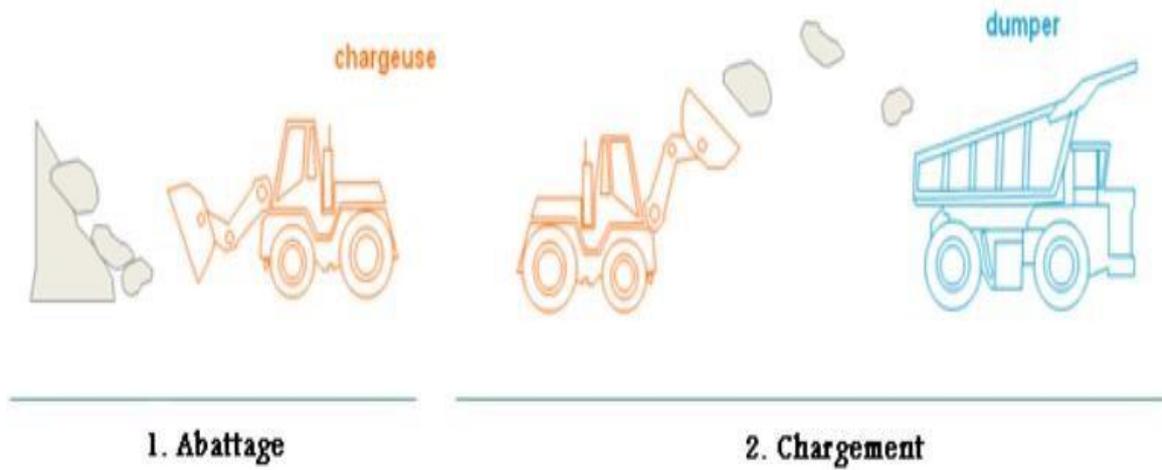


Figure I. 7 Extraction de la matière première.

□ **Transport** : Les camions transportent le calcaire vers les concasseurs. Pour le décharger dans la chambre de concassage Figure (I.9).



Figure I. 8 Déchargement du calcaire dans le concasseur.

□ **Concassage** : Le concassage est une opération destinée à la réduction des blocs de calcaires qui sont obtenus pendant l'extraction figure (I.9). Le calcaire est acheminé vers le concasseur avec ATM (Alimentation Tablier Métallique).

On trouve deux concasseurs FCB 450Tonnes/Heure et KHD 1000 Tone/Heure. Le concassage est réalisé par un concasseur à battoirs qui est placé près de la carrière. Ce concasseur est constitué de deux rotors, primaire et secondaire.

Il comporte aussi une chaudière pour chauffer les écrans de chocs et les parois du concasseur afin d'éviter le colmatage. Les tapis T0, T1, T2, T2 bis, transportent le calcaire vers le hall de stockage calcaire dont la capacité est de 60 000 T.

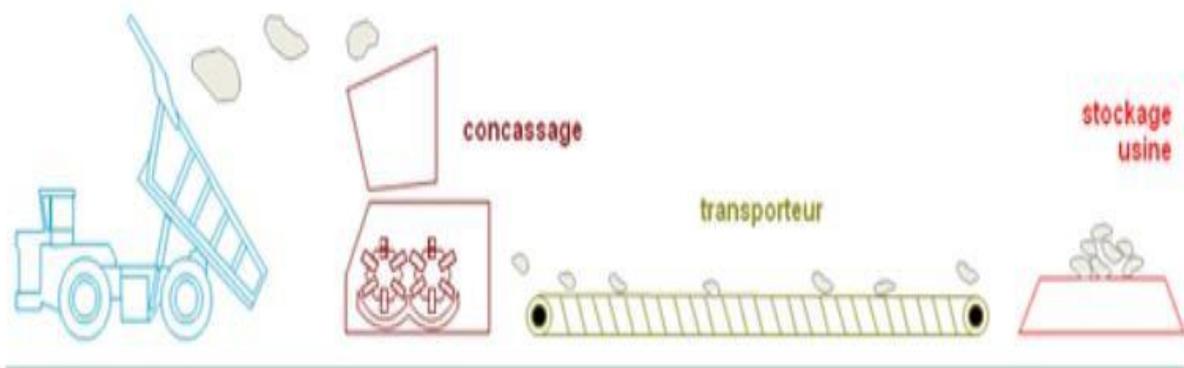


Figure I. 9 Concassage et transport

I.6.3.2 Zone II : Cru

L'extraction des matières premières vierges (comme le calcaire et l'argile) se fait à partir de la carrière à ciel ouvert. Le cru va suivre différentes étapes de transformation lors de sa progression. Ces étapes sont :

Préparation de la matière : On utilise deux constituants en général pour la préparation du cru qui sont le calcaire, et l'argile. Après le concassage de ces deux constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm. Une prise d'échantillon sera réalisée pour effectuer les analyses afin de déterminer la composition. Les constituants sont acheminés vers l'usine par des transporteurs couverts puis, ce mélange est stocké dans un hall de pré homogénéisation. Le stockeur forme deux tas l'un en constitution, l'autre en reprise. Une seconde correction est prévue juste avant le broyage cru. Cette correction se fait pour ajouter du calcaire, du minerai de fer et du sable. Après correction du cru, le mélange est acheminé à l'aide de transporteurs vers un concasseur sécheur qui réduira la granulométrie de 0 à 7 mm.

- **Hall calcaire :** Le grateur portique (à palette) sert à gratter le calcaire et se déplace en translation de tas en tas et jettent la matière sur le tapis 2MK 03 01 pour le transporter à la trémie calcaire.
- **Hall ajout :** Nous avons deux grateurs semi-portique (à palette) qui servent à gratter les ajouts (argile, sable, fer).

Il déverse les produits sur les bandes transporteuses jusqu'aux trémies. Il existe quatre (04) trémies (calcaire, fer, argile, sable). Le dosage des différents constituants du ciment sont comme suit :

- Calcaire 80%
- Argile 17%
- Sable 2%
- Fer 1%

Les ajouts sont acheminés par le transporteur T13 au broyeur à marteau.

Broyeur à marteau : Il sert à concasser la matière.

Aspiration : L'aspiration de la matière et les gaz chauds par le ventilateur de tirage d'une puissance de 1600 kW.

Séparateur statique : Le séparateur statique sépare la granulométrie (grosse particules et fines particules).

- Les grosses particules passent vers les broyeurs à boulets.
- Les fines particules partent vers le stockage (silos d'homogénéisation).

Broyeur à boulets : Tous les rejets du séparateur vont passer pour être broyés dans les deux compartiments du broyeur.

Elévateur à godets : Il transporte le produit vers le séparateur dynamique. Le produit tombe sur un plateau qui tourne à vitesse continue. Les grosses particules tombent sur l'aéroglesseur (rejet) et retournent au broyeur pour être broyé de nouveau. Les petites particules vont vers les silos de stockage.

Homogénéisation : Le produit sera mélangé dans les silos H1, H2 pour être prêt au stockage. La farine crue expédiée par l'air lift est dégagée dans la boîte de récupération. La capacité de stockage de chaque silo est de 10 000Tone. Chaque silos est équipé de deux sorties latérales pouvant assurer la totalité du débit farines vers le four. Il est donc possible de

fonctionner avec un ou deux silos. Par ces étapes nous avons définies le cheminement des matières premières dans la zone cru. Le mélange est acheminé vers le four afin de permettre leurs cuissons.

I.6.3.3 Zone III : Cuisson

La ligne de cuisson figure (I.10) est constituée :

- D'un pré chauffeur.
- D'un four rotatif.
- D'un refroidisseur.

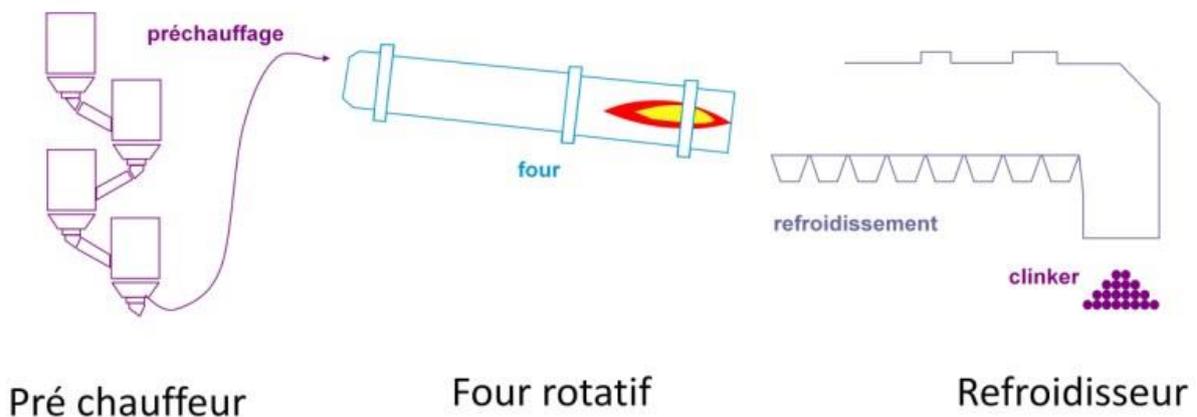


Figure I. 10 Cuisson

Préchauffeur ou cyclones : Les gazes réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO₂) et son eau. C'est un échangeur à contre-courant destiné à préchauffer la farine avant son entrée dans le four, en récupérant la chaleur de gaz sortant du four qui est environ égale à 100° C. Du fait que l'argile et le calcaire ont la même densité (2,70 g/cm³), un exhausteur monté sur les cyclones aspire les gazes de combustions et le mélange de la carrière.

Four rotatif : Le four est constitué d'une virole cylindrique de 90m de long et de 5.6m de diamètre protégé par la brique réfractaire), incliné selon un angle de 1 à 4 degrés par rapport à l'horizontale. Le calcaire est chargé à l'extrémité supérieure. La figure (I.11) montre un four rotatif.



Figure I. 11 Four rotatif.

Refroidisseur : Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1135°C jusqu'à 80-100°C. Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement.

I.6.3.4 Zone IV : Ciment

Cet atelier est composé de deux lignes électriques avec un débit de production de 90Tone/Heure pour chacune.

Remplissage des trémies (clinker gypse, tuf)

- **Remplissage par la trémie de réception :** Le gypse et le tuf sont transportés vers la trémie de réception par des camions. Le gypse sera transporté sur le tapis T 19 qui déverse sur T 20. À l'aide d'un élévateur gypse, ce dernier sera stocké dans le silo de stockage gypse d'une capacité de 5000 Tone (silo spécial gypse). Les ajouts de gypse seront transportés du T 20 vers le tapis AMOUND et vers l'élévateur à godet qui alimente la chaîne TKF2 pour remplir la trémie tuf plus gypse.

- **Remplissage par T 16 :** Le remplissage se fait soit directement de la zone cuisson à partir des chaînes transporteuses qui versent la matière (clinker) dans une goulotte, qui à son tour le verse sur le T16. Ce remplissage peut aussi se faire par des silos de stockages. En effet, chaque silo à trois bouches,

deux bouches manuelles et une motorisée. A travers ces silos la matière est versée sur T 16 qui l'achemine vers l'élévateur à godets et est envoyé vers la chaîne TKF1 pour remplir les trémies (clinker, gypse).

□ **Broyages ciment** : Après le dosage des matières (Clinker 80%, Gypse 5%, Tuf 15%). Elles sont transportées sur un tapis vers le broyeur ciment BK1-BK2 pour le broyage figure (I.11). La matière broyée sera transportée par élévateur à godets sortie broyeur, puis elle sera déversée dans un séparateur dynamique. Les rejets seront transportés par aéroglisseur rejets vers l'entrée broyeurs pour le ré-broyage. Le produit fini (ciment) sera acheminé par aéroglisseur principal vers les silos de stockage à l'aide des élévateurs à godets sur l'air lift.

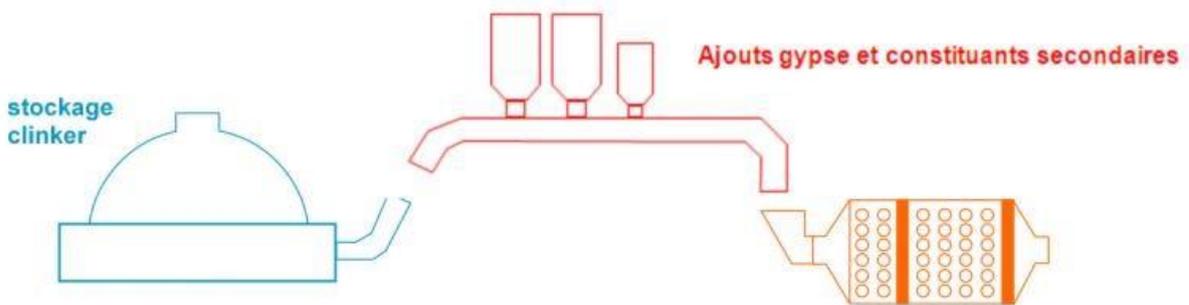


Figure I. 12 Broyage ciment.

I.6.3.5 Zone V : Expédition

Le ciment est stocké dans huit silos avec une capacité de 500 Tonnes chacun, L'expédition du ciment se fait en sac ou en vrac.

Expédition en sac : Elle est réalisée par quatre ensacheuses avec un débit de 90 Tonnes/heure. Chacune possède huit becs pour le remplissage des sacs. Les sacs de 50 kg sont chargés sur des camions à bennes.

Expédition en vrac : Le remplissage se fait par un flexible branché au fond d'une trémie et qui est dirigé par l'opérateur pour le mettre à l'intérieur de la bouche de cocotte des camions pour les remplir. (La figure I-13) résume la partie expédition.

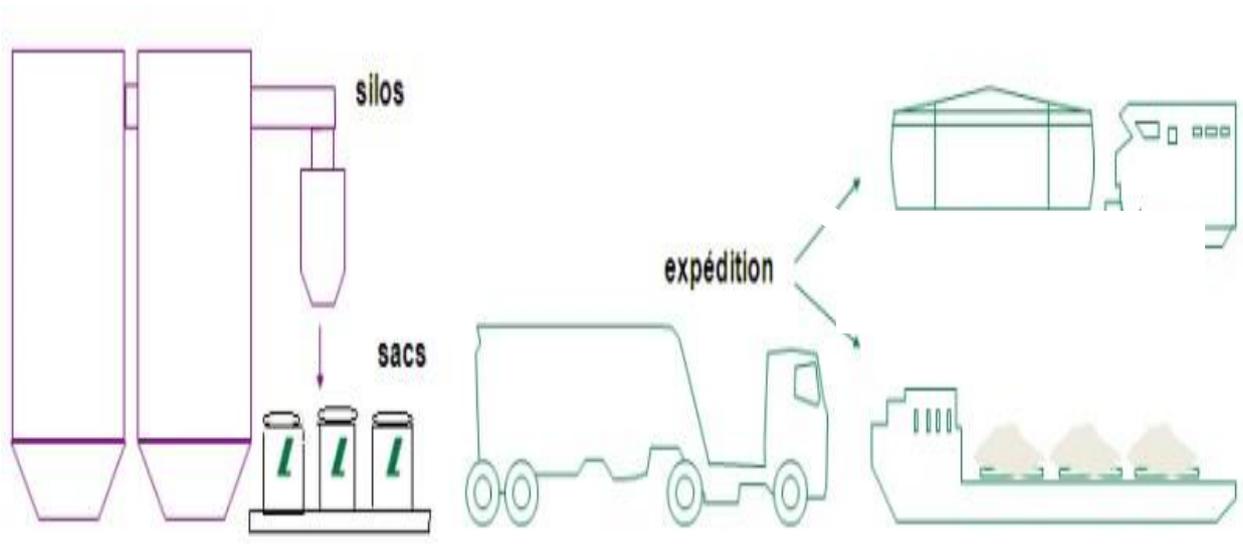


Figure I. 13 Expédition en sac ou vrac.



Figure I. 14 Expédition en vrac.



Figure I. 15 Expédition en sac.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit le processus de fabrication du ciment fabriqué au sein de la cimenterie de Meftah.

Afin de mieux cerner ce processus, nous l'avons divisé en Cinq (5) zones principales, en commençant par la partie qui nous intéresse le plus à savoir la dépoussiérage qui représente l'ENVIRO-CARE. C'est cette partie sur laquelle se basera notre travail de migration et de supervision.

Chapitre II : Généralités sur le Four rotatif

II.1 Introduction

Le four rotatif fait référence au four de calcination rotatif, il est largement utilisé dans Les domaines des matériaux de construction, sont très utilisés dans l'industrie du ciment de la métallurgie, de l'industrie chimique et des projets de protection de l'environnement. Selon l'apparence, il est divisé en four rotatif à diamètre variable et four rotatif de même diamètre ; Selon les différents effets de l'approvisionnement énergétique, il est divisé en four rotatif à gaz, four rotatif à charbon et four rotatif à combustible mixte,

Dans la première partie de ce chapitre nous allons faire la présentation de four rotatif de cimenterie et mécanique général, au fine matériel automatisme et système d'archivage.

II.2 Présentation du four rotatif de cimenteries

Les fours rotatifs des cimenteries permettent la cuisson des matériaux de base pour l'obtention de clinker. Le four est un long cylindre avec une longueur de 84m et 5.6m de diamètre incliné en rotation permanente permettant le déplacement du matériau. Un bruleur chauffe le matériau, et les gaz chauds circulent dans le sens contraire du déplacement du matériau. La virole du four rotatif se compose de plusieurs tronçons de tailles différentes assemblés par soudage et revêtus de briques réfractaires. Chaque tronçon du four a une épaisseur spécifique et les matériaux sont choisis pour résister aux contraintes dues aux charges mécaniques et thermiques appliquées. La température de service à l'intérieur du four est 1400°C et croît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'entrée, elle est contrôlée en permanence à l'extérieure de la virole au moyen d'un appareil de mesure approprié et ayant une inclinaison de l'ordre de 3 % par rapport à l'horizontale, imprimé par une translation axiale assurée par une butée mobile entraînée par un pousseur hydraulique. Le four tourne à des vitesses de rotation comprises entre 1.8 et 2.2 tr/min. [1]



Figure II. 1 Four rotatif

II.3 Description des composants du four

II.3.1 Couronne

La Couronne est la partie principale du four rotatif, qui actionne le cylindre entier de fonctionner pendant une longue période. Il est l'un des éléments clés de la transmission. La qualité de l'installation de la grande couronne dentée affecte directement la finesse de la motorisation du four rotatif et le fonctionnement du four rotatif. La stabilité, la durée de vie de la cocotte au four et le taux de fonctionnement du four rotatif, donc la clairance de l'anneau de vitesse lors de l'installation est trop grande ou trop petit, qui affectera le four rotatif. [2]



Figure II. 2 Couronne du four rotatif

II.3.2 Bandage

Le bandage est un anneau métallique à section rectangulaire, installé sur la virole du four dans les zones des paliers, leurs nombres diffèrent d'un four à un autre selon sa conception.



Figure II. 3 Bandage du four rotatif

II.3.2.1 Rôle du bandage

Le rôle principal du bandage est de protéger la virole du four de l'usure, de minimiser le frottement entre le four et ses paliers tout en conservant la forme cylindrique de la virole pour éviter les fissurations et la détérioration des briques réfractaires. Le bandage permet aussi de diminuer le flux de chaleur transmis de la virole aux galets supports. Il existe deux types de bandage : le bandage flottant et le bandage cranté [2]

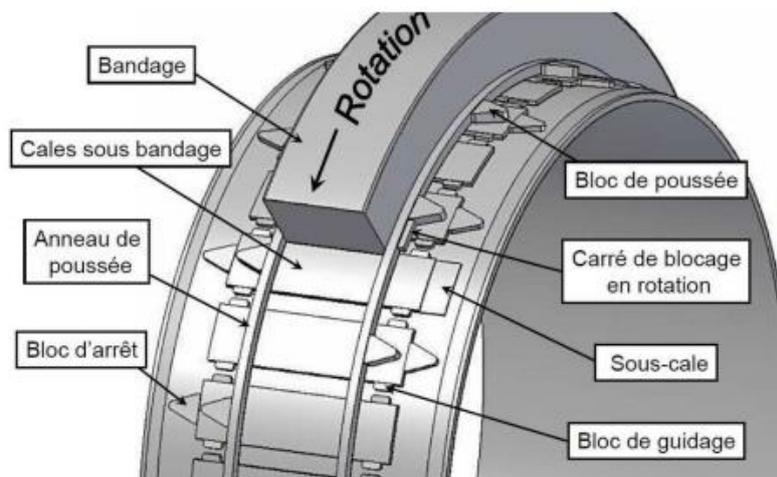


Figure II. 4 Descriptions du bandage

II.3.3 Virole

La virole est un ensemble de tôles dont le rayon de courbure coïncide avec le rayon du four, les tôles sont soudées deux à deux tout en évitant une continuité de soudure dans la direction axiale. Propriétés des tôles : les tôles sont en acier de construction de composition :

Carbone 0.2% ; manganèse 1% ; d'autres composants < 0.01 % L'acier utilisé présente une excellente conformation, une excellente soudabilité, mais une mauvaise tenue en corrosion, puisqu'il n'est pas allié en chrome, nickel et molybdène.

La virole du four doit travailler dans une zone de température modérée inférieure à 450°C, car au-delà de cette température les propriétés mécaniques sont dégradées et présentent le risque de déformation permanente. La durée de vie de la virole est généralement entre 20 ans à 30 ans, mais la mauvaise tenue en corrosion peut entraîner des changements de viroles en quelques années. La virole de sortie du four est plus sollicitée thermiquement et peut conduire à des changements tous les 5 ans [2]



Figure II. 5 Virole d'un four rotatif

II.3.4 Brique réfractaires

Les briques sont en matériau céramique réfractaires, pouvant résister à une température de 900°C à l'entrée du four, jusqu'à une température au voisinage de la flamme de 1450°C à la sortie du four. La nature du matériau des briques change selon leur position axiale dans le four. Elles permettent de protéger la virole en limitant le transfert de chaleur, préserver l'efficacité énergétique en diminuant les pertes de chaleur. [2]

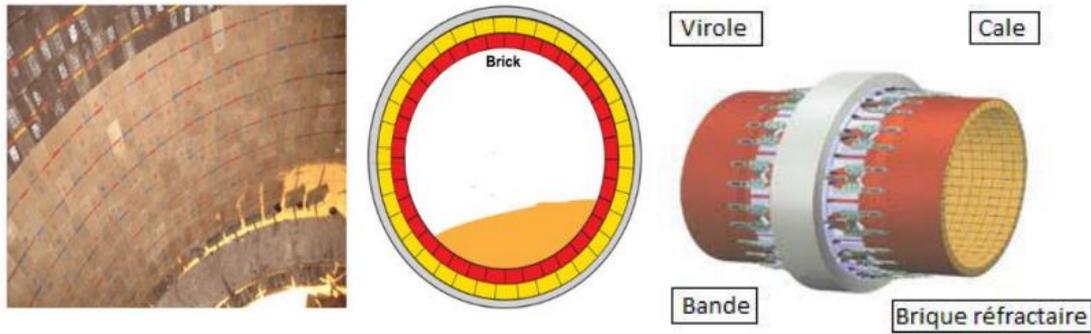


Figure II. 6 Brique réfractaire de four rotatif.

II.3.5 Galets

Les galets sont des formes cylindriques d'acier pleines, jouant le rôle de support du four. Ils permettent de minimiser le frottement par un faible coefficient de frottement de surface, ils sont de même nature que les bandages avec lesquels ils sont en contact, ce qui permet d'avoir une usure uniforme. Le galet est composé d'un arbre et d'un corps, l'arbre est assemblé avec le corps avec un ajustement serré, l'assemblage se fait par frettage. Le galet est soutenu par deux palier, sur lequel est interposé un coussinet ou bague de frottement, le contact est constamment lubrifié par bain d'huile, qui est refroidie par un système de refroidissement à eau. [2]



Figure II. 7 Galet d'un four rotatif

II.3.6 Butée hydraulique

La butée hydraulique est un ensemble vérin hydraulique et butée, qui a pour but soit de garder la position axiale du four, soit de permettre la translation longitudinale du four. La translation longitudinale du four est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement et une bonne durée de vie des bandages et galets. Le bandage et le galet sont toujours en contact, la translation

en continue du bandage par rapport au galet permet de répartir l'usure de surface et donc d'assurer un bon état de surface et un contact optimal du galet/bandage. Le mouvement axial du four est périodique, il est composé : d'un mouvement de montée, assuré principalement par la butée qui est entraînée par le vérin hydraulique, lequel est relié à une centrale hydraulique, sa durée nominale est quatre heures, puis d'un mouvement de descente dont la durée est huit heures. Le déclenchement de la pompe hydraulique permet l'accumulation de débit dans le vérin, ainsi la montée de pression dans la chambre du piston augmente la force de poussé qui est transmise par le galet de poussée au bandage du four. Le four commence à translater et le galet de poussée le suit grâce au guidage sur les deux tiges. Quand la fin de course est déclenchée, la pompe est à l'arrêt, le four commence son cycle de descente pour atteindre la fin de course de descente et relancer le cycle de nouveau. [2]



Figure II. 8 Butée d'un four rotatif

II.3.7 Joints du four

Le four est équipé de deux joints, un joint amont à l'entrée du four, et un joint aval à sa sortie. Le rôle principal des joints est d'assurer l'étanchéité du four face à l'entrée d'air froid. [2]

II.3.8 Plaques nose-ring

Dans la sortie du four, la température de matière atteint 1450°C, il s'avère nécessaire de protéger la virole, et d'assurer le maintien axial des briques à cause de leur poids et la dilatation thermique. [2]

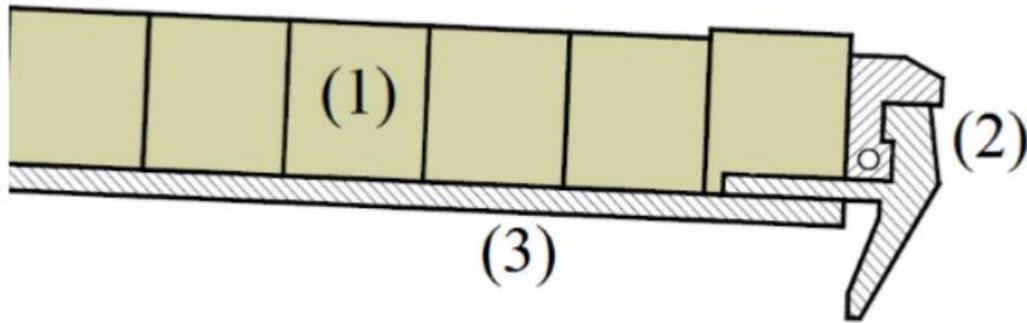


Figure II. 9 Plaque nose-ring

(1) : Briques de la sortie du four.

(2) : Plaque nose-ring.

(3) : Virole de sortie du four.

II.4 Brûleur du four rotatif

L'énergie représente 30 à 40% du prix de revient du ciment. Un système qui permet une utilisation efficace de plusieurs types de combustibles donne un résultat encourageant. Une utilisation efficace (maîtrise) des brûleurs demande que le combustible ne précarise pas la qualité du clinker, non polluant et ne crée pas des problèmes de fonctionnement dans le four, mis à part le type de combustible utilisé.

Le brûleur à quatre canaux à combustion mixte au charbon et au gaz est adopté. Le réglage est flexible et pratique, et l'opération est gratuite. La vitesse d'éjection de chaque conduit d'air peut être ajustée à volonté pendant le fonctionnement, et toute flamme requise dans différentes conditions de four peut être appelée. La température de calcination du four est facile à contrôler.



Figure II. 10 Brûleur dans le four

II.5 Enoncé du problème

Le revêtement en briques réfractaires du four rotatif peut être endommagé à cause d'une ovalité excessive de la virole. La chute des briques réfractaires altère l'isolation thermique et provoque l'expansion des taches rouges dans la structure métallique. La rotation continue du four, en présence de ces taches rouges, peut endommager de manière irréversible la structure métallique. La prévention des chutes des briques et la programmation des arrêts permettent de réduire les coûts de la maintenance qui comprennent : le temps d'arrêt de la production ; le coût de la main d'œuvre ; le coût du revêtement (briques et mortier) ; le coût de la sécurité. La mesure directe de l'ovalité est une tâche difficile vue les conditions de fonctionnement du four rotatif qui tourne en permanence et la température extérieure qui dépasse les 350 °C rendant dangereux tout contact direct avec la structure. Une modélisation par éléments finis permet l'évaluation de la déformation du four et la prédiction de son comportement en fonction des conditions de marche même anormales et aide à la prise de décision [1]

II.6 Quelques phénomènes des problèmes dans le four

II.6.1 Dilatation diamétrale

Si le bandage est trop serré sur la virole sera suite à un préchauffage trop rapide et un jeu à froid calculé trop juste et produisent des conséquences comme :

- Déformation permanente de la virole
- Risque de perte de briquetage
- Risque de problèmes au niveau des fixations
- Et par la suite, risque de fissures de la virole

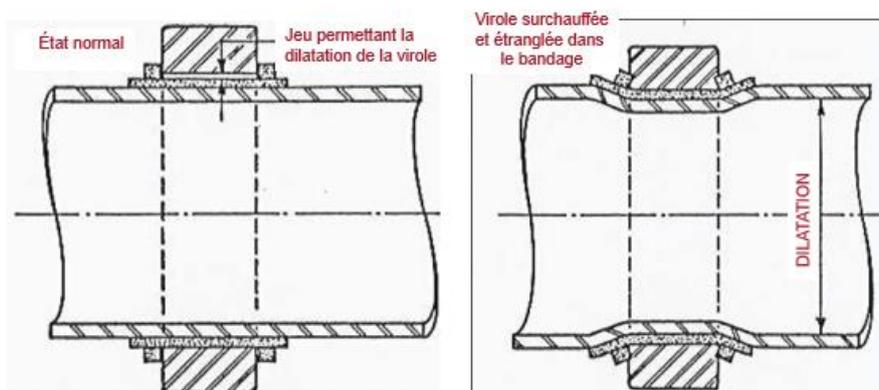


Figure II. 11 Dilatation diamétrale dans la virole

II.6.2 Excentrique ovalisation

Excentrique ovalisation est la combinaison des deux états géométriques ovalisés de la virole. De point de vue expérimental, il est difficile de dissocier ces deux phénomènes sans faire des traitements numériques. De point de vue mécanique. On note que leurs effets mécaniques sont tout à fait différents.

La tombée des briques réfractaire est due principalement aux phénomènes d'ovalisation de la virole et à la création des points chauds comme le montre la figure II.12. [3]



Figure II. 12 Excentriques ovalisations

II.6.3 Vilebrequin mécanique

Ce phénomène est dû principalement à l'excentricité et à l'ovalisation provoquée par la chute des briques réfractaires et du croutage. Il peut provoquer une surcharge sur les galets

En cas de vilebrequin « extrême », pendant la rotation du four, le bandage peut même ne plus porter sur ses galets sur une section de circonférence. [3]

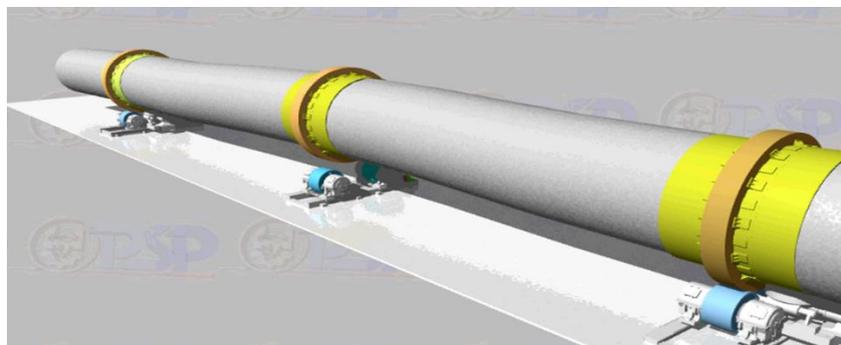


Figure II. 13 Vilebrequin mécanique

II.7 Puissance du four

La puissance P absorbée par le four est la somme des puissances nécessaires pour vaincre les différents éléments résistants :

- la charge à mettre en mouvement (P_1).
- les forces de frottement entre galets et palier (P_2).
- les forces liées au contact entre galets et bandages (P_3).

On a donc :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{II-1})$$

Une approche théorique permet d'évaluer ces puissances, avec les formoles suivant :

➤ En générale, P_1 représente 85% de la puissance totale. On a :

$$P_1 = 86.4 (D \sin \theta)^3 l N c \quad (\text{II-2})$$

Avec :

θ : $\frac{1}{2}$ angle de talus de matière vu du centre du four défini sur la figure(II.5).

N : (tr/min) vitesse de rotation.

c : coefficient dont la valeur est fonction de l'angle de talus naturel.

- $c = 0.76 \cdot 10^{-3}$ Pour un angle de talus naturel de 35° (four a ciment).
- $c = 0.92 \cdot 10^{-3}$ Pour un angle de talus naturel de 40° .
- $c = 1.8 \cdot 10^{-3}$ Pour les fours avec dispositif intérieur de relevage de la matière.

➤ Les puissances P_1 et P_2 sont la somme des puissances partielles calculées pour chaque appui.

$$P_2 = 0.58 * 10^{-4} \frac{Q_f}{\cos \alpha} \frac{D_b * D_p}{D_g} n f \quad (\text{II-3})$$

$$P_3 = 5.7 * 10^{-8} \frac{Q_f}{\cos \alpha} \frac{D_b * D_g}{D_g} n \quad (\text{II-4})$$

Avec :

Q_f : Poids du four rotatif pour chaque appui.

α : en générale 30°.

D_b (m) : diamètre du bandage.

D_g (m) : diamètre du galet.

D_p (m) : diamètre du palier.

f : coefficient de frottement dont la valeur dépend du type de palier.

- $f=0.02$ pour un palier lubrifié à l'huile.
- $f=0.06$ pour un palier lubrifié à la graisse.
- $f=0.01$ pour un palier à roulement à billes.

➤ une formule simplifiée pour la puissance absorbée a été proposée :

$$P = 16.7 * 10^{-2} D^2 \quad (\text{II-5})$$

Compte tenu des aléas de production qui peuvent conduire à des puissances absorbées anormalement élevées dues :

- soit à la formation de collages et d'anneaux.
- soit à la destruction partielle des anneaux et à la formation de balourds.
- soit aux déformations en vilebrequin de la virole.

Il est d'usage courant de prendre des coefficients de sécurité de 2 à 2,5 par rapport aux résultats des calculs effectués pour la détermination de la puissance à installer.

Note : Il s'agit de puissance réellement installés, différente de la puissance à installer, La puissance réellement installée intègre la notion de standardisation des puissances moteur au sein d'une usine ou d'une société.

Notre four à :

trois appuis ... $D=5.6$ m, $L=84$ m [5]

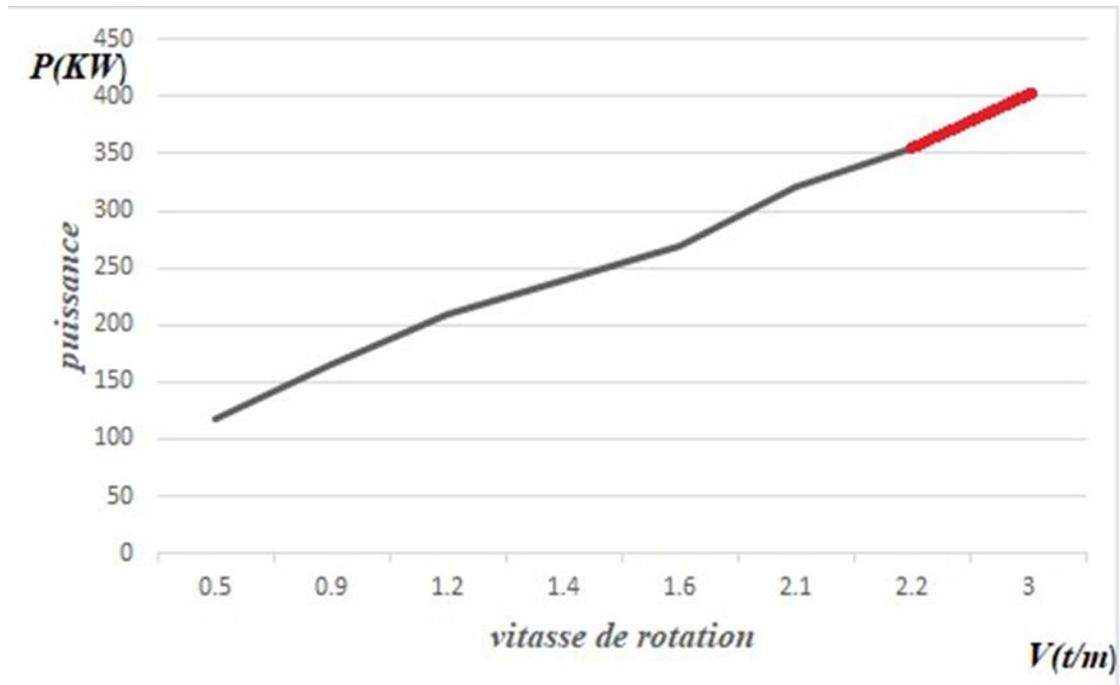


Figure II. 14 Puissance de four en fonction de vitesse de rotation.

D'après la Figure(II.14) qui représente la puissance de four in fonction de vitesse de rotation, nous remarquons que l'augmentation de la vitesse de rotation résulte une augmentation de puissance de four. Ceci dans le but d'avoir la puissance du moteur de avec laquelle on va démarrer notre étude dans le chapitre IV.

II.8 Système d'archivage

Les progrès scientifiques et l'évolution technique ont permis aux hommes de concevoir des machines réduisant au strict minimum leurs efforts physiques. Ces machines ont été pendant longtemps conduites et surveillées par l'homme, exigeant ainsi de lui une vigilance intellectuelle permanente, mais grâce à l'électronique, l'informatique et aux énergies électriques, pneumatiques et hydrauliques qui progressent à pas de géant, permettant ainsi de libérer l'homme de cette contrainte intellectuelle mais aussi pour le remplacer dans l'exécution de certaines tâches.

II.8.1 SIMATIC S7-400

L'automate S7-400 est un automate programmable. Presque toutes les tâches automatisées Il peut être résolu en sélectionnant les composants S7-400 de manière appropriée.

Le module S7-400 est emballé et peut être installé sur le châssis. Le cadre d'extension peut être utilisé pour mettre à niveau le système. [4]



Figure II. 15 SIMATIC S7-400

II.8.1.1 Caractéristiques de S7-400

Les caractéristiques qui font du SIMATIC S7-400 un super automate sont :

- Le S7-400 se prête tout particulièrement aux tâches exigeant le traitement de gros volumes de données dans l'industrie des procédés. Des vitesses de traitement élevées ainsi que des temps de réaction déterministes assurent des cadences machine rapides dans l'industrie manufacturière.
- Modularité : le bus de fond de panier performant et les interfaces intégrables sur la CPU permettent une exploitation de nombreuses lignes de communication.
- Constitution : le S7-400 peut être configuré sans règles de placement par simple adjonction de module .Il peut également fonctionner sans ventilation et permet le changement de modules d'E/S sous tension.
- Gamme de CPU : 7 modèles couvrent toutes les gammes de performance.
- Diagnostic : le système contrôle en permanence le bon fonctionnement du système.

- Multitraitement : l'exploitation simultanée de plusieurs CPU permet de fractionner les tâches spécialisées ainsi que le traitement prioritaire des tâches à temps critique.
- Le stockage sur la CPU de toutes les données du projet, y compris la table des mnémoniques et les commentaires, simplifie et facilite les interventions de maintenance et de dépannage

Les fonctionnalités et tous les avantages d'API S7-400 nous ont permis de choisir sans hésitation l'automatisation avec ce dernier, la figure suivante montre ses différents composants. [4]

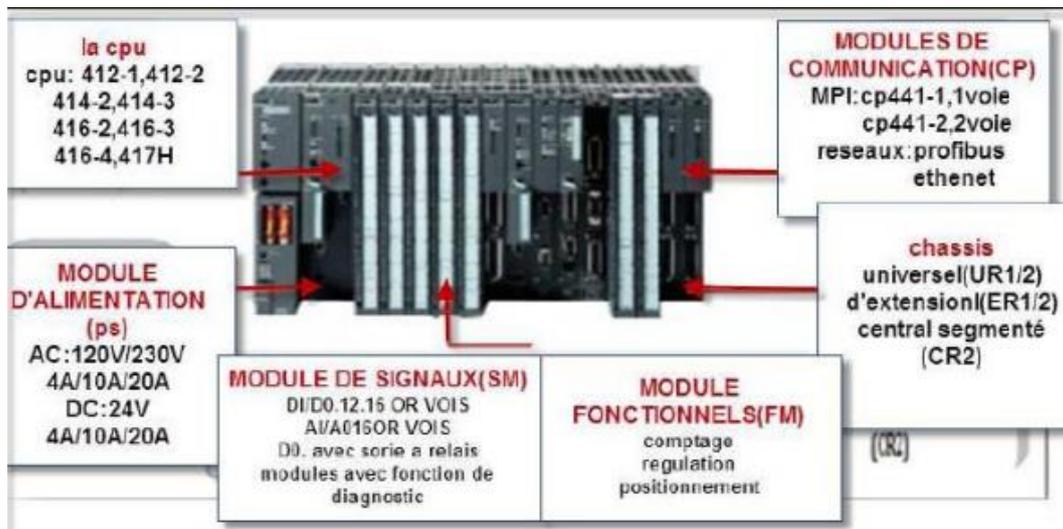


Figure II. 16 Contrôleur SIMATIC S7-400

II.8.2 SIMATIC WIN CC

SIMATIC Win CC est un système de supervision de processus modulaire qui offre des fonctions performantes de surveillance d'automatismes. Win CC offre des fonctionnalités SCADA complètes sous Windows pour tous les secteurs, depuis la configuration monoposte jusqu'aux configurations multipostes distribuées avec serveurs redondants et solutions multi-sites avec clients Web.

Il existe deux variantes de base du logiciel système Win CC :

- Pack complet Win CC (RC : licence d'exécution et de configuration).
- Pack exécutif Win CC (RT : licence d'exécution). [5]

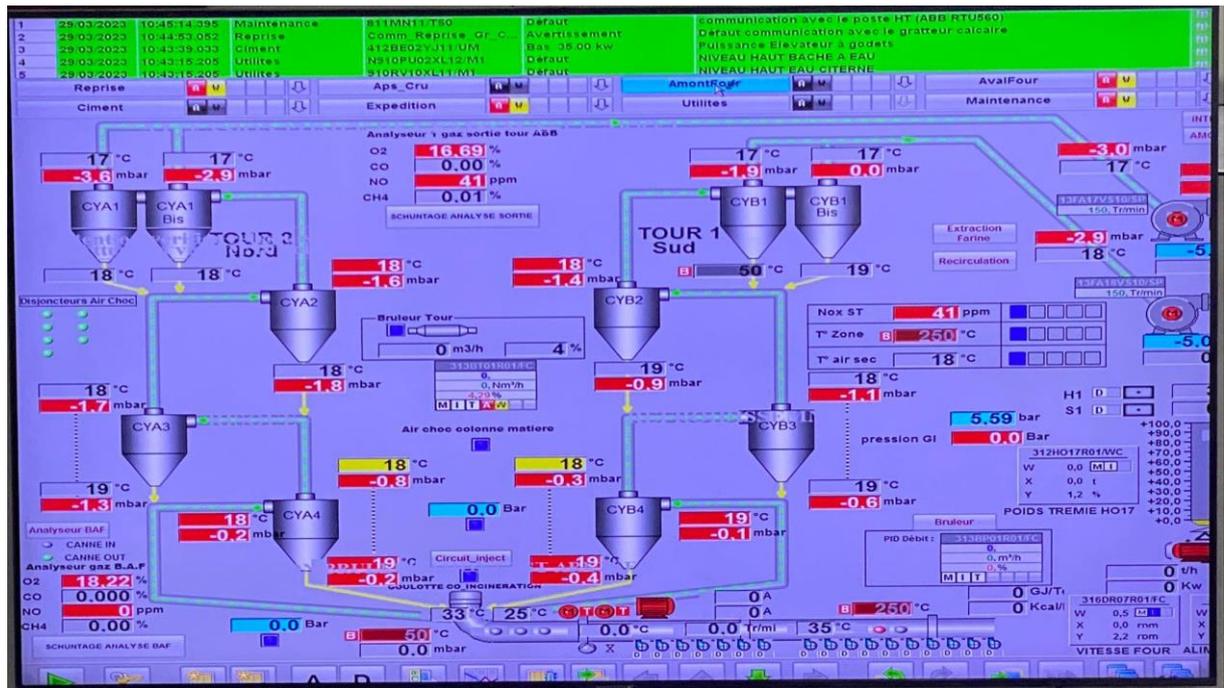


Figure II. 17 Création des vues en utilisant Graphics Designer

II.8.2.1 Caractéristiques de WIN CC

- Conçue dès le départ pour une utilisation internationale, l'interface de configuration de Win CC peut être commutée entre plusieurs langues, compris quatre langues de configuration.
- Dans tous les domaines et secteurs de la construction de machines et d'installations.
- Tous les canaux de communication essentiels au couplage avec les contrôleurs SIMATIC, ainsi que pour Ethernet IP et MODBUS TCP/IP et les canaux non propriétaires tels que PROFIBUS/PROFINET et OPC, sont compris dans les fournitures de Win CC.

Des Exemples des courbes affichées par le système Win CC dans le SCMI :

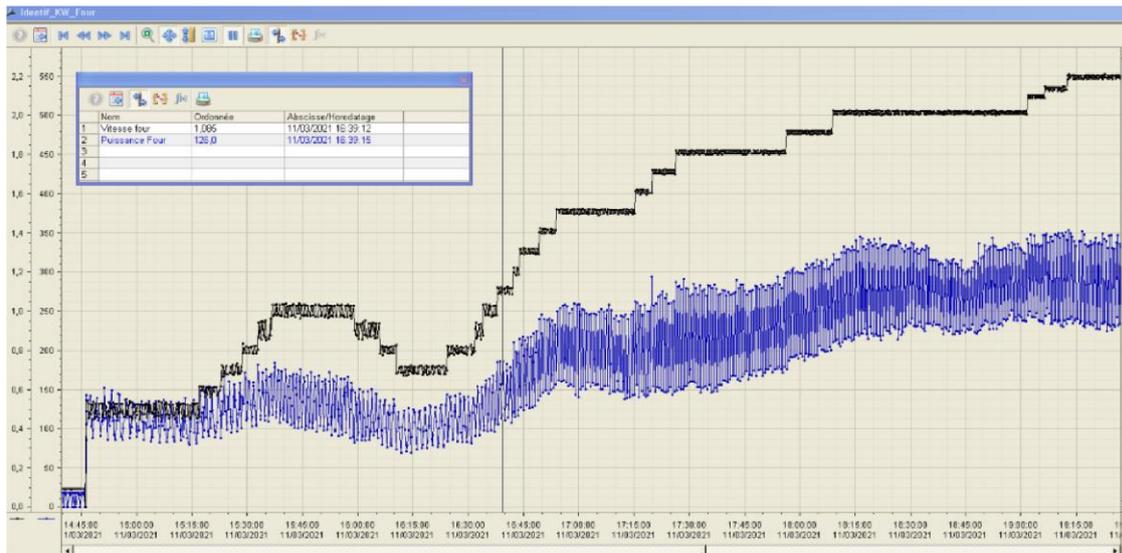


Figure II. 18 Puissance en fonction de la vitesse four.

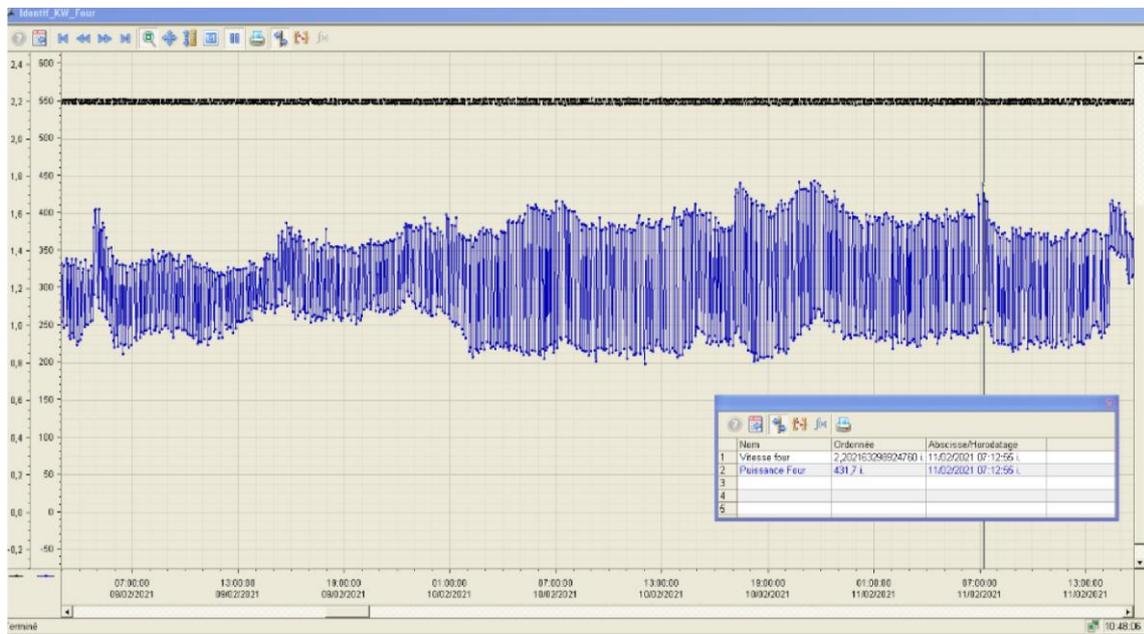


Figure II. 19 Exemple de la courbe de la puissance four en marche normale.

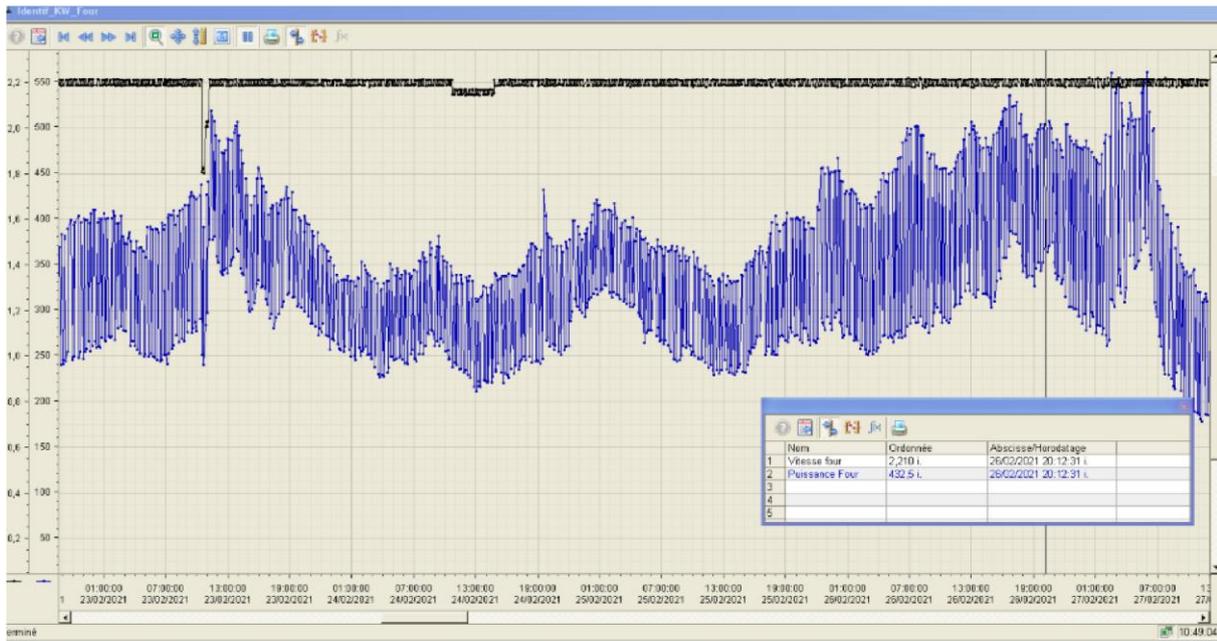


Figure II. 20 Exemple de la courbe de la puissance dans le cas d'une perturbation extrême de la charge.



Figure II. 21 Exemple des courbes de la puissance four et courants et tensions.

II.9 Conclusion

Dans cette partie on a présenté le four rotatif et ces composants, et on a cité quelques phénomènes et problèmes qui se produisent dans le four

Aussi, on à savoir que le système automatique été utiliser pour déterminer la puissance de moteur du four.

Les résultats obtenus indiquent que l'augmentation de la vitesse de rotation résulte une augmentation de puissance de four jusqu'à certain valeur maximale de vitesse de rotation 2.2 tr /min et une puissance du moteur de four 350 kW.

Dans le futur proche nous voulons augmenter cette vitesse de rotation jusqu'à 3 tr/min pour obtenir une puissance de 400 kW.

Chapitre III : Généralités sur les moteurs électriques

III.1 Introduction

Une machine électrique est un dispositif électromagnétique permettant la conversion d'énergie en travail ou en énergie mécanique, ou qui fournit de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie.

Les machines électriques qui produisent une énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont appelées dynamo, alternateurs ou générateurs suivant la technologie utilisée. Toutes les machines électriques étant réversibles, la distinction moteur /générateur ne se fait que sur l'usage final de la machine.

Comme toutes les machines électriques tournantes, les moteurs électriques sont constitués d'un stator (partie fixe) et d'un rotor (partie mobile).

Il existe des moteurs électriques à courant continu (DC) et des moteurs électriques à courant alternatif (AC). Dans la catégorie des moteurs à courant alternatif, on peut retrouver :

- Moteurs synchrones.
- Moteurs asynchrones.

Dans la première partie de ce chapitre nous donnerons la définition et la constitution des moteurs à courant continu et leurs principes de fonctionnements, il s'agit d'établir les différents types des moteurs à courant continu. Ensuite, nous donnerons les avantages et les inconvénients et leur domaine d'application.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous donnerons la définition et la constitution des MAS a courant alternatif et leurs principes de fonctionnements, il s'agit d'établir les différents types des MAS à courant alternatif, ensuite nous donnerons les avantages et les inconvénients de ces machines et leur domaine d'application.

III.2 Généralités sur les moteurs à courant continu

III.2.1 Définition

Les moteurs CC sont également appelés moteurs à courant continu, leur contrepartie directe étant les moteurs CA ou également appelés moteurs à courant alternatif. Comme son nom l'indique, un moteur à courant continu peut être alimenté par du courant continu provenant d'une source de tension continue, par exemple une batterie de 12V. L'illustration du haut montre la vue arrière et la vue avant d'un moteur à courant continu. Pour mieux expliquer la structure et le fonctionnement, nous avons choisi un design de moteur très simple. [6]

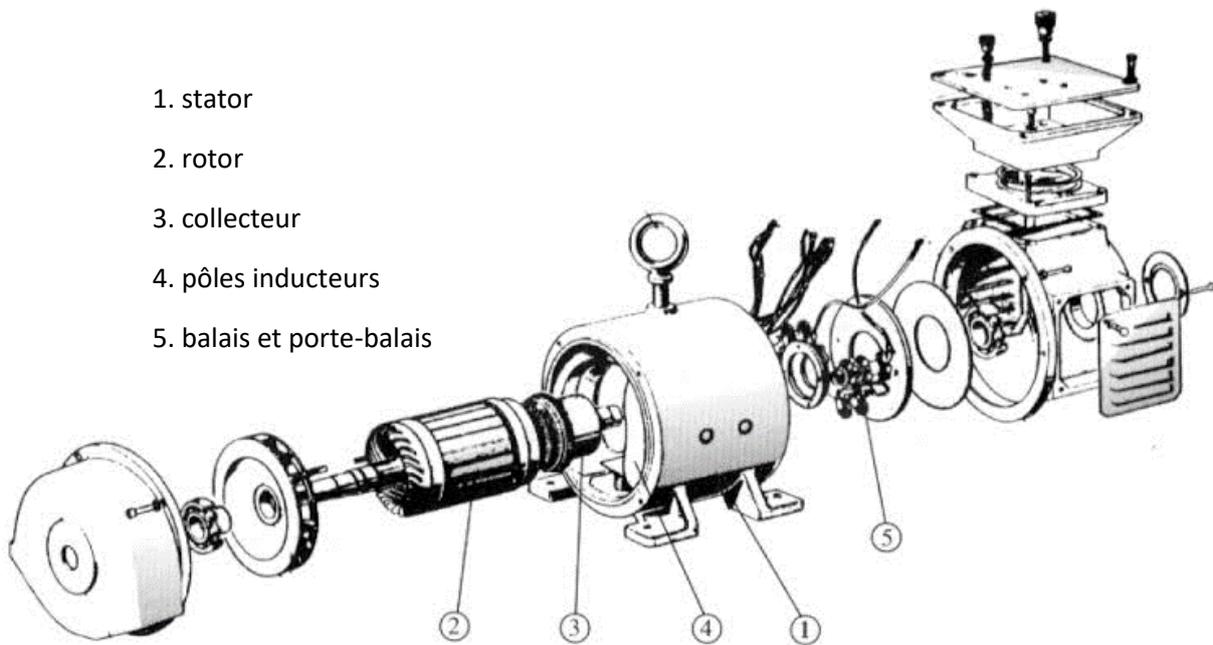


Figure III. 1 Schéma de moteur a CC

III.2.2 Description et constitution du moteur à courant continu

Comme tout moteur électrique, le moteur à courant continu se compose d'un rotor et d'un stator. Contrairement aux moteurs à courant alternatif, le stator non rotatif du moteur à courant continu est composé d'aimants permanents. Les aimants permanents sont fixés sur une enveloppe cylindrique en tôle. Le rotor en rotation est constitué de tôles magnétiques fines individuelles. Le rotor est entouré d'enroulements en fil de cuivre. Les différents bobinages sont reliés au collecteur. Deux brosses pour le pôle positif et le pôle négatif frottent sur le commutateur rotatif. Les brosses peuvent par exemple être constituées de tiges de charbon ou de métal. Pour améliorer le contact, les broches de carbone sont pressées sur le collecteur par

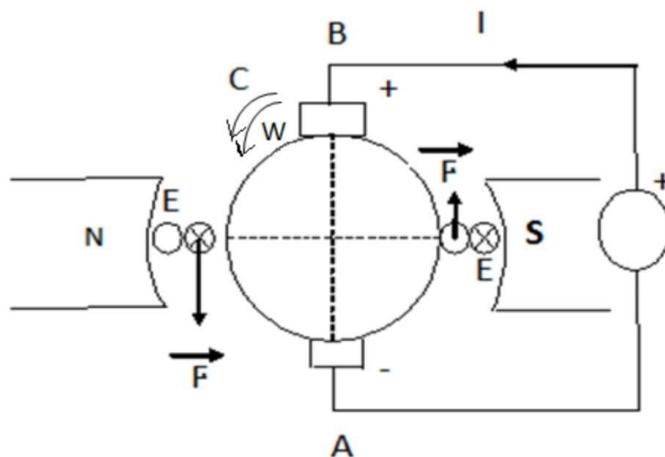
de petits ressorts. Les balais sont reliés aux pôles positif et négatif pour la tension continue. Contrairement à un moteur à courant alternatif, qui possède généralement trois bornes pour l'alimentation électrique, le moteur à courant continu ne possède que deux bornes pour une tension continue. [6]

III.2.3 Principe de fonctionnement du moteur à courant continu

Lorsque le bobinage d'un inducteur du moteur est alimenté par un courant, sur le même Principe qu'un aimant permanent, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction nord-sud. Une spire capable de tourner sur l'axe de rotation est placée dans le champ Magnétique.

De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordé électriquement à un demi-Collecteur et alimenté en courant continu via deux balais.

D'après la loi de Laplace (équation et figure III. 2), tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force. Les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces égales mais de sens opposé en créant un couple moteur, l'induit se met donc à tourner



$$dF = I(dl \wedge B)$$

Figure III. 2 Principe de fonctionnement de MCC

III.2.4 Types des moteurs CC

III.2.4.1 Moteur à excitation indépendante

Comme dans le cas des génératrices à excitation indépendante, le bobinage inducteur des moteurs à excitation indépendante est raccordé à une alimentation à courant continu séparée.

Par conséquent, le courant qui alimente l'inducteur est indépendant de celui qui alimente l'induit. [7]

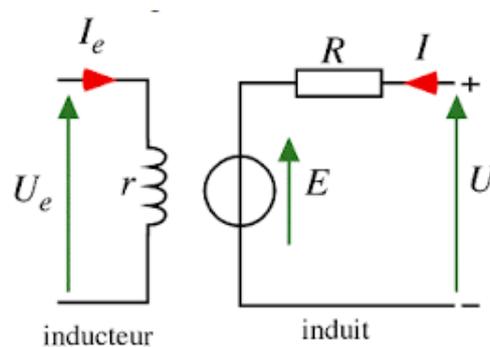


Figure III. 3 Schéma d'un moteur à excitation indépendante

III.2.4.2 Moteur à aimants permanents

Les moteurs à aimants permanents comportent des aimants permanents plutôt que des enroulements inducteurs pour produire le champ magnétique du stator. La figure III.4 représente le schéma d'un tel moteur.

Ces aimants assurent une intensité de champ constante, ce qui amène des caractéristiques similaires à celles des moteurs à excitation en dérivation. [7]

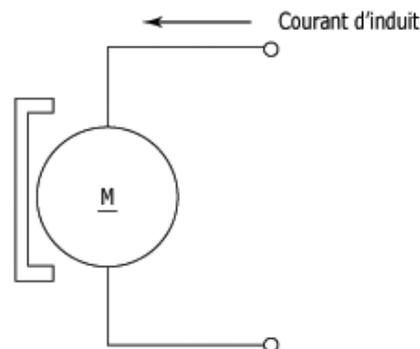


Figure III. 4 Schéma d'un moteur à aimants permanents

III.2.4.3 Moteur à excitation en série

La constitution électrique du moteur série comprend tous les éléments du circuit en série, les enroulements d'induit et les inducteurs. Le moteur série se caractérise par un couple élevé au démarrage et sa vitesse très variable en fonction de la charge, ce qui en fait un moteur instable. [7]

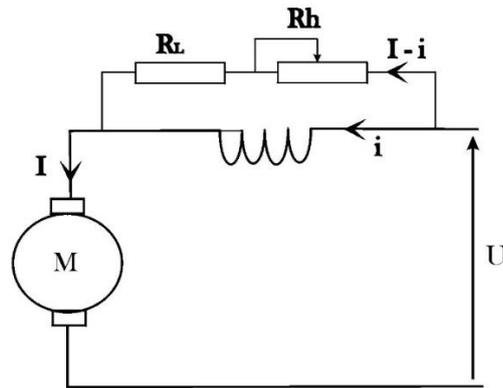


Figure III. 5 Schéma d'un moteur à excitation série

III.2.4.4 Moteur à excitation en dérivation ou shunt

Dans un moteur à excitation en dérivation, le circuit inducteur est branché en parallèle avec l'induit et, de ce fait, alimenté sous la même tension. [7]

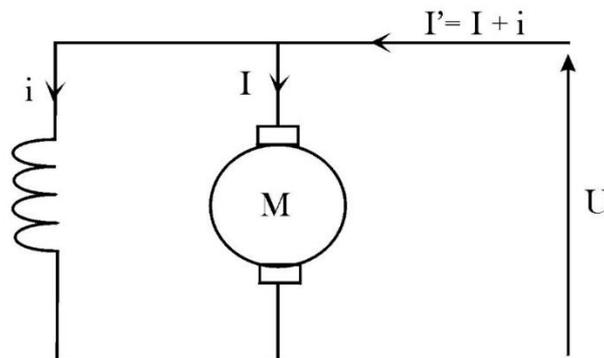


Figure III. 6 Schéma d'un moteur à excitation shunt

Le moteur à courant continu à excitation par aimant permanent est le plus répandu en raison de sa structure simple. Le moteur à courant continu à excitation séparée et le moteur à courant continu auto-excité n'ont pas d'aimants permanents dans le stator ; à la place, ces moteurs à courant continu utilisent des électroaimants dans le stator. Dans les moteurs à courant continu auto-excités, la tension pour l'électroaimant est utilisée directement à partir de la tension continue. Les moteurs à courant continu à excitation séparée utilisent à la place une tension supplémentaire qui peut être réglée indépendamment de la tension continue du moteur à courant continu. Les moteurs à courant continu sans balais ou moteurs BLDC sont l'équivalent direct des moteurs à courant continu. Comme leur nom l'indique, les moteurs BLDC n'ont pas de balais, et donc pas de commutateur. Les moteurs sans balais font partie des moteurs à courant alternatif. Les moteurs à courant continu sans fer ou sans encoches n'ont pas d'encoches dans le rotor, c'est-à-dire pas de dents autour desquelles sont enroulés les bobinages. Les enroulements sont donc pour ainsi dire enroulés autour d'air. C'est pourquoi on parle aussi d'enroulement dans l'entrefer. [7]

III.2.5 Bilan de la puissance du moteur CC

Les pertes dans la machine à courant continu sont subdivisées en différentes catégories

Qui sont :

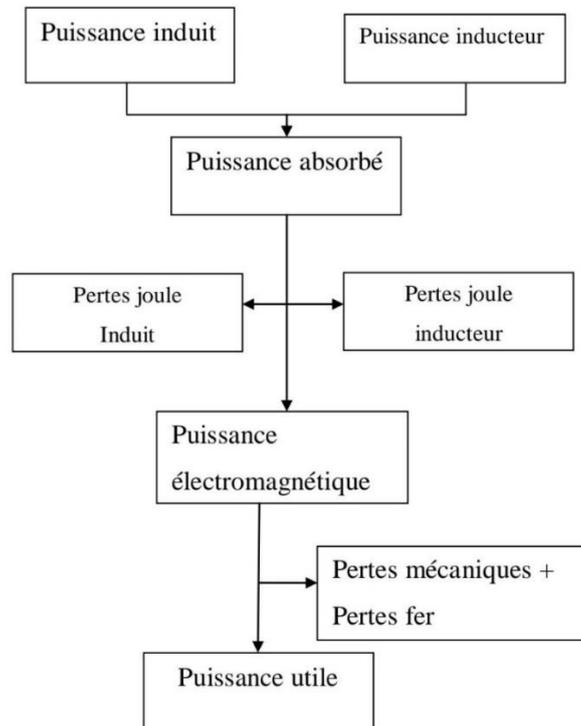


Figure III. 7 Bilan de puissance du moteur CC

III.2.6 Avantages et inconvénients du moteur à courant continu

Comme les moteurs à courant continu sont fabriqués en très grandes quantités dans le cadre d'un processus entièrement automatisé, ils sont très bon marché. Dans la plupart des cas, des ferrites bon marché sont utilisées à la place des aimants néodyme-fer-bore afin de maintenir les coûts de fabrication à un niveau bas. Les aimants les plus faibles ont un rendement plus faible et une densité de puissance plus faible. Il existe toutefois des moteurs à courant continu de qualité supérieure qui ont un bon rendement. Mais ils sont alors comparables aux moteurs à courant alternatif en termes de coûts. Un inconvénient majeur est la durée de vie limitée due à l'usure par frottement des balais. Ceux-ci limitent également la vitesse de rotation des moteurs à courant continu. Ce que l'on appelle le feu des balais, qui se produit entre les balais et le collecteur, limite également les possibilités d'utilisation des moteurs à courant continu. [8,9]

III.2.6.1 Les Avantages

- Alimentation aisée dans les systèmes transportant leur réserve d'énergie (autonome) : pile ou batterie.
- Une large gamme de variation de vitesse au-dessus de la vitesse de régime.
- Un fonctionnement avec des couples constant ou variables.
- Une accélération, un freinage et une inversion de sens de rotation très rapide, ce qui est avantageux dans le cas des appareils de levage et des machines-outils
- Une vitesse de rotation qui peut être réglée par l'intermédiaire d'un système rétroaction.
- Une facilité de récupération d'énergie (fonctionnement dans les 4 quadrants). [8,9]

III.2.6.2 Les Inconvénients :

- eu robuste par rapport à la machine asynchrone.
- Une alimentation statorique et rotorique par courant continu (pont redresseur).
- Un mauvais facteur de puissance à basse vitesse.
- Nécessite beaucoup de maintenance, notamment pour le remplacement des balais et Collecteur.
- Ne peut pas être utilisé dans des environnements explosifs, le frottement des balais sur le Collecteur engendre des étincelles.[8,9]

III.2.7 Domaine d'applications moteurs à courant continu :

Les moteurs à courant continu sont généralement utilisés pour des servomoteurs simples. L'industrie automobile est un grand domaine d'application des servomoteurs à courant continu. Les moteurs à courant continu y sont utilisés pour les clapets et les vannes. Dans le domaine du modélisme également, de nombreux moteurs à courant continu sont utilisés pour des servocommandes destinées à piloter des modèles réduits d'avions ainsi que des voitures et des bateaux télécommandés[8]

III.3 Généralités sur les moteurs asynchrones alternatifs

III.3.1 Définition

La machine asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Comme les autres machines électriques (machine à courant continu, machine synchrone), la machine asynchrone est un convertisseur électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant électrique (ici alternatif) et un dispositif mécanique. [10,18]

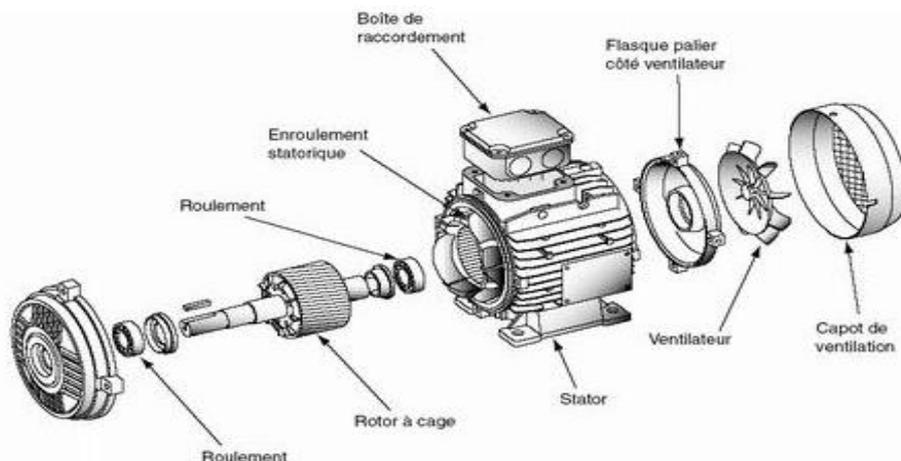


Figure III. 8 Schéma du moteur asynchrone

III.3.2 Constitution et description du moteur asynchrone

Est formé d'un :

III.3.2.1 Stator

Le stator d'un moteur triphasé (le plus courant en moyenne et grosse puissance), comme son nom l'indique, est la partie statique du moteur asynchrone. Il se compose principalement :

- Carcasse,
- Paliers,
- Flasques de palier,
- Ventilateur refroidissant le moteur,
- Capot protégeant le ventilateur. [11]

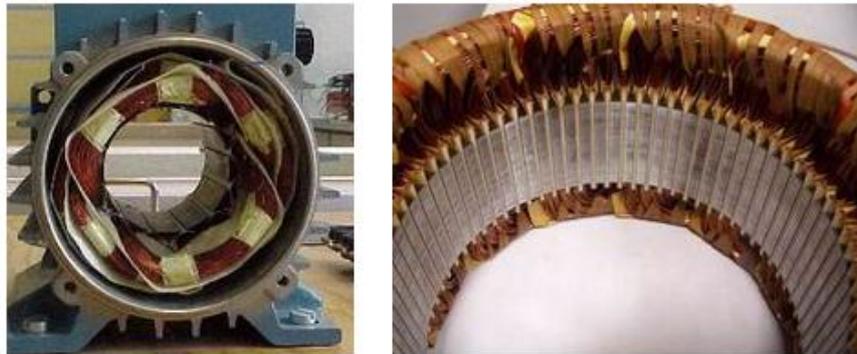


Figure III. 9 Stator de moteur asynchrone

L'intérieur du stator comprend essentiellement :

- un noyau en fer feuilleté de manière à canaliser le flux magnétique,
- des enroulements (ou bobinage en cuivre) des trois phases logés dans les encoches du noyau.

III.3.2.2 Rotor

Le rotor est la partie mobile du moteur asynchrone. Couplé mécaniquement à un treuil d'ascenseur par exemple, il va créer un couple moteur capable de fournir un travail de montée et de descente de la cabine d'ascenseur. Il se compose essentiellement :

- D'un empilage de disques minces isolés entre eux et clavetés sur l'arbre du rotor afin de canaliser et de faciliter le passage du flux magnétique.

- D'une cage d'écureuil en aluminium coulé dont les barreaux sont de forme trapézoïdale pour les moteurs asynchrones standards et fermés latéralement par deux "flasques" conductrices. [11]



Figure III. 10 Rotor d'un moteur asynchrone alternatif

III.3.3 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant (créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau) et des courants induits dans l'enroulement rotorique (lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant). Cette interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de celle du rotor.

Les bobinages statoriques, alimentés par des courants triphasés de pulsation ω , créent un champ magnétique B tournant à la vitesse $\omega_s = \omega/p$ où p est le nombre de pair de pôles au stator.

Ce champ (flux) tournant balaie le bobinage rotorique et y induit des forces électromotrices (fêm) d'après la loi de Lenz. Le bobinage rotorique étant en court-circuit, ces fêm y produisent des courants induits.

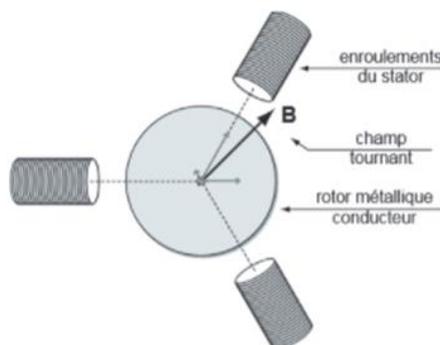


Figure III. 11 Principe de la machine asynchrone

C'est l'action du champ tournant B sur les courants induits qui crée le couple moteur. Ce dernier tend à réduire la cause qui a donné naissance aux courants, c'est à dire la rotation relative du champ tournant par rapport au rotor. Le rotor va donc avoir tendance à suivre ce champ.

Le rotor tourne forcément à une vitesse $\omega < \omega_s$ (d'où le terme asynchrone).

Pour changer le signe de ω_s (donc le sens de rotation), il suffit de permuter deux fils de phase.
[11,14]

III.3.4 Types du moteur Asynchrone

III.3.4.1 Moteur asynchrone à Rotor Bobiné

Dans un moteur à rotor bobiné, on trouve 3 enroulements (bobines) en périphérie du rotor qui sont reliés à des bagues. Sur ces bagues viennent frotter des balais qui vont alimenter le rotor.

Le moteur bobiné est utilisé pour des applications qui demandent un fort couple au démarrage et beaucoup de puissance. Ce type de moteur offre la possibilité de diminuer ou augmenter la résistance du rotor.[13,15,16]



Figure III. 12 Rotor bobiné de moteur asynchrone

III.3.4.2 Moteur asynchrone à cage

Dans un moteur à cage, appelé aussi moteur à cage d'écureuil, on trouve un rotor en circuit court. Le rotor est constitué de barres (souvent en aluminium) qui sont fixées à chaque

extrémité à un anneau. La succession de barres reliées aux 2 anneaux forment ce que l'on appelle la cage d'écureuil.

Ici, pas de balais d'alimentation, ce qui réduit les coûts d'entretien du moteur. Sa construction simple facilite également son entretien. Les moteurs à cage sont aussi considérés comme plus résistants.

C'est le moteur le plus utilisé dans l'industrie, du fait de son prix, de sa facilité d'entretien, de sa robustesse mais aussi de la possibilité de faire varier la vitesse électroniquement. [10, 11,12]



Figure III. 13 Rotor à cage

III.3.4.3 Moteur asynchrone à double cage

Il se compose de deux cages à écureuil, une pour le démarrage (à l'extérieur) et une pour le fonctionnement normal du moteur (à l'intérieur). Il combine les caractéristiques du moteur à cage avec les qualités du moteur à rotor bobiné. [10, 12,13]

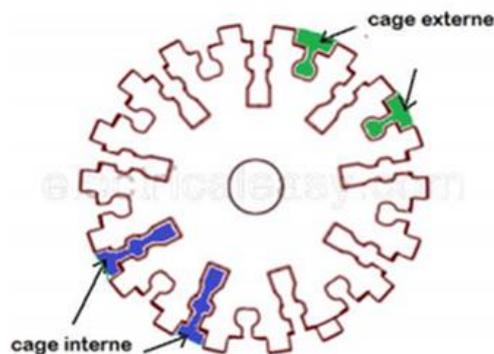


Figure III. 14 Rotor à double cage

III.3.5 Critères du choix des moteurs asynchrones

Les facteurs principaux pour le choix d'un moteur asynchrone triphasé et son mode de démarrage sont :

- Le couple résistant, puissance et réseau.
- Le couple du moteur à chaque instant supérieur au couple de charge et l'inertie du rotor.
- La chute de tension au démarrage doit être $\leq \pm 5\%$ de la tension de démarrage.
- La tension d'alimentation du moteur doit être compatible avec celle du réseau.
- Le moteur asynchrone doit être choisi pour fonctionner à puissance nominale, c'est à cette puissance que le rendement du moteur et le $\cos \varphi$ sont les meilleurs. [10]

III.3.6 Bilan de puissances du moteur asynchrone

La puissance électrique alimentant une machine asynchrone est transmise :

- au stator sous forme électrique,
- puis est convertie sous forme électromagnétique,
- puis est transmise au rotor sous forme mécanique,
- puis est enfin délivrée sur l'arbre de sortie.

On peut définir les puissances de moteur asynchrone comme schéma ci-dessus :

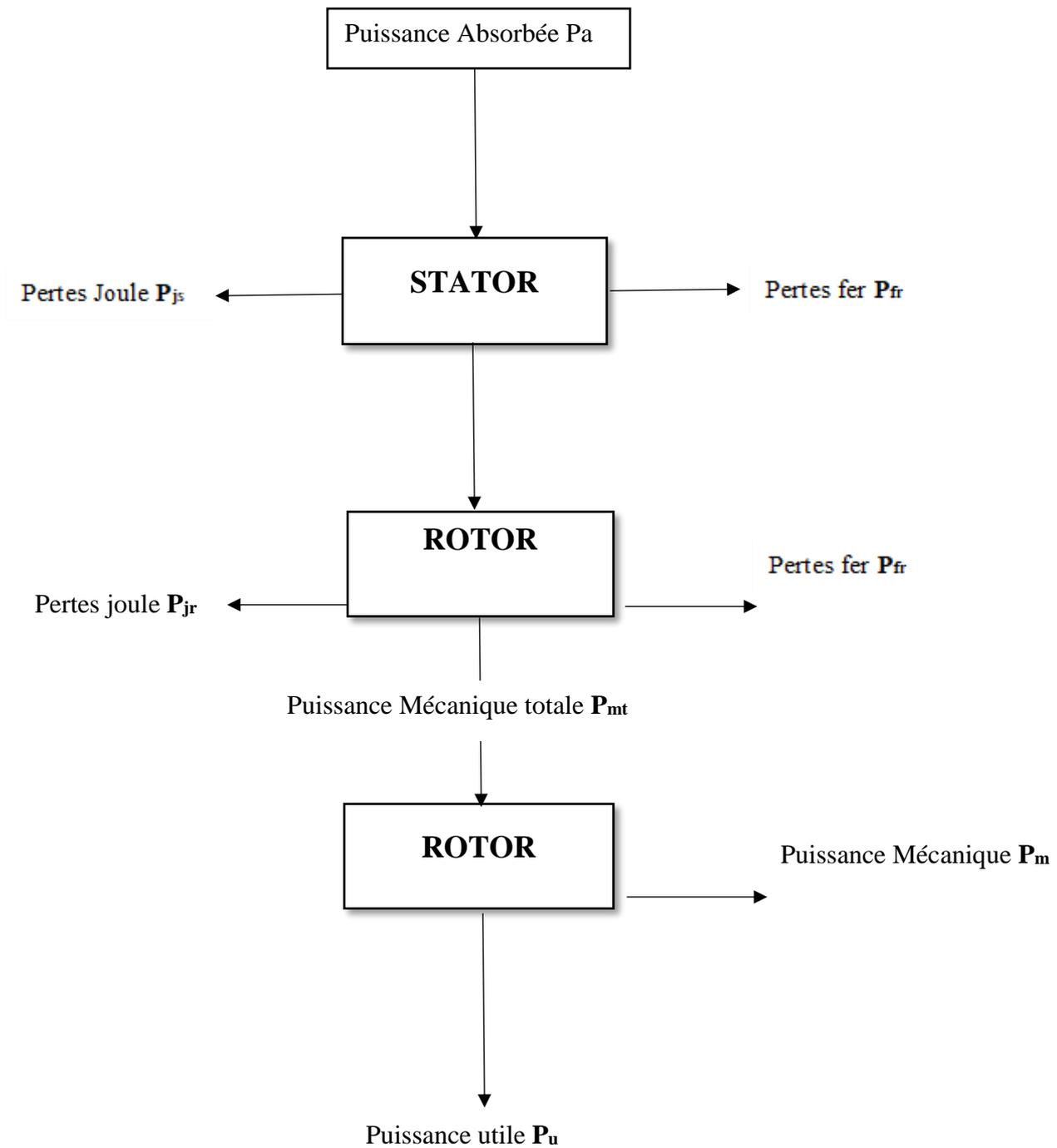


Figure III. 15 Bilan de puissance du moteur asynchrone

III.3.7 Avantages et inconvénients des machines asynchrones

III.3.7.1 Les avantages

- Facile à fabriquer
- Pas de collecteur, moins d'entretien et d'usure
- Robuste
- Absence du système bagues balais.
- Source en courant alternative [14, 15,19]

III.3.7.2 Les inconvénients

- Difficile à commander en forte puissance
- La vitesse de rotation va diminuer si le couple de charge augment
- Rendement moins élevé
- Zone de stabilité étroite. [14, 15,19]

III.3.8 Domaine d'application de machine asynchrone

- La production énergétique à partir d'air.
- Les pompes.
- Ventilateur d'extraction d'air industriel pour les usines.
- Les Chignoles électrique.
- Les Palans (monte-charge). [10, 11, 12,13]

III.4 Conclusion

Les moteurs asynchrones triphasés sont très employés dans l'industrie pour les différents avantages qu'ils présentent. Le moteur asynchrone triphasé de faible et de moyenne puissance est utilisé dans les ventilateurs et les pompes hydrauliques, ainsi que dans les mélangeurs et les centrifugeuses, le moteur de grande puissance est utilisé dans les machines-outils, les appareils de levage et les compresseurs. Parmi ces avantages de ce moteur, le SCMI veut remplacer le moteur de four qui est Courant continu et remplacé par moteur asynchrone, et on va parlerons les raisons de ce changement au prochaine chapitre.

**Chapitre IV : Adaptation d'une nouvelle
installation à deux moteurs asynchrones au four
rotatif**

IV.1 Introduction

La plage de tension pour la basse tension est de 0 à 1000 V pour le courant alternatif et de 0 à 500 V pour le courant continu. L'un des premiers choix à faire est entre l'alternance de la distribution du courant, qui correspond à la forme de courant la plus répandue dans le monde entier, et le courant continu. L'étape suivante consiste pour les concepteurs d'idées à sélectionner la tension nominale qui correspond le mieux à leurs besoins parmi ces plages de tension. Le type et la tension du courant nominal sont déjà choisis et imposés par le distributeur lorsque l'installation est raccordée à un réseau public BT. Par conséquent, le respect des réglementations nationales est la deuxième priorité de l'installation électrique. La réglementation peut être basée sur des normes nationales ou mondiales comme la série de CEI60364.

Pour le niveau de sécurité et de qualité, il est également crucial que les équipements utilisés dans l'installation respectent les normes de produits en vigueur. Les exigences environnementales deviendront plus strictes au fil du temps et doivent être prises en compte lors de la conception de l'installation.

Cela peut inclure des réglementations nationales ou régionales qui prennent en compte les matériaux utilisés dans l'équipement ainsi que le retrait de l'installation après sa durée de vie utile.

IV.2 Domaines réglementaires et statutaires

Le module est axé sur la mesure des dimensions BT (Basse Tension) d'une installation, la plage de tension est donc comprise entre 0 et 1000 V.

Pour passer en revue, les zones de tensions sont ci-dessous :

Il existe deux sortes de textes régissant les considérations à prendre en compte lors du dimensionnement d'une installation électrique en BT :

- Les textes réglementaires une révision complète de ces quatre décrets, qui concernent la protection des travailleurs contre les chocs électriques, a été menée. L'approche réglementaire actuelle est très différente de la précédente.

- Les textes normatifs. Au nom de ces objectifs. Cela facilite le travail des concepteurs, des réalistes et des vérificateurs. Les règles fondamentales de sécurité sont toujours en place et les installations sont conformes aux règles antérieures.

Les textes du règlement relatif aux zones d'habitation ont été mis à jour et adoptent désormais la même approche que ceux relatifs à la protection des travailleurs.

IV.3 Caractéristiques des récepteurs

Il est nécessaire de faire un bilan de toutes les futures utilisations électriques. Il est important de prendre en compte les éventuels ajouts ou ajustements futurs apportés à l'installation électrique au cours de sa durée de vie. Un tel examen vise à déterminer les sources d'électricité nécessaires ainsi que le courant circulant dans chaque circuit de l'installation.

Le courant total ou la puissance totale peut être calculé à partir des informations sur l'emplacement et la capacité de chaque charge ainsi que la connaissance des modes de fonctionnement (permanent, démarrage, fonctionnement non séquentiel, etc.).

L'estimation de la puissance maximale peut utiliser divers facteurs, selon le type d'utilisation est le type d'équipement et type de circuits utilisés dans l'installation électrique.

Ces données permettent de calculer simplement la puissance nécessaire pour la source d'alimentation et (le cas échéant) le nombre de sources nécessaires pour une alimentation électrique satisfaisante à l'échelle de l'installation. De plus, le meilleur choix de raccordement au réseau d'alimentation, comme en basse ou moyenne tension, nécessite une connaissance locale des structures tarifaires.

IV.4 Branchement

En Basse Tension :

L'installation peut être raccordée au réseau local. Le comptage est (nécessairement) effectué en tarification basse tension.

La norme NF C 14-100 définit 2 types de branchement : branchement à puissance limitée (jusqu'à 36 kVA) et branchement à puissance surveillée (de 36 à 250 kVA).

Les principaux en BT sont :

NF C 15-100 / CEI 60364 (série) : Installations électriques à basse tension.

UTE C 18-510 : Recueil d'instructions de sécurité électrique pour les ouvrages.

NF C 15-105 : Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection Code du travail.

Tableau IV. 1 Principes du Branchement

		En courant alternatif	En courant continu lissé
Très basse Tension		$U_n \leq 50V$	$U_n \leq 120V$
Basse Tension Domaine BT ⁺	BT	$50V < U_n \leq 1\ 000V$	$120V < U_n \leq 1500V$
Haute Tension Domaine HT	HTA	$1000V < U_n \leq 50\ 000V$	$1\ 500V < U_n \leq 75\ 000V$
	HTB	$U_n > 50\ 000V$	$U_n > 75\ 000V$

IV.5 Architecture de distribution électrique

Le réseau de distribution est alors examiné dans son ensemble.

Tous les niveaux de la distribution générale MT/BT et de la distribution électrique BT (La distribution BT) sont couverts.

Le régime des raccordements au sol, ou régime neutre, est choisi en fonction des lois en vigueur, des contraintes d'utilisation du réseau et des caractéristiques des récepteurs.

L'équipement de distribution, y compris les tables et les canalisations, est choisi en fonction de la disposition des bâtiments, de l'emplacement des récepteurs et de la manière dont ils sont regroupés.

La nature de la zone et de l'activité déterminera leur résistance aux effets extérieurs.

IV.6 Protection contre les chocs électriques

La règle fondamentale de protection contre les chocs électriques est prévue par la norme CEI 61140 ("Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels") qui couvre à la fois les installations électriques et les équipements électriques.

Les pièces sous tension dangereuses ne doivent pas être accessibles et les pièces conductrices accessibles ne doivent pas être dangereuses.

Cette exigence doit s'appliquer sous :

- conditions normales,
- conditions de simple défaut.

Diverses mesures sont prises pour protéger contre ces risques, notamment :

- la coupure automatique de l'alimentation électrique de l'équipement électrique connecté,
- les dispositions particulières telles que :
 - utilisation de matériaux isolants de classe II, ou niveau d'isolation équivalent,
 - emplacements ou locaux non conducteurs, non accessibles au toucher ou interposition de barrières isolantes, sous la surveillance d'une personne compétente,
 - liaison équipotentielle,
 - séparation électrique au moyen de transformateurs d'isolement. [17]

IV.7 Installation actuelle

L'installation actuelle contient un transformateur à sec, qui alimente les deux variateurs de vitesse à courant continu (Maitre/Esclave) via des jeux de barres, ces derniers alimentent les deux moteurs (Maitres/Esclave) via des câbles de puissance (Voir figure (IV- 1)).

Une mesure des vitesses pour chaque moteur est assurée par des génératrices tachymétries, ces dernières envoient le signal de mesure à son variateur (Voir figure (IV- 1)).

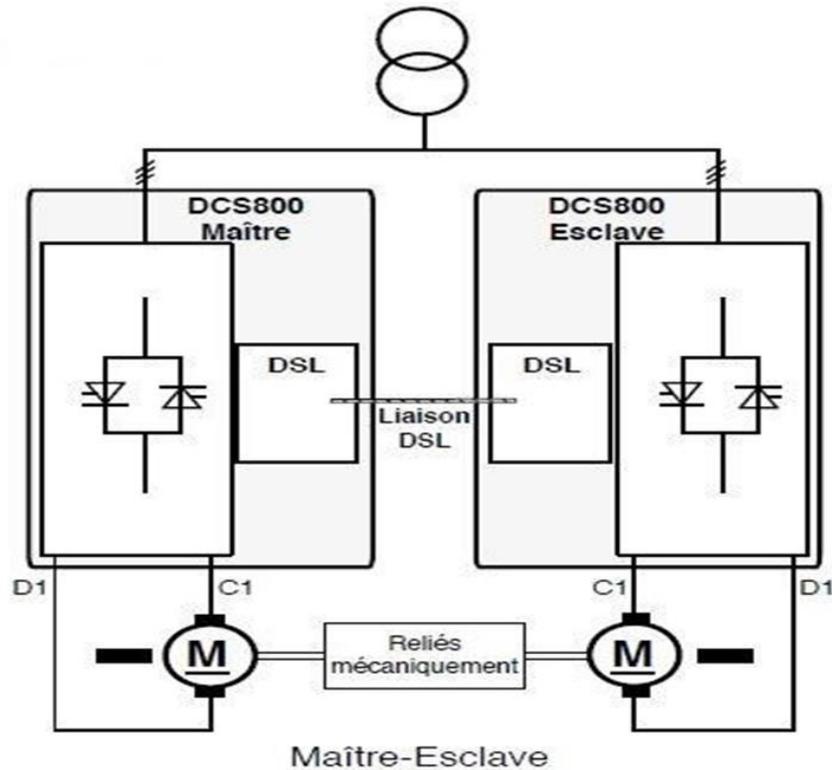


Figure IV. 1 Schéma unifilaire

IV.7.1 Dimensions des installations actuelles

IV.7.1.1 Moteurs

Il y'a deux Moteurs à courant continu qui contient les mêmes caractéristiques suivant :

$P=235$ kW

$V_n= 1000$ tr/m

$U_n=420$ volts

$I_n= 601$ A

Forme B3

IP 55

Mode de refroidissement : Echangeur Air/Eau

La plaque signalétique de deux moteurs :

Marque	type	N° Série	P(KW)	I(A)	vitesse	forme	i p	CI	Roulements
LDW	GC31-10-S	02-039605		235 608	1000	B3	55 F		CA 6321/C3 CL 6220/C3
T-T Electric	LAK 4280-B	280 450 473		235 601	1000	B3	55 B		CA 6222/C3 CL 6220/C3

Figure IV. 2 Plaque signalétique de deux moteurs actuels



Figure IV. 3 Moteur à courant continu du four

IV.7.1.2 Variateurs de vitesse

Les deux variateurs sont de type CC qui contient :

$$U_1=400V \quad U_2=465V$$

$$I_1=980A \quad I_2=1200A$$

$$f=50/60Hz$$



Figure IV. 4 Variateurs de vitesse d'installation actuelle

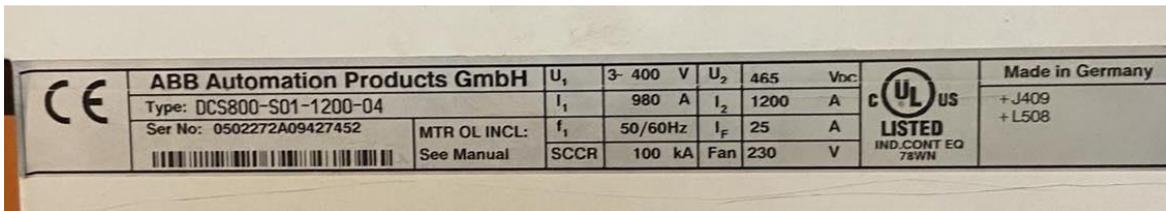


Figure IV. 5 Plaque signalétique de variateur de vitesse actuel

IV.7.1.3 transformateur

Les transformateur est de type SEC

P=1600KVA

5500V/420V

$U_{cc} = 6.00\%$

Niveau d'isolement HT/BT = 60-20 0-10KV

IP 31

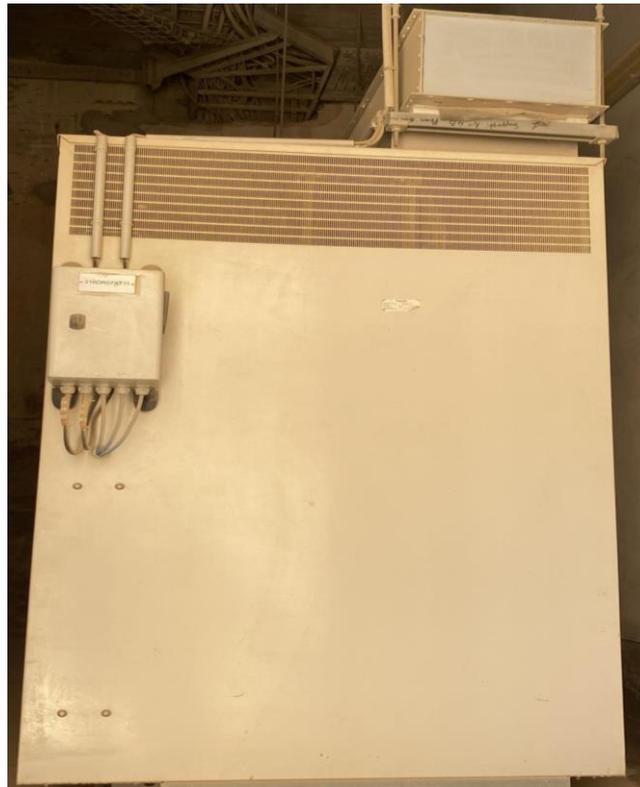


Figure IV. 6 Transformateur d'installation actuelle



Figure IV. 7 Plaque signalétique du transformateur

IV.7.1.4 Câbles de puissance moteurs

Chaque moteur est alimenté par 4* Câbles unifilaire 240mm Cu a une distance de 25 mètres sur un chemin de câble aérien

IV.8 Notions pour moteur électrique

La chaîne de transmission complète peut être représentée par la figure suivante :

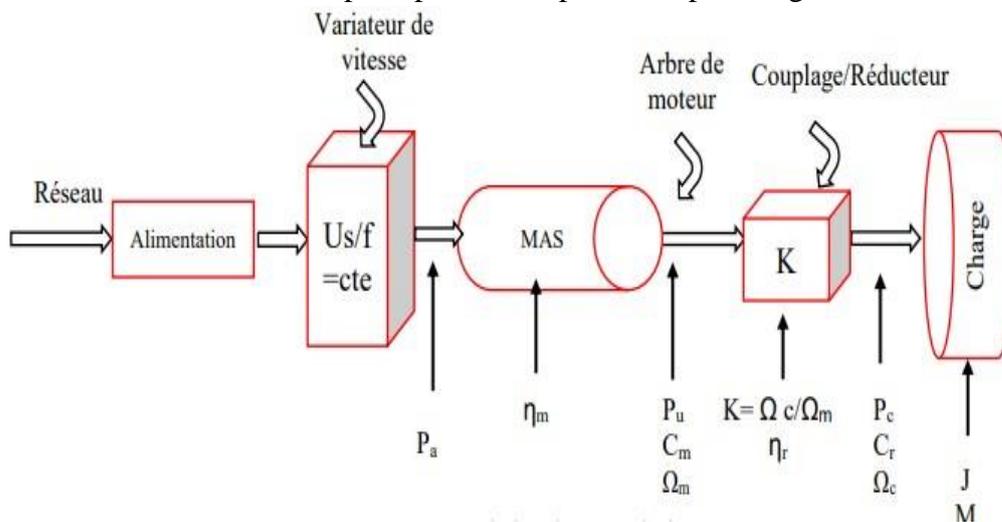


Figure IV. 8 Chaîne de transmission.

Indication :

U_s : Tension de sortie du variateur.

f : Fréquence d'alimentation.

P_a : Puissance absorbé par le moteur en W ou kW.

η_m : Rendement du moteur ($\eta_m = P_u/P_a$).

P_u : Puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre en W ou Kw.

C_m : Couple utile sur l'arbre moteur.

Ω_m : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s.

K : Rapport de réduction du réducteur ($K = \Omega_c/\Omega_m$).

η_r : Rendement du réducteur ($\eta_r = P_c/P_u$).

P_c : puissance demandée par la charge en W ou kW.

Ω_c : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s.

C_r : Couple résistant de la charge en N.m. J

M : Moment d'inertie et la masse de la charge en (Kg/m^2 et Kg) respectivement.

IV.9 Démarrage du moteur asynchrone

Si l'on connecte soudainement un moteur asynchrone à une alimentation triphasée, par exemple à l'aide d'un interrupteur relié au 400 V / 50 Hz industriel, le courant électrique qu'il absorbe est 4 à 6 fois plus important que le courant nominal du moteur, alors que le couple mécanique disponible n'est que de ~40% du couple nominal.

Comme le montre la Figure (IV -9), ce couple peut être suffisant pour accélérer le moteur de l'arrêt jusqu'à son point de fonctionnement. La condition est que le couple demandé par la charge soit toujours inférieur à celui produit par le moteur pour toutes les vitesses intermédiaires. Une telle pointe de courant n'est pas toujours bienvenue, surtout si le moteur est de forte puissance, car il provoque des chutes de tension inacceptables pour les autres utilisateurs du réseau électrique [18].

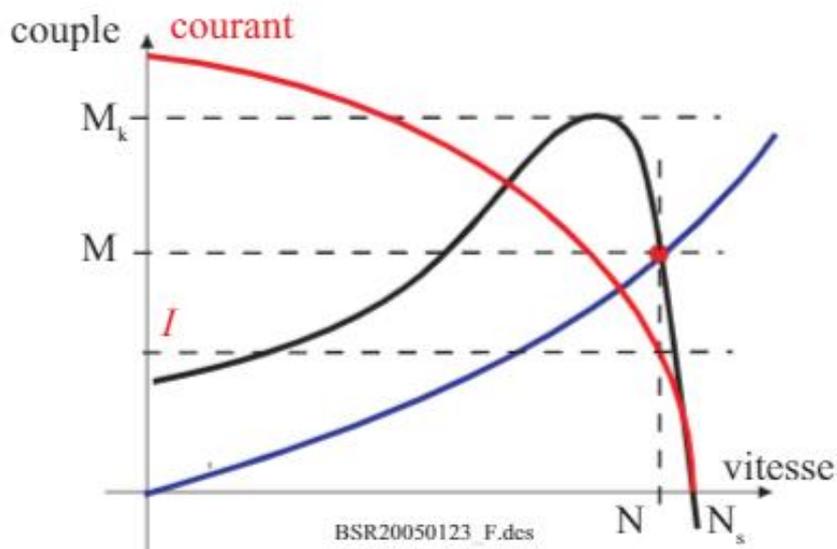


Figure IV. 9 Courant d'un moteur asynchrone en fonction de sa vitesse, et en particulier au démarrage

IV.10 Caractéristiques du moteur asynchrone

IV.10.1 Fonctionnement à vide

A vide, le moteur n'entraîne pas de charge par conséquent le glissement est nul et le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

$$g = 0 \text{ donc } N_s = N$$

Notons que le glissement :

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (\text{IV-1})$$

Au fonctionnement à vide ; le facteur de puissance à vide est très faible (<0,2) et le courant absorbé reste important (P est petit et Q est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

Avec :

- ✓ N_s : Vitesse de rotation du champ en tr/s.
- ✓ N_r : Vitesse de rotation du rotor.
- ✓ g : glissement.

IV.10.2 Fonctionnement en charge

Le moteur consomme maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif, parce qu'on lui applique un couple résistant, et lorsque ce couple résistant augmente.

- La puissance mécanique à fournir par le moteur augmente.
- Le courant appelé augmente.
- La facture de puissance augmente.
- La fréquence de rotation baisse un peu. [19]

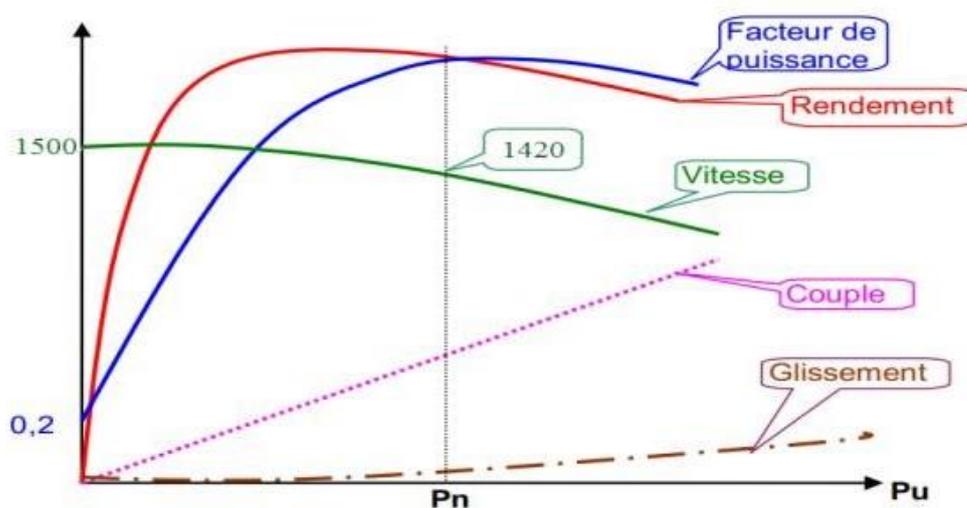


Figure IV. 10 Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.

Remarques

On remarque que la valeur du facteur puissance baisse beaucoup quand la charge diminue. A vide il est d'environ 0,2. Il faut donc éviter d'installer des moteurs plus puissants qu'il n'est pas nécessaire. Le rendement est donc bon à partir de la demi-charge, il est maximal au voisinage de la puissance nominale. La vitesse décroît quand la charge augmente.

Toutefois la variation est faible puisqu'elle est seulement de 5 % entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Le glissement des gros moteurs est plus faible encore. C'est parce que les moteurs d'induction n'ont pas une vitesse rigoureusement constante et surtout parce que cette vitesse ne résulte pas seulement de la fréquence du courant d'alimentation qu'on les nomme moteurs asynchrones. Mais une variation de la vitesse de 2 à 5 % entre la marche à vide et la marche à pleine charge est négligeable dans la plupart des cas d'emplois industriels de moteurs.

On remarque que : le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

En régime nominal : $g_n = 3$ à 10%

Tableau IV.2 Caractéristiques du moteur asynchrone.

La vitesse du moteur	Le glissement	Fonctionnement de la machine
$N=0$	$g = 1$	Démarrage
$N=N_s$	$g = 0$	Synchronisme
$0 < N < N_s$	$0 < g < 1$	Moteur
$N > N_s$	$g < 0$	Génératrice

Le rendement du moteur asynchrone

Le rendement est égal au rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée. Il est toujours inférieur à 1.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} < 1 \quad \text{(IV-2)}$$

IV.11 Variateur de vitesse

Un variateur électronique de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse et le couple d'un moteur électrique à courant alternatif en faisant varier respectivement la fréquence et le courant, délivré à la sortie de celui-ci

Un variateur de vitesse est constitué d'un redresseur, d'un filtre, d'un onduleur et d'une interface utilisateur. [19,20]

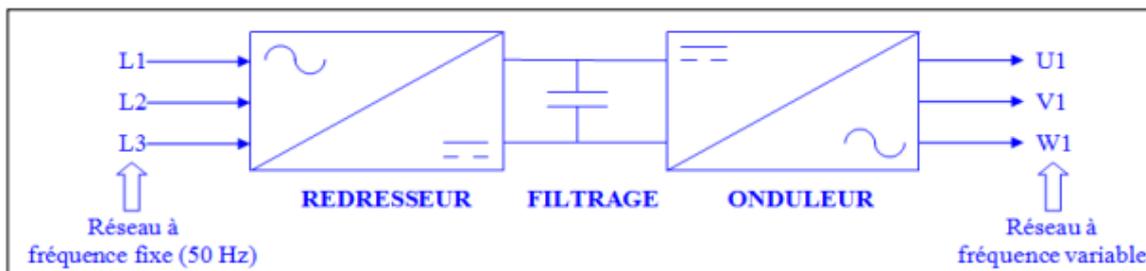


Figure IV. 11 Structure d'un variateur de vitesse

IV.12 Description de fonctionnement de variateur de vitesse

La tension alternative triphasée est convertie en tension continue par l'intermédiaire du pont redresseur et d'un filtre. Cette tension continue est alors découpée par un pont onduleur à transistors. L'ajustage de la largeur des impulsions et leurs répétitions permet d'ajuster l'alimentation du moteur en tension et en fréquence afin de garantir un rapport tension/fréquence constant dans le moteur.

Un signal externe de vitesse est transmis au bloc de commande ASIC (action par microprocesseur). Le bloc de commande, après comparaison des signaux internes et externes, génère les impulsions de commande des transistors.

Le variateur de vitesse permet :

- Une gamme de vitesse de 5% à 200% de la vitesse nominale.
- Une conservation du couple sur toute la gamme de vitesse.
- Des rampes d'accélération et de décélération.
- Deux sens de rotation. [21]

IV.13 Variation de vitesse d'un moteur asynchrone

D'après la vitesse synchronisme ci-dessus :

$$N_s = \frac{60.f}{P} \quad \text{IV.3}$$

On peut varier la vitesse en agissant sur les paramètres f , p

Action sur les paires de pôles :

On s'aperçoit que d'après les formules précédentes la fréquence de rotation d'un moteur asynchrone triphasé est lié au nombre de paires de pôles p du bobinage.

-Si le nombre de paires de pôles augmente, la fréquence de rotation d'un moteur diminue

-Si le nombre de paires de pôles diminue, la fréquence de rotation d'un moteur augmente

Action sur la fréquence d'alimentation du moteur :

Toujours d'après les formules précédentes, on s'aperçoit que la fréquence de rotation d'un moteur asynchrone triphasé est directement liée à la fréquence f du réseau l'alimentant.

- Si la fréquence augmente, la fréquence de rotation d'un moteur augmente.

- Si la fréquence diminue, la fréquence de rotation d'un moteur diminue.

Dans notre projet, nous nous intéressons à la variation de fréquence. [18]

IV.14 Variation de la fréquence

La solution passe par l'utilisation de variateur de fréquence, plus communément appelé variateur de vitesse. L'utilisation d'un tel convertisseur permet d'obtenir une plage de variation de vitesse allant de 0 ($f = 0$ Hz) à la vitesse nominale du moteur ($f = 50$ Hz). On peut même faire fonctionner le moteur en survitesse si la fréquence dépasse les 50 Hz.

La vitesse du champ magnétique et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend directement de la fréquence de la tension d'alimentation c'est sur ce paramètre que le variateur va agir. Le principe général étant de fournir un courant à amplitude et à fréquence variable tout en maintenant une tension constante. [19]

IV.15 Schéma de câblage de variateur de vitesse du moteur asynchrone

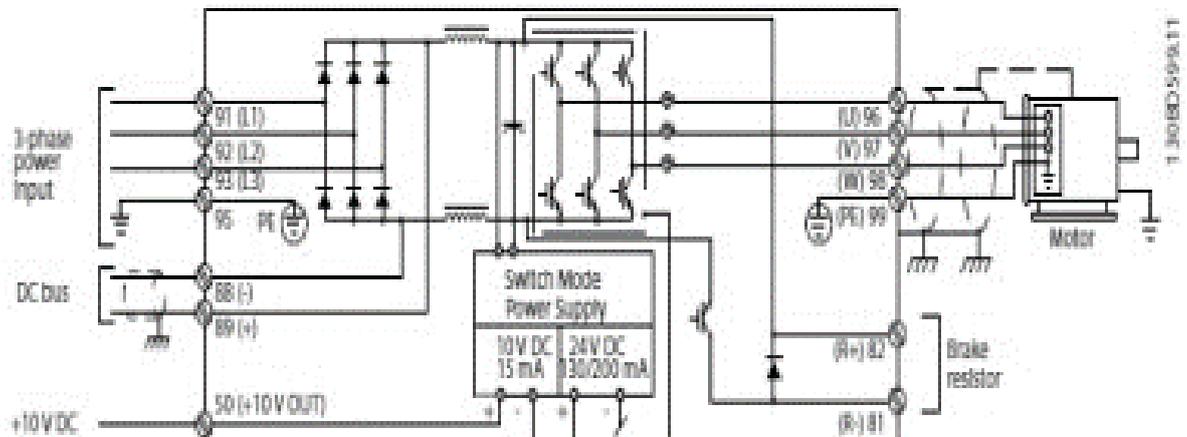


Figure IV. 12 Schéma de câblage de base du variateur de vitesse du moteur asynchrone.

IV.16 Principe de fonctionnement de l'ensemble (variateur de vitesse – moteur)

Schéma électrique du système

La (Figure IV.12), représente le schéma électrique de système qui est composée d'un variateur qui alimente deux moteurs asynchrones (moteur de l'anneau rotatif). La suite du schéma électrique est illustrée dans l'annexe Figure 01.

Les composants de schéma électrique

Le schéma de la figure(IV.12) est composé de quatre parties principales :

- Une source triphasée (3 phases).
- Variateur de vitesse.
- Deux moteurs asynchrones qui alimentent l'anneau rotatif.
- Un automate programmable (S 7300).

L'inversion du sens de marche

Sur la plupart des variateurs de vitesse, il est possible d'inverser automatiquement le sens de marche. L'inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur de l'ascenseur s'effectue

- Soit par inversion de la consigne d'entrée.
- Soit par un ordre logique sur une borne.

- Soit par une information transmise par une connexion à un réseau de gestion.

Le freinage d'arrêt

C'est un freinage de sécurité pour les ascenseurs :

- Avec des moteurs asynchrones, le variateur de vitesse est capable d'injecter du courant continu au niveau des enroulements statoriques et par conséquent stopper net le champ tournant, la dissipation de l'énergie mécanique s'effectuant au niveau du rotor du moteur (danger d'échauffement important).
- Avec des moteurs à courant continu, le freinage s'effectue au moyen d'une résistance connectée sur l'induit de la machine.

IV.17 Critères de choix d'un variateur

Les critères du choix du variateur de vitesse à installer pour les moteurs asynchrones sont nombreux

- La tension du réseau d'alimentation.
- Type de rotor du moteur (bobiné ou cage).
- La puissance et la vitesse nominale.
- Le régime d'utilisation (régime permanent ou intermittent).
- La plage de variation de la vitesse.
- Type de variation de la vitesse (progressive ou échelonnée).
- Le type du couple résistant de la charge entraînée.
- La précision de contrôle de couple et de la vitesse.
- Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection).
- Le coût total d'investissement (le coût du variateur et son installation).

IV.18 Choix du variateur de fréquence

Les paramètres qui nous permettent de choisir un variateur de fréquence qui convient pour le moteur asynchrone à cage sont : moteur asynchrone triphasé, réseau triphasé, la tension d'alimentation (400V), la puissance nominale du moteur et la fréquence d'alimentation ($f = 50$ Hz), est en fonction du courant du moteur actuel à la charge maximale de l'installation. Le courant nominal de sortie du variateur de fréquence IINV. Doit être supérieur ou égal au courant moteur nécessaire.

IV.19 transformateur

Dans notre projet, la tension de sortie moyenne du réseau est de 5,5 kV, et la tension au niveau des récepteurs est de 400V.

À l'aide du tableau n° 1 de l'annexe A, nous pouvons déterminer la puissance normalisée apparente et, par conséquent, le transformateur de normalisation de puissance approprié pour notre installation en prêtant attention au rapport de puissance totale utilisée.

Le choix du transformateur se portera sur le transformateur qui porte une puissance apparente normalisée de 1600kVA.

IV.19.1 Calculs du transformateur

Le rapport de transformateur

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{I1}}{\mathbf{I2}} = \frac{\mathbf{U1}}{\mathbf{U2}} = \frac{\mathbf{N1}}{\mathbf{N2}} \quad \mathbf{IV.4}$$

Avec :

I1, I2 : Courant primaire et secondaire du transformateur (A).

U1, U2 : Tension primaire et secondaire du transformateur (V).

N1, N2 : Nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur.

Le courant secondaire n

Le courant assigné au secondaire du transformateur, côté BT, est déterminé par la forme suivante :

$$\mathbf{In} = \frac{\mathbf{Sn}}{\mathbf{U20} \cdot \sqrt{3}} \quad \mathbf{IV.5}$$

Avec :

In : Courant assigné du transformateur, côté BT (valeur efficace) (A).

Sn : puissance assignée du transformateur (kVA).

U_{20} : Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur (V).

Courant primaire

Pour calculer le courant primaire du transformateur, on applique la formule ci-dessus :

$$m = \frac{I_1}{I_2} \quad \text{IV.6}$$

$$I_1 = m * I_2 \quad \text{IV.7}$$

Détermination de la tension de court-circuit U_{cc}

Pour le transformateur de distribution (norme NBN - HD 428 1 S1), La tension de court-circuit a des valeurs normalisées. D'après le tableau 01 de l'annexe, on trouve que la tension de court-circuit de notre transformateur $U_{cc} = 6\% U$, ce qui nous donne $U_{cc} = 24V$.

IV.20 Notion de câble

Une section de câble doit répondre aux exigences techniques suivantes :

- Une augmentation naturelle de la température corporelle du conducteur n'entraîne pas la dégradation des caractéristiques isolantes des composants de l'enveloppe et du gain lorsqu'elle atteint l'intensité maximale admissible sous un régime constant. Cette exigence doit tenir compte La structure du câble, ainsi que la méthode de positionnement et les facteurs environnementaux limitent les interactions thermiques du câble avec l'environnement et aussi La température ambiante de la zone (air ou sol).
- Une chute de tension aussi égale que possible, dans les limites réglementaires, ou à l'écart tension-tension disponible souhaité qui est acceptable

A ces conditions s'ajoutent :

- Des conditions de sécurité, protection contre les contacts indirects.
- Une condition économique, cette condition, consiste à rechercher la section qui, en régime permanent, rend minimale la somme du coût d'investissement et du coût d'exploitation.

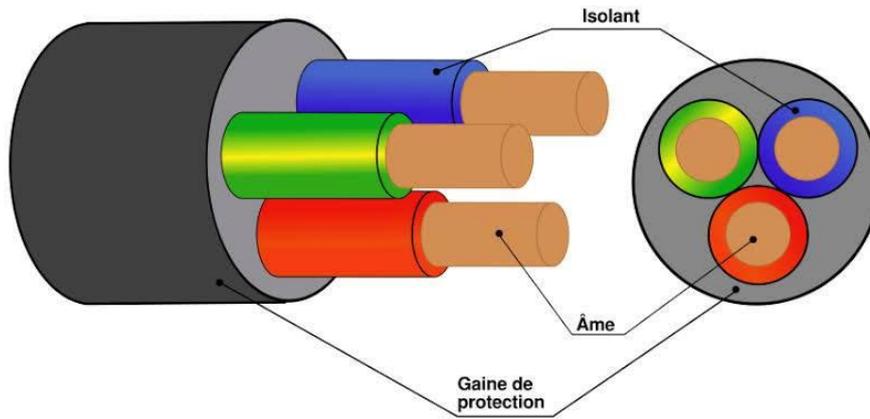


Figure IV. 13 Description du câble

IV.21 Calcul de la nouvelle installation

IV.21.1 Choix des moteurs

- **Puissance**

La puissance mécanique finale calculée dans le chapitre II est à l'ordre de 400 kW (voir Figure(II.14)), si on prend en considération une future amélioration pour tourner le four par une vitesse de 3 tr/min pour augmenter le débit du four.

En revanche, il est toujours conseillé de laisser une marge de sécurité de 30% lors des études électriques

$$P = P \text{ calculée} + (P \text{ calculée} * 30\%) \quad (\text{IV-8})$$

$$P = 400 + 120 = 520 \text{ kW} \quad (\text{IV-9})$$

Si on cherche la puissance de 520 kW on va trouver par exemple dans la gamme Siemens un moteur de 560 kW sur le palier qui suit notre puissance choisie.

- **Tension**

400 Volt (suivant installation standard usine de Meftah).

- **Fréquence**

50 Hz (suivant la fréquence du pays).

- **Classe d'isolation**

Echauffement pour fonctionnement avec variateur de vitesse $T=155^{\circ}\text{C}$, on va choisir la classe F (par défaut pour une température ambiante jusqu'à 40°C).

- **Vitesse de rotation**

1500 tr/min (suivant vitesse max entrée réducteur).

- **Indice de Protection**

L'indice de protection considéré dans notre étude est le IP55.

5= Protégé contre les poussières et autres résidus microscopiques.

5= Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance (buse de 6,3 mm, distance 2,5 à 3 m, débit 12,5 l/min $\pm 5\%$).

A titre d'exemple, la plaque signalétique du moteur sera comme montre le tableau suivant :

Tableau IV. 3 Plaque signalétique de nouveau moteur asynchrone

U(V)	Hz	I(A)	P(KW)	Cos φ	Tr/Min	IP
400 Δ	50	860	560	0.88	1490	55

IV.21.2 Choix des deux variateurs de la vitesse

La norme d'usine est que les variateurs de vitesse BT portent la marque ABB. Choisir la même marque facilite la prévision de la pièce à remplacer et préserve les compétences des techniciens.

Le tableau ci-dessous présente la dernière gamme des variateurs BT de ABB.

Selon la puissance des moteurs choisis, on choisit la référence encadrée en rouge. [22]

$U_n = 400 \text{ V}$ (plage 380 à 415 V). Valeurs de puissance valables à tension nominale de 400 V (45 à 1400 kW).

Type de variateur	Taille de châssis	Valeurs nominales			Utilisation faible surcharge		Utilisation intensive		Niveau sonore (dBA)	Dissipation thermique (W)	Débit d'air (m ³ /h)
		I_n (A)	I_{MAX} (A)	P_n (kW)	I_{fs} (A)	P_{fs} (kW)	I_{int} (A)	P_{int} (kW)			
ACS880-17-0105A-3	R8	105	148	55	100	55	87	45	70	1750 ¹⁾	700
ACS880-17-0145A-3	R8	145	178	75	138	75	105	55	70	2350 ¹⁾	700
ACS880-17-0169A-3	R8	169	247	90	161	90	145	75	70	2800 ¹⁾	700
ACS880-17-0206A-3	R8	206	287	110	196	110	169	90	70	3400 ¹⁾	805
ACS880-17-0293A-3	R11	293	492	160	278	160	246	132	77	5700 ¹⁾	2100
ACS880-17-0363A-3	R11	363	586	200	345	200	293	160	77	7500 ¹⁾	2100
ACS880-17-0442A-3	R11	442	726	250	420	250	363	200	77	10100 ¹⁾	2100
ACS880-17-0505A-3	R11	505	726	250	480	250	363	200	77	11200 ¹⁾	2100
ACS880-17-0585A-3	R11	585	884	315	556	315	442	250	77	10300 ¹⁾	2100
ACS880-17-0650A-3	R11	650	1010	355	618	355	505	250	77	11900 ¹⁾	2100
ACS880-17-0450A-3	1xR8i+1xR8i	450	590	250	432	200	337	160	75	14000	3760
ACS880-17-0620A-3	1xR8i+1xR8i	620	810	355	595	315	464	250	75	18000	3760
ACS880-17-0870A-3	1xR8i+1xR8i	870	1140	500	835	450	651	355	75	27000	3760
ACS880-17-1110A-3	2xR8i+2xR8i	1110	1450	630	1066	560	830	450	77	31000	7220
ACS880-17-1210A-3	2xR8i+2xR8i	1210	1580	710	1162	630	905	500	77	34000	7220
ACS880-17-1430A-3	2xR8i+2xR8i	1430	1860	800	1373	710	1070	560	77	38000	7220
ACS880-17-1700A-3	2xR8i+2xR8i	1700	2210	1000	1632	900	1272	710	77	51000	7220
ACS880-17-2060A-3	3xR8i+3xR8i	2060	2680	1200	1978	1100	1541	800	78	61000	11580
ACS880-17-2530A-3	3xR8i+3xR8i	2530	3290	1400	2429	1200	1892	1000	78	76000	11580

Figure IV. 14 le variateur de vitesse choisi dans la nouvelle installation

IV.21.3 Choix du transformateur

Selon le courant nominal des deux moteurs ($I_n=860\text{A}$), le courant max que le transformateur doit fournir est :

$$I=2 \cdot I_n \text{ moteur} \tag{IV-10}$$

$$I=2 \cdot 860=1720\text{A}$$

Le transformateur existant

$$I_n=2199 \text{ A}$$

$$\text{Charge sur transformateur} = 1720/2199 = 78\%$$

Donc on garde le même transformateur et les mêmes jeux de barres qui alimentent l'armoire des variateurs (voir (figure IV.7))

IV.21.4 Choix et calcul la section des câbles de puissance de chaque moteur

$$S = (\rho \times 2L \times I)/U' \quad (\text{IV.11})$$

I : Courant d'emploi en ampère(A).

U' : Résistivité du conducteur en service normal,

$\rho = 0,0225 \text{ mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre.

L : longueur du câble en m.

S : section des conducteurs en mm^2 .

$$S = (0,0225 \times (2 \times 25) \times 860) / (3\% \times 400)$$

$$S = 80,6 \text{ mm}^2$$

IV.22 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exhibé un aperçu général sur les entraînements électriques, en suite nous avons donné une vue globale sur les moteurs asynchrones à courant alternatif, concernant le choix du moteur pour notre étude expérimentale, nous avons choisi le moteur asynchrone à cage, car il est robuste, fiable et ayant une durée de vie élevée.

Nous avons fait aussi le choix d'un variateur de vitesse qui n'est pas systématique, mais qui dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, ainsi que la gamme de vitesses, et les quadrants de fonctionnement. Les exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.

La nouvelle installation à moteur asynchrone à cage est meilleure par rapport à l'ancienne installation à moteur synchrone à courant continu, il reste juste qu'elle soit réalisée pour son futur utilisation.

Conclusion générale

La fabrication du ciment est l'un des domaines indispensables pour le secteur habitation et construction, qui est en plein essor ces dernières années, les progrès de l'industrie cimentière furent conditionner par le développement de la connaissance scientifique des processus de fabrication ainsi que son fonctionnement.

Dans le cadre de la préparation de ce mémoire, nous avons proposé quelques solutions aux problèmes rencontrés par la cimenterie de Meftah, notamment ceux liés à l'obsolescence des deux variateurs de vitesse et aux opérations de maintenances fréquentes et coûteuses des deux moteurs de four rotatif. Le four rotatif a fait face à plusieurs dysfonctionnements dus aux anciens moteurs (électriques et défauts mécaniques), qui ont entraîné un retard et un arrêt de la production pendant un certain temps, d'où des centaines de millions de dinars de pertes et du temps perdu pour la maintenance.

Tous ces problèmes et dysfonctionnements affectent l'efficacité globale de la production en général, et c'est ce qui nous a poussé à mener une étude théorique et expérimentale sur les moteurs électriques.

Il a fallu mener une étude théorique préalable pour ce faire, qui nous a permis de connaître les moteurs électriques en général, et les moteurs asynchrones en particulier, en définissant les points forts de ces moteurs et les avantages qui les distinguent et la possibilité de les exploiter dans le domaine de l'industrie cimentière. Après plusieurs études théoriques, nous avons conclu que les anciens moteurs CC peuvent être remplacés par des moteurs asynchrones, ce qui éliminera les problèmes qui existent actuellement, tels que :

- Exposition aux pannes électriques et mécaniques.
- Manque de pièces détachées sur le marché en plus de leur prix élevé.
- Consommation d'énergie élevée

Cette étude nous a permis d'arriver aux résultats suivants :

- Les moteurs asynchrones sont puissants et ont peu de pannes.
- Ces moteurs sont peu coûteux par rapport aux moteurs CC.
- Ces moteurs sont robustes par rapport aux moteurs CC.

Il existe de nombreux moteurs aux caractéristiques différentes, ce qui nous permet de trouver plus facilement le type en harmonie avec la nouvelle étude. L'étude de la nouvelle

installation envisage d'augmenter la vitesse du four rotatif jusqu'à 3 tr/min et ainsi d'augmenter la production.

Références bibliographiques

- [1] Etude de l'ovalisation d'un four rotatif de cimenterie : Modélisation par éléments finis et expérimentation. Présenté par M. BIDEQ et K. I. JANATI et L. BOUSSHINE en 2017
- [2] Maintenance basée sur la fiabilité du four rotatif (cas de la cimenterie Elmalabiod Tébessa). Présenté Par BOUMOUS Oussama et MERAMRIA Bilel en 2021
- [3] Contribution à l'Etude du Comportement ThermoElastique de la virole des Fours Rotatifs des Cimenteries. Présenté Par Khalidi I.Janati et Lahbib Bousshine
- [4] Mécanique Four. Présenté Par M.BEZZAZI, groupe industriel des ciments d'Algérie 2018
- [5] Système d'automatisation S7-400 Installation et configuration 2006
- [6] < WinCC — Wikipédia (wikipedia.org)>.
- [7] < <https://oswos.com/fr/moteur-cc/>>.
- [8] <<https://www.maxicours.com/se/cours/types-de-moteur-a-courant-continu/>>.
- [9] < <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-a-courant-continu/>>.
- [10] <<https://www.maxicours.com/se/cours/les-moteurs-a-courant-continu-introduction/>>.
- [11] < <http://ch-rahmoune.univ-boumerdes.dz/>>.
- [12] Modélisation et commande d'une génératrice auto-excitée. Présenté par REDADAA mehdiya en 2021
- [13] <https://www.editions-ellipses.fr/index.php?controller=attachment&id_attachment=43495>.
- [14] <Les différents types de moteur électriques asynchrones (motac.fr) >.
- [15] <<http://electronique1.blogspot.com/2011/03/les-avantages-et-les-inconvenients-du.html>>.
- [16] <<https://www.clicours.com/les-avantages-et-inconvenients-de-la-machine-asynchrone-a-double-alimentation/>>.
- [17] <<http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.MASBilanPuissance>>.

- [18] <Protection contre les chocs électriques — Guide de l'Installation Electrique (electrical-installation.org) >.
- [19] L'électricité au service des machines. Présenter par Bernard SCHNEUDER et Alain BEURET en 2006.
- [20] AC Drives Stay Vital for the 21st Century. Présenter par Frank J. Bartos 1er septembre 2004
- [21] <Variateur électronique de vitesse — Wikipédia (wikipedia.org) >.
- [22] < ACS880_Catalog_3AFA0000098111_RevN_FR.pdf (abb.com) >.

Annexe

Tableau 01 Caractéristiques des transformateurs MT/BT

Transformateurs immergés dans un diélectrique liquide												
S_n kVA	50	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
$U_{oc(1)}$ %	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
$I_n(2)$ A	72	144	231	361	577	909	1155	1443	1804	2309	2887	3608
Rt mΩ	43,7	21,9	13,7	8,7	5,5	3,5	4,1	3,3	2,6	2,1	1,6	1,3
Xt mΩ	134,1	67	41,9	26,8	16,8	10,6	12,6	10	8,1	6,3	5	4
$I_{cs(2)}$ kA	1,8	3,6	5,8	9,0	14,3	22,7	19,1	24,1	29,8	38,2	48,3	60,3
Disjoncteur	T1B160 T2N160 T4N250	T1B160 T2N160 T4N250	T3N250 T4N250	T5N400	T5N630	E1B10	E1B12	E2B16	E2B20	E3N25	E3N32	E4S40

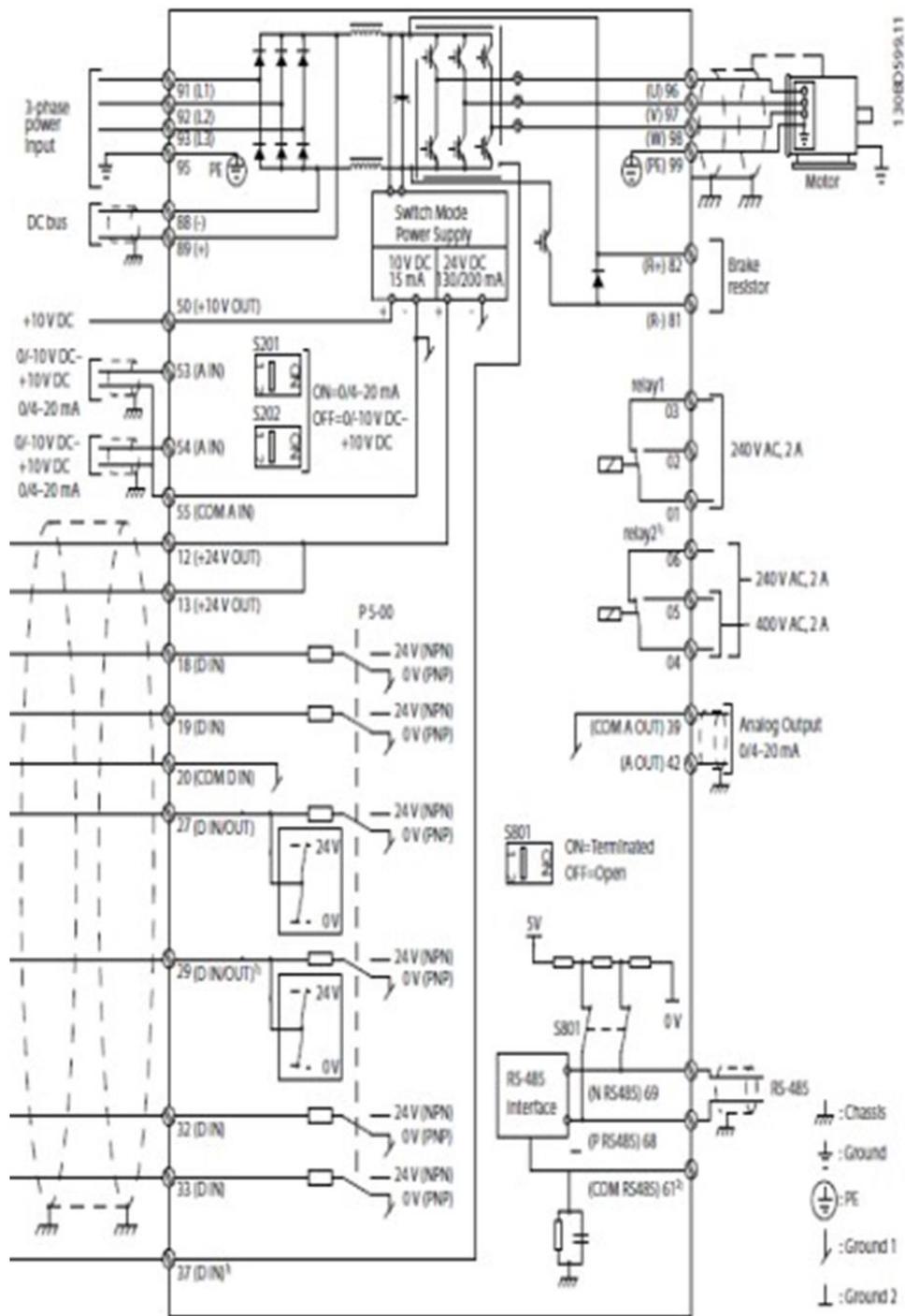


Figure 01 schéma de câblage du variateur de vitesse du moteur asynchrone